



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, ALUMINIO Y
COBRE EN AGUAS, SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA
BIOLÓGICA LIMONCOCHA PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 2015-
2016”**

Realizado por:

DMITRI ALEXEY AGURTO LIPIANIN

Director del proyecto:

ING. KATTY CORAL C.

Como requisito para la obtención del título de:

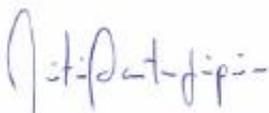
INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 18 de julio de 2016

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, DMITRI ALEXEY AGURTO LIPIANIN, con cédula de identidad # 091833365-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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



Dmitri Alexey Agurto Lipianin

C.C.: 091833365-9

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, ALUMINIO Y COBRE EN AGUAS, SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 2015-2016”

Realizado por:

DMITRI ALEXEY AGURTO LIPIANIN

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Katty Verónica Coral Carrillo
DIRECTOR

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

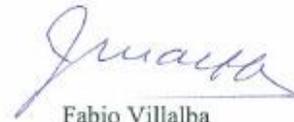
MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA

FABIO VILLALBA

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



Miguel Martínez-Fresneda



Fabio Villalba

Quito, 18 de julio de 2016

AGRADECIMIENTOS

A mi *familia* porque todo lo que soy se lo debo a ellos y todo lo que seré reflejara lo que ellos hicieron en mí.

A mis *padres*, Nadia y Juan Carlos, por ser el pilar fundamental de mi vida sobre el que he construido la persona que soy hoy en día. Por ser el mejor ejemplo de integridad, amor y generosidad así como de esfuerzo e indeterminable dedicación a sus hijos.

A mis *hermanos*, Kathy y Andrés, por compartir nuestra vida en fraternidad, apoyándonos mutuamente para alcanzar nuestros éxitos y por el protegido amor propio de hermanos que siempre conservaremos.

A mis *amigos* por siempre permitirse compartir los momentos de alegría y desconsuelo en mi vida, por valorarme por la persona que soy y siempre expresar su sincero cariño y preocupación.

A mis *profesores* por ser esa mano que nos guía a través del conocimiento y que nos señala el camino correcto para alcanzar nuestras metas, por enseñarnos a ser mejores personas y construir ese sentimiento de respeto y amistad entre nosotros.

Un especial agradecimiento a *Katty Coral, Miguel Martínez-Fresneda, Fabio Villalba y Esteban Oviedo* por permitirme alcanzar este éxito, apoyarme a través de la elaboración de este trabajo de titulación y por confiar en mí todos estos años a través de mi formación como Ingeniero Ambiental.

Por último un notable agradecimiento a *Jendry y todos los miembros de la familia Moya* por su invaluable apoyo y extraordinario recibimiento en las instalaciones de la Estación Científica Limoncocha.

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, padres, hermanos y amigos así como a todos los alumnos y profesores de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1. Descripción del tema.	3
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Importancia del estudio.....	4
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Características del sitio.	8
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Estudios previos.....	11
2.1.1. Generales.	11
2.1.2. Específicos.	13
2.2. Marco legal.	15
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador (2008).....	15
2.2.2. Ley de Gestión Ambiental.....	15
2.2.3. Acuerdo Ministerial N° 097-A	16
2.2.4. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador RAOH 1215.....	16
2.2.5. Plan Nacional del Buen Vivir.....	16
2.3. Marco conceptual.....	17
2.3.1. Metales pesados.....	17
2.3.1.1. Aluminio.	17
2.3.1.2. Mercurio.....	18
2.3.1.3. Cobre.....	18
2.3.2. Parámetros físico-químicos.	18

2.3.2.1. Temperatura.	18
2.3.2.2. Potencial de Hidrógeno (pH).	19
2.3.2.3. Conductividad Eléctrica (CE).	19
2.3.3. Horno de grafito (GFAAS).	19
2.3.4. Espectrometría de Absorción Atómica con llama (EAA).	20
2.3.5. Generador de Hidruros (GH).	21
CAPITULO III	23
METODOLOGÍA	23
3.1. Investigación bibliográfica.	23
3.2. Monitoreo y muestreo.	23
3.2.1. Puntos de Monitoreo.	23
3.2.1.1. Puntos de Monitoreo de Agua y Sedimento.	24
3.2.1.2. Puntos de Monitoreo de Suelo.	26
3.2.2. Muestreo.	28
3.2.2.1. Muestreo de Agua.	28
3.2.2.2. Muestreo de Sedimento.	29
3.2.2.3. Muestreo de Suelo.	30
3.3. Análisis de las muestras.	31
3.3.1. Análisis de Agua.	31
3.3.1.1. Pre-tratamiento de las muestras de Agua.	31
3.3.1.2. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Agua.	32
3.3.2. Análisis de Suelo y Sedimento.	32
3.3.2.1. Pre-tratamiento de las muestras de Suelo y Sedimento.	32
3.3.2.2. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Suelo y Sedimento.	33
3.4. Control de calidad.	34
3.5. Procesamiento de datos.	34
CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
4.1. Parametros físico-químicos.	35
4.1.1. Temperatura.	35
4.1.2. Conductividad eléctrica (CE).	37
4.1.3. Potencial de hidrogeno (pH).	40
4.2. Metales pesados.	42

4.2.1. Mercurio (Hg).....	42
4.2.1.1. Mercurio en Suelos.....	42
4.2.1.2. Mercurio en Sedimentos.....	45
4.2.1.3. Mercurio en Aguas.....	47
4.2.2. Aluminio (Al).....	50
4.2.2.1. Aluminio en Suelos.....	50
4.2.2.2. Aluminio en Sedimentos.....	52
4.2.3. Cobre (Cu).....	55
4.2.3.1. Cobre en Suelos.....	55
4.2.3.2. Cobre en Sedimentos.....	57
4.2.3.3. Cobre en Aguas.....	60
CAPÍTULO V.....	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones.....	67
CAPÍTULO VI.....	70
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	73
Anexo I: Normativa legal aplicable.....	73
Anexo 1.1. Constitución de la República del Ecuador.....	73
Anexo 1.2. Ley de Gestión Ambiental.....	75
Anexo 1.3. Acuerdo Ministerial 097-A.....	76
Anexo 1.4. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador RAOH 1215.....	77
Anexo II: Formato de Cadena de Custodia.....	79
Anexo III: Resultados obtenidos.....	80
Anexo 3.1. Temperatura.....	80
Anexo 3.1.1. Tabla de resultados de temperatura.....	80
Anexo 3.1.2. Tablas de estadísticos descriptivos de temperatura.....	80
Anexo 3.2. Conductividad Eléctrica (CE).....	81
Anexo 3.2.1. Tabla de resultados de conductividad eléctrica.....	81
Anexo 3.2.2. Tablas de estadísticos descriptivos de conductividad eléctrica.....	81
Anexo 3.3. Potencial de Hidrógeno (pH).....	82

Anexo 3.3.1. Tabla de resultados del potencial de hidrógeno.....	82
Anexo 3.3.2. Tablas de estadísticos descriptivos del potencial de hidrógeno.....	82
Anexo 3.4. Mercurio	83
Anexo 3.4.1. Tabla de concentraciones de mercurio en suelo, sedimento y agua	83
Anexo 3.4.2. Tablas de estadísticos descriptivos de mercurio en suelo.....	84
Anexo 3.4.3. Tablas de estadísticos descriptivos de mercurio en sedimento.....	85
Anexo 3.4.4. Tablas de estadísticos descriptivos de mercurio en agua.....	86
Anexo 3.5. Aluminio.....	87
Anexo 3.5.1. Tabla de concentraciones de aluminio en suelo y sedimento	87
Anexo 3.5.2. Tablas de estadísticos descriptivos de aluminio en suelo	88
Anexo 3.5.3. Tablas de estadísticos descriptivos de aluminio en sedimento	89
Anexo 3.6. Cobre	90
Anexo 3.6.1. Tabla de concentraciones de cobre en suelo, sedimento y agua.....	90
Anexo 3.6.2. Tablas de estadísticos descriptivos de cobre en suelo	91
Anexo 3.6.3. Tablas de estadísticos descriptivos de cobre en sedimento	92
Anexo 3.6.4. Tablas de estadísticos descriptivos de cobre en agua	93
Anexo IV: Registro fotográfico.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Campos petroleros en la parroquia Limoncocha (SIGAGRO, 2008).....	5
Tabla II. Puntos de Muestreo de Agua y Sedimento.....	26
Tabla III. Puntos de Muestreo de Suelo	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la RBL (MAE, 2011).....	8
Figura 2. Horno de grafito.....	20
Figura 3. Espectrofotómetro de Absorción Atómica con llama	21

Figura 4. Generador de Hidruros	22
Figura 5. Puntos de Muestreo de Agua y Sedimento.	25
Figura 6. Puntos de Muestreo de Suelo.	27
Figura 7. Muestreo de agua	29
Figura 8. Nucleador de tipo “core sampler”	30
Figura 9. Muestreo de sedimento.....	30
Figura 10. Barrenador y muestra de suelo.....	31
Figura 11. Evolución de la temperatura en aguas.....	35
Figura 12. Gráfico <i>boxplot</i> de la temperatura en función del tiempo.....	36
Figura 13. Gráfico <i>boxplot</i> de la temperatura en función de los puntos de muestreo	36
Figura 14. Gráfico clúster de la temperatura en función de los puntos de muestreo	37
Figura 15. Evolución de la CE en aguas.....	37
Figura 16. Gráfico <i>boxplot</i> de la CE en función de los puntos de muestreo.....	38
Figura 17. Gráfico clúster de la CE en función de los puntos de muestreo	38
Figura 18. Gráfico <i>boxplot</i> de la CE en función del tiempo.....	39
Figura 19. Gráfico clúster de la CE en función del tiempo	39
Figura 20. Evolución del pH en aguas	40
Figura 21. Gráfico <i>boxplot</i> del pH en función del tiempo	41
Figura 22. Gráfico <i>boxplot</i> del pH en función de los puntos de muestreo.....	41
Figura 23. Gráfico clúster del pH en función de los puntos de muestreo	42
Figura 24. Evolución del Hg en suelos.....	43
Figura 25. Gráfico <i>boxplot</i> del Hg en suelos en función del tiempo	43
Figura 26. Gráfico <i>boxplot</i> del Hg en suelos en función de los puntos de muestreo	44
Figura 27. Evolución del Hg en sedimentos	45
Figura 28. Gráfico <i>boxplot</i> del Hg en sedimentos en función del tiempo	46
Figura 29. Gráfico <i>boxplot</i> del Hg en sedimentos en función de los puntos de muestreo	46
Figura 30. Evolución del Hg en aguas	48
Figura 31. Gráfico <i>boxplot</i> del Hg en aguas en función del tiempo	48
Figura 32. Gráfico <i>boxplot</i> del Hg en aguas en función de los puntos de muestreo	49
Figura 33. Evolución del Al en suelos	50
Figura 34. Gráfico <i>boxplot</i> del Al en suelos en función del tiempo	51
Figura 35. Gráfico <i>boxplot</i> del Al en suelos en función de los puntos de muestreo	51

Figura 36. Evolución del Al en sedimentos	52
Figura 37. Gráfico <i>boxplot</i> del Al en sedimentos en función del tiempo	53
Figura 38. Gráfico <i>boxplot</i> del Al en sedimentos en función de los puntos de muestreo	54
Figura 39. Evolución del Cu en suelos.....	55
Figura 40. Gráfico <i>boxplot</i> del Cu en suelos en función del tiempo.....	56
Figura 41. Gráfico <i>boxplot</i> del Cu en suelos en función de los puntos de muestreo.....	56
Figura 42. Evolución del Cu en sedimentos	58
Figura 43. Gráfico <i>boxplot</i> del Cu en sedimentos en función del tiempo	58
Figura 44. Gráfico <i>boxplot</i> del Cu en sedimentos en función de los puntos de muestreo	59
Figura 45. Evolución del Cu en aguas	60
Figura 46. Gráfico <i>boxplot</i> del Cu en aguas en función del tiempo	61
Figura 47. Gráfico <i>boxplot</i> del Cu en aguas en función de los puntos de muestreo.....	61

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Agua.	32
Ec. 2. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Suelo y Sedimento.	33

RESUMEN

La presente investigación evalúa la concentración de mercurio, aluminio y cobre en suelos, sedimentos y agua de la Reserva Biológica Limoncocha (en adelante, RBL); así como de sus áreas circundantes y afluentes superficiales a la Laguna de Limoncocha, como los ríos Pishira y Playayacu.

Este estudio permitió establecer la Línea Base de estos metales en los tres factores ambientales y sus fondos geoquímicos en suelo y sedimento y permitió evaluar los niveles de contaminación al compararlos con la Normativa Legal Ecuatoriana.

El monitoreo contó con una campaña que permitió establecer 6 puntos de muestreo de suelo y 8 puntos de muestreo de agua y sedimento. También se fijó el número de campañas de muestreo, que se constituirían en un total de 10, las que se realizarían de manera mensual en época de lluvia y época seca.

Las muestras de suelo, sedimento y agua se digirieron con ácido, siguiendo procesos diferentes, dependiendo de si su matriz es líquida o sólida. Posteriormente, se realizó la determinación del contenido de metales por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS), espectrometría de absorción atómica con llama (EAA) y generación de hidruros (GH). El método empleado depende del contenido de metales en la muestra y del elemento a analizar.

Mediante estos resultados se establecieron los fondos geoquímicos de mercurio, aluminio y cobre en los suelos de la RBL que reportaron concentraciones de 0.0004098 mg/kg, 11438.1 mg/kg y 71.5 mg/kg, respectivamente. En el caso de los sedimentos, el fondo geoquímico de mercurio, aluminio y cobre reportaron concentraciones de 0.000013 mg/kg, 4598.7 mg/kg y 58.7 mg/kg, respectivamente.

También se determinó que las concentraciones de mercurio en suelo y agua, a diferencia de las concentraciones del cobre, no superan los límites permisibles establecidos en la Normativa Legal Ecuatoriana por el A.M. 097-A.

Palabras clave: Ambiente, Áreas protegidas, Contaminantes ambientales, Monitoreo del ambiente y Metales pesados.

ABSTRACT

This research evaluates the concentration of mercury, aluminum and copper in soils, sediments, and water of Limoncocha's Biological Reserve; as well as its surrounding areas and Limoncocha's Lagoon tributaries, such as Playayacu and Pishira rivers.

This study establishes the Baseline for heavy metals and their geochemical backgrounds in soils and sediments. It also assesses pollution levels when compared with the Ecuadorian Legal Regulations.

The monitoring campaign allowed us to establish 6 sampling points for soil and 8 sampling points for water and sediment. It was also established a total of 10 sampling campaigns in a monthly basis. These sampling campaigns were done in rainy and dry seasons.

Soils, sediments and water were prepared for analysis by acid digestion of the samples and subsequently their concentrations were determined by the method of Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS), Flame Atomic Absorption Spectrometry (AAS) and Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry (GH). The method used depends on the samples metal content and the element to be analyzed.

Through these results it was established the geochemical backgrounds of mercury, aluminum and copper in soils of Limoncocha's Biological Reserve who reported concentrations of 0.0004098 mg/kg, 11438.1 mg/kg and 71.5 mg/kg, respectively. In the case of sediments, the geochemical backgrounds of mercury, aluminum and copper reported concentrations of 0.000013 mg/kg, 4598.7 mg/kg and 58.7 mg/kg, respectively.

It was also determined that mercury concentrations in soil and water, unlike copper concentrations, do not exceed the permissible limits established in the Ecuadorian Legal Regulations by A.M. 097-A.

Keywords: Environment, Protected areas, Environmental pollutants, Environmental monitoring and Heavy metals.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del tema.

La presente investigación tiene como tarea generar información sobre la evaluación de la concentración de mercurio, aluminio y cobre en aguas, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica Limoncocha (en adelante, RBL); así como de sus áreas circundantes y afluentes superficiales a la Laguna de Limoncocha, como los ríos Pishira y Playayacu, que podrían presentar presencia de estos metales ya sea por acción natural o antropogénica, para posteriormente realizar una comparación con la Normativa Legal Ecuatoriana.

1.2. Antecedentes.

La Universidad Internacional SEK dispone de la Estación Científica de Limoncocha, ubicada en el antiguo Centro del Instituto Lingüístico de Verano, que le ha permitido el continuo desarrollo de investigaciones de carácter socio-ambientales en la RBL, las cuales forman parte de una plataforma para la obtención de conocimiento (ECOLAP y MAE, 2007). Esto también permite el cumplimiento de los objetivos de una reserva biológica, entre los cuales se detalla el proporcionar facilidades y oportunidades en ambientes naturales para la investigación científica, así como para el conocimiento de los procesos medio ambientales (Ulloa, 1984).

En la RBL se han realizado varios estudios, por parte de la Universidad Internacional SEK, dentro de la línea de investigación “Conservación y Biodiversidad en la Reserva Biológica de Limoncocha”. Estos estudios permiten establecer un marco de investigación para la evaluación de la concentración de metales pesados en los componentes biótico y abiótico de la reserva. Entre estas investigaciones se denotan: “Caracterización y evaluación de los suelos y sedimentos del sector de la Laguna de Limoncocha” elaborado por Cordovéz (1998); “Evaluación de la bioacumulación de bario, cromo, níquel y zinc en las macrófitas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* de la Laguna de Limoncocha” elaborado por Irigoyen (2001) y “Caracterización geoquímica de sedimentos de la Laguna de Limoncocha” elaborado por Ordoñez (2013).

De tal manera que, el presente estudio permite continuar con la línea de investigación planteada por la Universidad Internacional SEK, aportar a la obtención de nuevos conocimientos que permitan caracterizar la RBL a partir de la línea base y poder así contribuir en la realización de futuras investigaciones dentro de la línea de investigación en mención.

1.3. Importancia del estudio.

La RBL está en relación con algunos de los campos petroleros más importantes del Ecuador, se encuentra ubicada dentro de un bloque de producción hidrocarburífera manejada en la actualidad por Petroamazonas EP (ECOLAP y MAE, 2007). Esta región es parte de la selva amazónica, y se ha definido como una de las zonas de alto endemismo y diversidad biológica (Webb et al., 2004).

En la Tabla I se citan las superficies de los siete campos petroleros que se encuentran ubicados en la parroquia de Limoncocha. Las diversas fases de industrialización hidrocarburífera que se llevan a cabo en estos campos petroleros, como explotación, producción, transporte, almacenamiento e industrialización, han incidido directa e indirectamente sobre los aspectos socio-económicos y culturales de la parroquia (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Limoncocha, 2015).

Tabla I. Campos petroleros en la parroquia Limoncocha (SIGAGRO, 2008).

CAMPOS PETROLEROS	NOMBRE	SUPERFICIE (ha)
	Shushufindi	3,683.600
	Quilla	399.600
	Limoncocha	1,291.690
	Jivino	316.320
	Laguna	674.680
	Indilana	403.290
	San Francisco	1,419.720

Según Narváez (2000) las diversas fases de industrialización hidrocarburífera contaminan, con desechos tóxicos, los recursos agua, suelo, aire, flora y fauna, elementos necesarios para desarrollar una serie de actividades que generan riqueza y satisfacen necesidades de diversas comunidades. Estos desechos incluyen metales pesados y químicos cancerígenos, depositados en los ríos y suelos alrededor de sus instalaciones y que quedarían allí por décadas.

También es importante mencionar las principales ramas de actividad económica a las que se dedica la población económicamente activa de la parroquia de Limoncocha, con 3399 habitantes. Estas actividades son: agricultura, ganadería, silvicultura y pesca en 40,01%;

construcción en 18,71%, y explotación de minas y canteras en 12,09%; las otras actividades son poco significativas (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Limoncocha, 2015).

De igual manera, se puede citar específicamente a las comunidades de Pompeya, Indillama y San Antonio que se encuentran ubicadas dentro de la zona de amortiguamiento de la RBL. La población de estas comunidades es de 1195 personas, de donde el 71,6% corresponde a la Población Económicamente Activa (en adelante, PEA). El 42,6% de la PEA tiene como principal actividad la agricultura y, acorde a encuestas, se revela a la agricultura como actividad secundaria o complementaria en un 86,6% (Armas y Lasso, 2011).

Las tres comunidades analizadas anteriormente tienen, en promedio, 99,6 ha por familia. La mayor parte de las familias ha intervenido el bosque para poder cultivar las tierras. La encuesta revela que de las 99,6 ha de promedio de tenencia, 7,2 hectáreas han sido intervenidas, es decir un 7,3 % de la superficie de las fincas se encuentra con algún tipo de cultivo (Armas y Lasso, 2011).

Es necesario destacar que la actividad agrícola puede aportar a la entrada de metales pesados en el componente abiótico desde los fertilizantes, plaguicidas, estiércol, entre otros, y por aguas residuales aplicadas en los sistemas de riego de plantaciones, especialmente en zonas rurales (Peris, 2006).

Tomando en consideración lo descrito anteriormente, los peces acumulan contaminantes en sus tejidos grasos, provocando el envenenamiento crónico de las poblaciones que se asientan tradicionalmente en la proximidad de los cuerpos de agua dulce para proveerse de agua y pescado (Bravo, 2007); así como sucede en la comunidad kichwa de

Limoncocha, la cual hace uso de la biodiversidad y servicios ambientales de la RBL (Neira *et al.*, 2013).

De tal manera que la presente investigación resulta de gran importancia para determinar las características propias de la reserva; así como la incidencia y evaluación de la contaminación en la misma.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

- Evaluar la concentración de mercurio, aluminio y cobre en aguas, suelos y sedimentos recolectados en la RBL a través de muestreos mensuales para establecer la Línea Base.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Establecer una metodología base que permita el monitoreo y muestreo para determinar la concentración de metales pesados (Al, Hg y Cu) en aguas, suelos y sedimentos de la RBL.
- Evaluar la concentración de metales pesados (Al, Hg y Cu) por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS), espectrometría de absorción atómica con llama (EAA) y generador de hidruros (GH), y compararlos con Normativa Legal Ecuatoriana.

El 100% del área de la RBL, 4613 ha, corresponde a un Humedal RAMSAR, denominación obtenida en julio de 1998 (ECOLAP y MAE, 2007). Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

Los humedales figuran entre los medios más productivos del mundo. Son cunas de diversidad biológica y fuentes de agua y productividad primaria de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir. Dan sustento a altas concentraciones de especies de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados. Los humedales son también importantes depósitos de material genético vegetal (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

La Convención sobre los Humedales es un tratado intergubernamental, aprobado el 2 de febrero de 1971, que tiene la misión de la conservación y el uso racional de los mismos mediante acciones locales, regionales y nacionales, y gracias a la cooperación internacional (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

Es importante mencionar que las condiciones climatológicas son de gran importancia para la constitución de los humedales. En la parroquia de Limoncocha se presentan precipitaciones anuales mínimas de 2.850 a máximas de 2.900 mm en una superficie de 17.778,7 hectáreas, localizadas en el extremo oeste de la parroquia. El rango que va de 2.900 a 3.200 mm, marca los límites de distribución de moderadas precipitaciones hacia el centro del territorio parroquial. Las máximas precipitaciones ocurren en el rango de 3.200 a 3.400 mm,

mientras que el rango de temperatura anual en la parroquia va desde los 25 a 25,5°C (SIGAGRO, 2008).

Acorde a las precipitaciones y temperaturas determinadas en la parroquia de Limoncocha se presentan dos tipos de climas que son poco diferenciados. Éstos son: Clima Tropical Megatérmico muy húmedo y Clima Tropical lluvioso (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Limoncocha, 2015).

La RBL posee una constante radiación solar y humedad relativa de 98% (ECOLAP y MAE, 2007). Según Holdridge, toda la reserva comprende la zona de vida bosque húmedo Tropical (bh-T), con una temperatura promedio de 24°C y una precipitación de 3000 mm anuales, con una distribución de las lluvias muy regular a lo largo de todo el año.

Según ECOLAP y MAE (2007), la RBL posee seis formaciones vegetales clasificadas en: bosque siempreverde de tierras bajas, bosque siempreverde de tierras bajas inundado por aguas blancas, bosque siempreverde de tierras bajas inundado por aguas negras, bosque inundable de palmas de tierras bajas y herbazal lacustre de tierras bajas. Además, presenta un elevado nivel de biodiversidad que corresponde a 53 especies de mamíferos, 144 de aves, 92 de anfibios y reptiles y 93 de peces, aunque con una baja densidad poblacional.

Cabe recalcar que la RBL es de gran importancia por ser una de las pocas reservas intervenidas por el hombre, donde se pueden encontrar comunidades ubicadas en su zona de amortiguamiento. Estas comunidades son: Limoncocha, Santa Elena, Jivino, Itaya, Pompeya e Indillama (Ortiz, 2012; ECOLAP y MAE, 2007).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Estudios previos.

2.1.1. Generales.

Los metales pesados son unos de los mayores constituyentes inorgánicos en los ecosistemas acuáticos (Emoyan *et al.*, 2006). Su entrada en las aguas superficiales de los ríos y posterior deposición en los sedimentos representan un serio problema para estos ecosistemas. Dado que son elementos nada biodegradables, tienden a acumularse en tejidos vegetales o animales, desencadenando procesos de biomagnificación y acciones toxicodinámicas (Scherer *et al.*, 2011; Marrugo y Paternina, 2011).

Muchos de estos contaminantes no son detectados en la columna de agua y con el fin de conocer el destino de éstos y su efecto sobre el ambiente es de vital importancia que se desarrollen estudios tendientes a evaluar sus concentraciones en sedimentos (Marrugo y Paternina, 2011).

En las aguas de los ríos, los metales provienen de procesos naturales como la meteorización de rocas y erosión de los suelos; sin embargo, los aportes de los vertidos

procedentes de las actividades antropogénicas contribuyen significativamente al incremento de sus concentraciones. Además, la precipitación y la deposición atmosférica pueden ingresar cantidades importantes de estos metales en el ciclo hidrológico por medio de las aguas superficiales (Furhan et al., 2006; Feria et al., 2010).

Respecto a la edafología, el tipo de roca madre que ha generado el suelo, determinará directamente la cantidad de metales pesados existentes de forma natural. Así mismo, la cantidad de metal que vaya a ser incorporado en el suelo, va a depender del grado de resistencia de cada mineral que la constituye. Además de lo indicado, las acciones antrópicas van a también influir en la entrada de metales pesados (García *et al.*, 2002).

La peligrosidad de un metal en el suelo dependerá de la biodisponibilidad con que esté presente en el ecosistema, así como del propio efecto que dicho metal genere sobre la calidad del mencionado suelo, y en concreto sobre su actividad microbiana. La biodisponibilidad determinará la cantidad de metal que ingrese a la cadena alimentaria principalmente a través de las plantas, desencadenando los mismos procesos y acciones que en los ecosistemas acuáticos (García *et al.*, 2002).

Los metales pesados son elementos químicos que poseen interés ambiental por las repercusiones que estos tienen en los ecosistemas. Los niveles de estos metales en los cuerpos de agua, suelos y sedimentos béticos permiten determinar el nivel de toxicidad de los mismos, su potencial ingreso y afectación a la cadena trófica (Marrugo y Paternina, 2011). Es por ello que el monitoreo del contenido de metales pesados en los cuerpos de agua, suelos y sedimentos, especialmente el derivado de las actividades antropogénicas, es importante para la

valoración de la calidad y protección de los ecosistemas (Priju y Narayana, 2007; Márquez *et al.*, 2010).

2.1.2. Específicos.

En Ecuador se han realizado estudios tendientes a la evaluación de la contaminación por metales pesados relacionados a la actividad antropogénica, específicamente la hidrocarburífera. Entre estos estudios se denota: “Determinación de metales pesados en el medio biótico y abiótico en tres cuerpos de agua receptores de los efluentes del Complejo Industrial Shushufindi (CIS)” elaborado por López (2013).

Este estudio determina la concentración de metales pesados (Hg, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, V, Pb y Zn) en aguas, sedimentos y peces de tres sitios con influencia directa y uno con influencia indirecta de las actividades petroleras del CIS. Las muestras se recolectaron mediante metodologías sugeridas por la United States Environmental Protection Agency (USEPA) y el US Geological Survey (USGS). La cuantificación de metales se realizó mediante espectroscopía de absorción atómica (López, 2013).

De igual manera, se han desarrollado estudios en la RBL en esta misma línea de investigación de donde se puede destacar: “Caracterización y evaluación de los suelos y sedimentos del sector de la Laguna de Limoncocha” elaborado por Cordovéz (1998).

Este estudio analiza las características físico-químicas de los suelos y sedimentos de la laguna y de los sectores aledaños, lo que permite establecer una línea base de utilidad en la evaluación integral del nivel de contaminación. Los parámetros analizados fueron pH, conductividad, salinidad, cloruros, nitrógeno amoniacal, aceites y grasas, y metales pesados

(Pb, Ca, Mg, Fe, Cr, Ba, Zn, Ni y Cd). Se aplicó el método de Hanssen a los datos experimentales para obtener relaciones lineales entre la variación de la concentración de los parámetros en función de la probabilidad de ocurrencia (Cordovéz, 1998).

También cabe mencionar el estudio desarrollado por Irigoyen (2001) con el tema “Evaluación de la bioacumulación de bario, cromo, níquel y zinc en las macrófitas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* de la Laguna de Limoncocha”.

El estudio elabora una evaluación para determinar la posibilidad de remover metales pesados (Ba, Cr, Ni y Zn), utilizando macrófitas acuáticas como el lechuguin (*Pistia stratiotes*) y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) (Irigoyen, 2001).

Por último cabe mencionar el estudio “Caracterización geoquímica de sedimentos de la Laguna Limoncocha” elaborado por Ordoñez (2013). Éste abordó la caracterización geoquímica de sedimentos de la laguna mediante la realización de ensayos físicos, análisis químicos y mineralógicos. Además, se determinó la concentración de metales pesados (Co, Pb, Mn, Cd, Cu, Zn, Ni, Sn, Cr, Ti, V y Ba) en los sedimentos de la laguna, realizando un pre-tratamiento de las muestras por el método USEPA 3050 “Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos”. La cuantificación del contenido de metales se realizó mediante el método de Espectrometría de Absorción Atómica con llama (EAA) (Ordoñez, 2013).

Los estudios previamente citados permiten establecer una base para la elaboración del presente trabajo en continuación con la línea de investigación instaurada por la Universidad Internacional SEK evidenciado su viabilidad técnica.

2.2. Marco legal.

Para el desarrollo del presente estudio se identificó el marco legal apropiado y aplicable, que sea capaz de garantizar los derechos y el correcto desenvolvimiento de la investigación.

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador (2008)

La Constitución es reconocida como la Suprema Ley y se fundamenta como un sistema de normas, reglas y principios jurídicos universales que rigen la organización y funcionamiento del Estado y de la Sociedad Ecuatoriana (Merchán, 2015).

En la Constitución se detalla el deber primordial que posee el Estado de proteger el patrimonio natural del país y se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir. Para el presente estudio son aplicables los siguientes artículos 3, 14, 30, 66, 71, 73, 83, 261, 264, 275, 276, 277, 395, 404, 405, 406, 409, 410, 411 y 412 (Ver Anexo 1.1.).

2.2.2. Ley de Gestión Ambiental

“La Presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia” (Ley de Gestión Ambiental, 2004).

La Ley de Gestión Ambiental se encuentra enmarcada por principios fundamentales que le permiten promover la conservación, protección y manejo ambiental así como el uso

sustentable de los recursos naturales en armonía con el interés social. Para el presente estudio son aplicables los siguientes artículos: 2, 6, 7 y 12 (Ver Anexo 1.2.).

2.2.3. Acuerdo Ministerial N° 097-A

Este cuerpo legal reforma el Texto Unificado de Legislación Secundaria y acuerda expedir los anexos del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Para el presente estudio son aplicables los siguientes artículos: 1 y 2 (Ver Anexo 1.3.).

2.2.4. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador RAOH 1215

El RAOH tiene por objeto regular las actividades hidrocarburíferas susceptibles de producir impactos ambientales; motivo por el cual, este se aplicará a todas las operaciones hidrocarburíferas y afines que se llevan a efecto en el país. Para el presente estudio son aplicables los siguientes artículos: 1, 29, 86 y 87 (Ver Anexo 1.4.).

2.2.5. Plan Nacional del Buen Vivir

El presente estudio busca enmarcarse dentro de los objetivos estipulados en el Plan Nacional del Buen Vivir demostrando el compromiso a construir una sociedad de derechos que fomente el desarrollo sostenible, el adecuado aprovechamiento de los recursos y el respeto por el ambiente. Para este estudio son aplicables los siguientes objetivos:

Objetivo 3: Mejorar la calidad de vida de la población.

En este objetivo se garantiza la preservación y protección del patrimonio natural a través de la sostenibilidad de los recursos así como el derecho a una vivienda adecuada, segura y digna con condiciones ambientales apropiadas.

Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.

En este objetivo se propone asegurar la promoción, la vigencia y la plena exigibilidad de los derechos de la naturaleza así como garantizar la sostenibilidad de los recursos, y prevenir, controlar y mitigar la contaminación.

2.3. Marco conceptual.

2.3.1. Metales pesados.

Elementos cuya densidad es igual o superior a 5 g/cm^3 , cuando está en forma elemental, y en la tabla periódica son aquellos con número atómico mayor a 20, excluyendo los metales alcalinos y alcalino-terreos. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor al 0.01% (Toral, 1996; Marrugo y Paternina, 2011).

2.3.1.1. Aluminio.

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm (Barrenechea, 2004).

2.3.1.2. Mercurio.

Es un elemento no esencial, en un medio acuoso puede encontrarse como mercurio divalente o metálico. En los sedimentos, el mercurio metálico puede transformarse en dimetilmercurio; este compuesto es muy tóxico y tiene capacidad de encontrarse en las cadenas alimenticias (López, 2013).

2.3.1.3. Cobre.

Es un elemento traza esencial que se absorbe con facilidad y se distribuye en todos los órganos del cuerpo humano. El cobre es un metal que no se acumula; se considera relativamente no tóxico, sin embargo en exceso puede manifestar toxicidad (López, 2013). El cobre en el ambiente se presenta en diversas sales minerales y compuestos orgánicos, así como en forma metálica (Marrugo y Paternina, 2011).

2.3.2. Parámetros físico-químicos.

Los parámetros físico-químicos principales reflejan la función física y biológica del ambiente con el que el agua tiene interacción. Los parámetros principales se pueden medir fácilmente y constituyen una manera de clasificar posibles factores de estrés para la salud del sistema acuático (Peters *et al.*, 2009).

2.3.2.1. Temperatura.

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos y la formación de depósitos (Barrenechea, 2004).

2.3.2.2. Potencial de Hidrógeno (pH).

Es un término usado universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas de una solución cualquiera, en este caso del agua (Pérez, 1981). El pH es un factor abiótico que regula procesos biológicos mediados por enzima, la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas y la movilidad de metales pesados. También permite determinar la especiación química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en agua (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).

2.3.2.3. Conductividad Eléctrica (CE).

La conductividad se define como la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua. La conductividad nos da una idea del contenido total de sales en el agua. Cuanto más elevada sea la conductividad mayor será el contenido en sales (Canovas, 1986).

2.3.3. Horno de grafito (GFAAS).

La espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS) es también conocida como espectrometría de absorción atómica electrotérmica (ETAAS). Esta técnica tiene su principio en que los átomos absorben la luz en las longitudes de onda característica del elemento de interés (Amador, 2010).

En GFAAS, las muestras se depositan en un tubo de grafito con la ayuda de un automuestreador, con el propósito de dispensarla reproduciblemente dentro del tubo. El tubo es calentado por resistencia óhmica al paso de corriente, a través de contactos de grafito que transfieren la energía eléctrica al sistema de atomización para vaporizar y atomizar por

completo una alícuota de muestra del analito. Dentro de ciertos límites, la cantidad de luz absorbida se puede correlacionar linealmente con la concentración del analito (Amador, 2010).

En la Figura 2 se presenta el equipo GeminAA de la casa comercial GBC Scientific Equipment® utilizado en la espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS) para el análisis de metales pesados en el presente estudio.



Figura 2. Horno de grafito

2.3.4. Espectrometría de Absorción Atómica con llama (EAA).

En esta metodología se utiliza un atomizador de llama en el que la disolución de la muestra es nebulizada mediante un flujo de gas oxidante, mezclado con el gas combustible y se transporta a una llama donde se produce la atomización (Márquez, 2009).

En la llama se producen una serie de procesos conocidos como desolvatación, disociación de moléculas y fracción de moléculas, para producir espectros de emisión moleculares, atómicos e iónicos. La cantidad de luz absorbida, proveniente de los espectros

emitidos, se puede correlacionar linealmente con la concentración del analito (Márquez, 2009; Amador, 2010).

En la Figura 3 se presenta el equipo AAnalyst 200 de la casa comercial Perkin Elmer ® utilizado en la espectrometría de absorción atómica con llama (EAA) para el análisis de metales pesados en el presente estudio.



Figura 3. Espectrofotómetro de Absorción Atómica con llama

2.3.5. Generador de Hidruros (GH).

Es un método para introducción de muestras que contienen arsénico, antimonio, estaño, mercurio, selenio, bismuto, dicho procedimiento mejora los límites de detección de éstos elementos (Márquez, 2009).

La introducción de la muestra es la etapa limitante de la exactitud, precisión y límites de detección de las medidas de los espectrofotómetros atómicos. Siendo el objetivo del

sistema de introducción de la muestra transferir una parte reproducible y representativa de la muestra al atomizador (Márquez, 2009).

En la Figura 4 se presenta el equipo empleado en el presente estudio para la introducción de muestras por Generador de Hidruros para el análisis de mercurio en el espectrofotómetro atómico.



Figura 4. Generador de Hidruros

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Investigación bibliográfica.

La investigación bibliográfica se realizó mediante el análisis de estudios previos, tanto locales como internacionales, de carácter científico acordes a la línea de investigación planteada por el estudio y la Universidad Internacional SEK.

Estos estudios permitieron establecer las diferentes metodologías de trabajo de manera que estas pudieran ser replicables e internacionalmente admitidas.

3.2. Monitoreo y muestreo.

3.2.1. Puntos de Monitoreo.

El monitoreo constó de una primera campaña que permitió establecer 6 puntos de muestreo de suelo y 8 puntos de muestreo de agua y sedimento, donde se registraron sus coordenadas UTM mediante GPS de marca Garmin ®. Estos puntos de muestreo se tomaron en consideración ya que permitirían generar datos representativos para el levantamiento de la Línea Base, así como para determinar la incidencia de la contaminación por acciones antrópicas en la RBL.

También se definieron el número de campañas de muestreo, que se constituirían en un total de 10, las que se realizarían de manera mensual en época de lluvia y época seca, ya que la zona no posee estaciones climáticas definidas debido a su ubicación geográfica. Las campañas de muestreo se realizaron durante el periodo abril de 2015 a abril de 2016.

3.2.1.1. Puntos de Monitoreo de Agua y Sedimento.

Los muestreos de agua y sedimento se llevaron a cabo en la Laguna de Limoncocha; así como en sus afluentes superficiales, como los ríos Pishira y Playayacu, que podrían presentar presencia de metales ya sea por acción natural o antropogénica. También se tomó en consideración un punto de muestreo en el río Napo debido a que la Laguna de Limoncocha es de origen fluvial, habiéndose formado de un brazo del río en mención (Ver Figura 5 y Tabla II).

En la Laguna de Limoncocha se tomaron en consideración 3 puntos de muestreo en un eje transversal a la laguna, que permitirían generar datos representativos para el levantamiento de la Línea Base; siendo estos los puntos: 1-Caño, 4-Zona profunda y 5-Muelle.

En el punto 4-Zona profunda se procedió a tomar una muestra de sedimento a 50 cm de profundidad, la cual permitió establecer el fondo geoquímico o contenido natural de metales en el sedimento de la RBL. Según Hernández y Martín (2015) la toma de la muestra para establecer el fondo geoquímico en sedimentos puede realizarse por métodos directos, en este caso a partir del aspecto histórico, a una profundidad superior a los 25 a 30 cm debido a que allí es donde se presenta una contaminación en una escala de moderada a severa.

Los puntos de muestreo 2-Desembocadura Pishira y 3-Desembocadura Playayacu permiten evaluar la evolución en la concentración de los metales procedentes de los afluentes superficiales a la laguna al realizar un contraste entre sus valores y los obtenidos en los puntos 7-Río Pishira y 8-Río Playayacu.

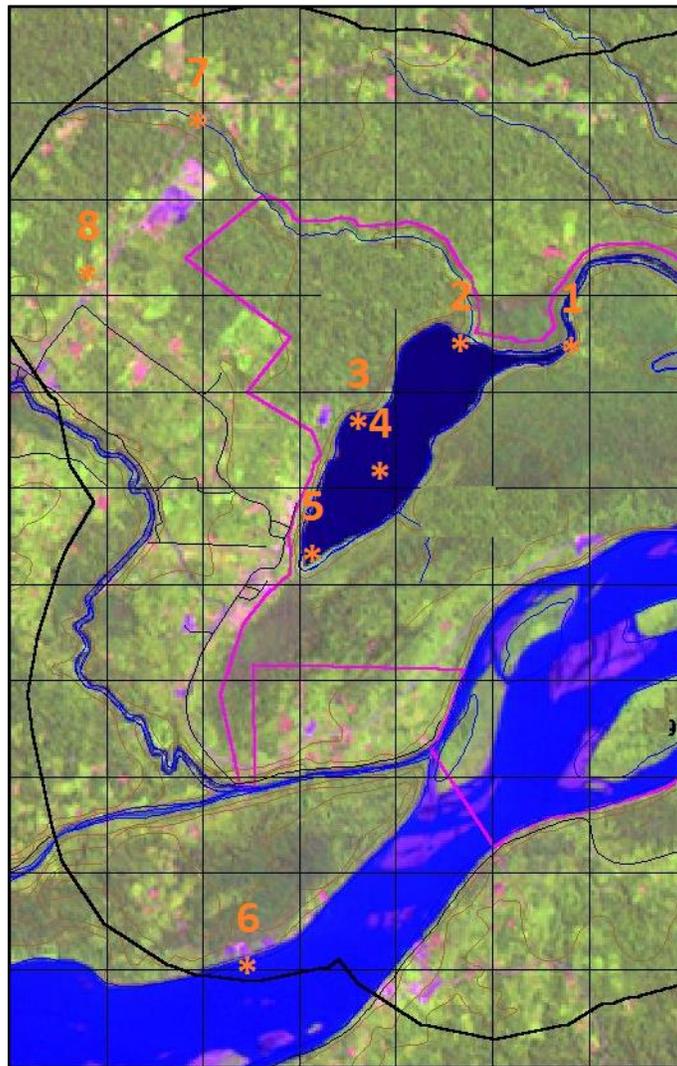


Figura 5. Puntos de Muestreo de Agua y Sedimento.

Tabla II. Puntos de Muestreo de Agua y Sedimento

Nombre	Punto	Coordenadas UTM		
		X (m)	Y (m)	h (m.s.n.m.)
Caño	1	18M0322450	9957026	244 m.
Desembocadura Pishira	2	18M0321523	9957107	242 m.
Desembocadura Playayacu	3	18M0320315	9956422	243 m.
Zona profunda	4	18M0320464	9955756	240 m.
Muelle	5	18M0319828	9954858	243 m.
Río Napo	6	18M0319258	9950788	235 m.
Río Pishira	7	18M0318794	9959490	267 m.
Río Playayacu	8	18M0317589	9957679	282 m.

3.2.1.2. Puntos de Monitoreo de Suelo.

Los muestreos de suelo se llevaron a cabo en la RBL; así como en las áreas circundantes, que podrían presentar metales, ya sea por acción natural o antropogénica debido a las actividades que se desarrollan en zonas aledañas a los mismos (Ver Figura 6 y Tabla III).

Los puntos de muestreo 2-Pozo Laguna y 3-Pozo Jivino B se encuentran ubicados en las inmediaciones de pozos petroleros del Bloque 15, manejado en la actualidad por Petroamazonas EP.

Los puntos de muestreo 1-Pozo antiguo, 4-Instituto y 5-Estación se encuentran ubicados en lugares donde existe la presencia concurrente de actividad antropogénica por parte de los habitantes de la parroquia de Limoncocha.

El punto de muestreo 6-Sendero Caimán se encuentra ubicado dentro de la zona de bosque de la RBL. El fondo geoquímico de los metales en los suelos de la RBL, se puede obtener por métodos directos, en este caso a partir del aspecto contemporáneo, mediante el valor de la mediana en las muestras de un suelo “blanco”, considerado como tal, a aquel en el que no existe actividad antropogénica cercana y va a reportar el contenido natural de los metales en el suelo (Hernández y Martín, 2015).

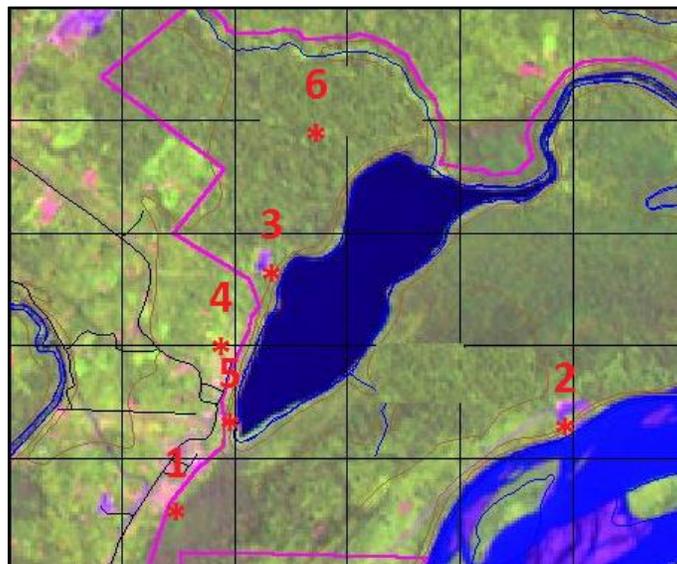


Figura 6. Puntos de Muestreo de Suelo.

Tabla III. Puntos de Muestreo de Suelo

Nombre	Punto	Coordenadas UTM		
		X (m)	Y (m)	h (m.s.n.m.)
Pozo antiguo	1	18M0319303	9954281	228 m.
Pozo Laguna	2	18M0322661	9954913	239 m.
Pozo Jivino B	3	18M0320055	9956277	252 m.
Instituto	4	18M0319717	9955425	258 m.

		Coordenadas UTM		
Nombre	Punto	X (m)	Y (m)	h (m.s.n.m.)
Estación	5	18M0319673	9954996	250 m.
Sendero Caimán	6	18M0320526	9957796	247 m.

3.2.2. Muestreo.

El resultado de las determinaciones analíticas solo puede ser tan bueno como la muestra en la cual se realiza. Las muestras deben ser representativas del cuerpo bajo estudio y se debe reducir el riesgo de contaminación mediante una limpieza adecuada de los equipos de muestreo y envases así como el manejo cuidadoso durante la toma de muestra (López, 2013).

3.2.2.1. Muestreo de Agua.

La medición de parámetros físico-químicos (pH, CE y T) se obtuvo con el equipo multiparámetro HQ40d de la casa comercial Hach ®. El muestreo de agua se realizó mediante el uso de guantes desechables y envases plásticos lavados, previamente etiquetados y con capacidad de almacenamiento de un litro (Ver Figura 7). Los envases se llenaron parcialmente y enjuagaron con el agua a muestrear previo a la toma de muestra.



Figura 7. Muestreo de agua

Las muestras de agua se transportaron en *coolers* con cadenas de custodia (Ver Anexo II). Estas se enviaron desde el laboratorio de la Estación Científica de Limoncocha hasta el laboratorio de Procesos ubicado en la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK. Las muestras se preservaron mediante la adición de 5 mL de ácido nítrico concentrado y su refrigeración a 4°C.

3.2.2.2. Muestreo de Sedimento.

El muestreo de sedimento se realizó con un nucleador de acero inoxidable de tipo “core sampler” (Ver Figura 8), almacenándolo en fundas ziploc de polietileno incoloro y cierre hermético, previamente etiquetadas y con capacidad de almacenamiento de 1 kg (Ver Figura 9). Se empleó un percutor para la aplicación de una fuerza mecánica, la cual facilitó la obtención de la muestra.



Figura 8. Nucleador de tipo “core sampler”



Figura 9. Muestreo de sedimento

El transporte de estas muestras fue el mismo que el empleado para las muestras de agua y se preservaron mediante su refrigeración a 4°C.

3.2.2.3. Muestreo de Suelo.

Para la toma de las muestras de suelos fue necesario remover la cobertura vegetal, y posteriormente emplear un barrenador para la recogida del estrato superficial (Ver Figura 10). El almacenamiento, transporte y preservación de las muestras fue el mismo que el empleado para los sedimentos.



Figura 10. Barrenador y muestra de suelo

3.3. Análisis de las muestras.

En el presente estudio se analizó el contenido de metales mediante los métodos de espectrofotometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS), espectrometría de absorción atómica con llama (EAA) y generación de hidruros (GH) El método empleado dependerá del contenido de metales en la muestra y del elemento a analizar.

Para aplicar estos métodos, la muestra debe estar en forma líquida, esto con frecuencia obliga a un pre-tratamiento químico de la matriz original para obtener el analito metálico en solución; la selección del pre-tratamiento depende de la naturaleza de la muestra (López, 2013). En la presente investigación las muestras son de agua, suelo y sedimento, las cuales siguen procesos diferentes dependiendo de si su matriz es líquida o sólida.

3.3.1. Análisis de Agua.

3.3.1.1. Pre-tratamiento de las muestras de Agua.

Para la preparación de las muestras para su análisis se siguió el procedimiento *Standard Methods: 3030E: Nitric Acid Digestion of Metals*. Esta técnica de digestión consiste

en colocar 100 mL de muestra (V_i) en un vaso de precipitación y añadir 5 mL de ácido nítrico concentrado. El vaso de precipitación se colocó sobre una plancha a 105°C hasta obtener un volumen de muestra de 10 a 20 mL. Una vez terminado el proceso de digestión y con las disoluciones de las muestras frías, se enrasaron en un balón aforado de 100 mL (V_f).

3.3.1.2. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Agua.

Para la determinación del contenido de metales en las muestras de agua no es necesario efectuar cálculos debido a que el volumen inicial de disolución (V_i) es igual a su volumen final (V_f), $V_i = V_f$.

En caso de no ser iguales los volúmenes de disoluciones inicial y final ($V_i \neq V_f$) sería necesario emplear el siguiente cálculo:

Ec. 1. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Agua.

$$D = V_i/V_f$$

3.3.2. Análisis de Suelo y Sedimento.

3.3.2.1. Pre-tratamiento de las muestras de Suelo y Sedimento.

Las muestras de suelo y sedimento fueron previamente secadas en una estufa por un lapso de 24 horas a una temperatura de 90°C. Posteriormente se realizó un proceso de molienda con un mortero y pistilo que permitieron disgregar los terrones formados en el proceso de secado. Una vez que la muestra posee una textura homogénea se procede a pesarla en una balanza analítica hasta obtener un gramo.

Para la preparación de las muestras para su análisis se siguió el procedimiento *EPA: 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils*. En la digestión de las muestras de suelo y sedimento se colocó el 1 g de muestra, previamente secada (P_m), en un matraz Erlenmeyer para seguidamente añadir 5 mL de agua destilada y 5 mL de ácido nítrico concentrado.

El matraz Erlenmeyer se lo colocó sobre una plancha a 95°C en un sistema de digestión de flujo abierto y se procedió a añadir sucesivos volúmenes de 5 mL de peróxido de hidrógeno hasta completar la digestión, la cual se evidenció por un aclaramiento y transparencia en el color de la muestra. Una vez terminado el proceso de digestión y con las disoluciones de las muestras frías, se filtraron mediante un papel filtro cualitativo en un balón aforado de 100 mL (V_f).

3.3.2.2. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Suelo y Sedimento.

Las concentraciones (C_d) medidas por los distintos métodos de análisis se expresaron en unidades de mg del metal/kg de suelo, realizándose la siguiente transformación:

Ec. 2. Cálculo para la determinación de metales en muestras de Suelo y Sedimento.

$$C_m (mg/kg) = \frac{C_d (mg/L) \cdot V_f (L)}{P_m (g)} \cdot 10^3 (g/kg)$$

3.4. Control de calidad.

El control de calidad de los datos obtenidos, en la realización del presente estudio, se realizó estableciendo los siguientes procedimientos y criterios:

- Los equipos y materiales empleados fueron calibrados y validados por los fabricantes.
- Las soluciones empleadas poseen certificación del laboratorio de origen.
- La elaboración de muestras blanco con agua destilada utilizando los mismos reactivos y procedimientos para el pre-tratamiento de las muestras.
- La curva de calibración, la cual fue aceptada únicamente si poseía un coeficiente de correlación mínimo de 0.98.
- Se establecieron muestras de referencia, las cuales son muestras que poseen una concentración conocida, cada 10 muestras a analizar para verificar la correcta lectura del equipo en el contenido de metales.

3.5. Procesamiento de datos.

Los datos obtenidos de las muestras de agua, suelo y sedimento, así como de los parámetros físico-químicos, fueron clasificados y agrupados para ser registrados en tablas. A partir de estos datos, se elaboraron gráficos que permitan visualizar tendencias y correlaciones entre los parámetros medidos y los sitios donde fueron recolectados.

Estos datos también permitieron generar comparaciones entre los parámetros medidos y la Normativa Legal Ecuatoriana, así como generar los resultados y conclusiones de la presente investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Parametros físico-químicos.

4.1.1. Temperatura.

Los resultados de las temperaturas obtenidas se recogen en el Anexo 3.1.1. y se pueden evidenciar en la Figura 11. Ésta permite afirmar que los valores de las temperaturas, en los puntos de muestreo en ríos, son significativamente inferiores.

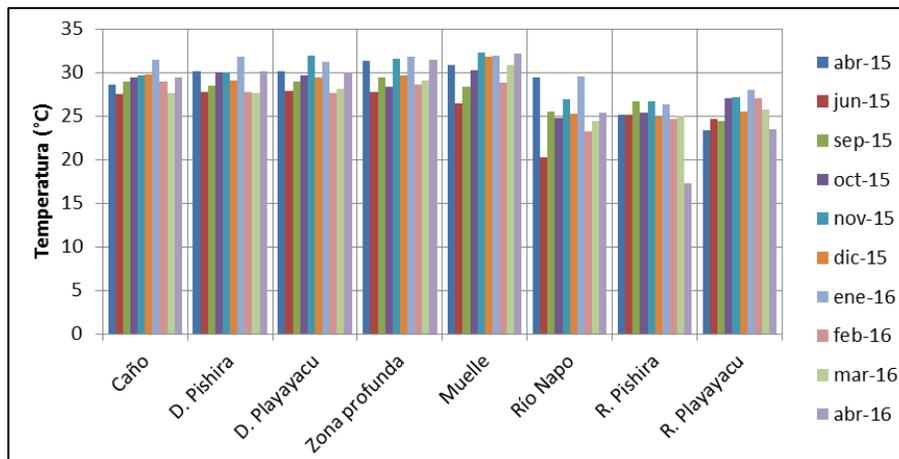


Figura 11. Evolución de la temperatura en aguas

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.1.2., permiten aseverar que los valores de las medianas son semejantes a pesar de que estas presentan una variabilidad pero poco significativa (Figura 12).

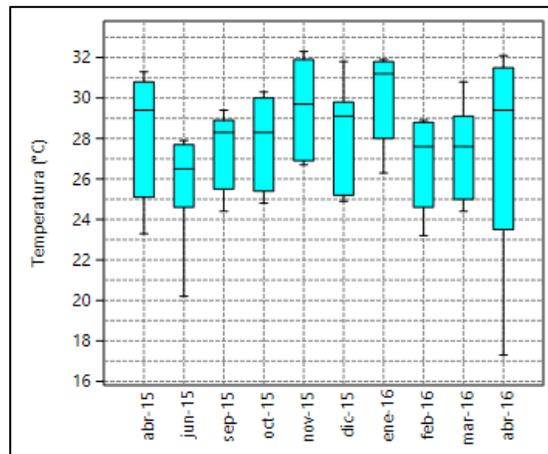


Figura 12. Gráfico *boxplot* de la temperatura en función del tiempo

Sin embargo, se presenta una evidente asociación entre los puntos de muestreo en ríos así como entre los puntos de muestreo en la laguna, como se expone en la Figura 13 y 14.

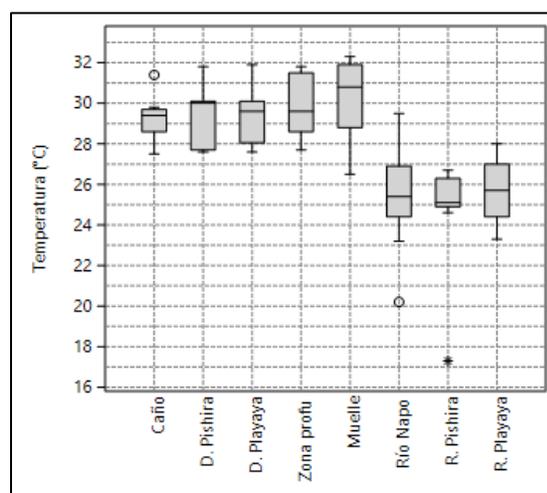


Figura 13. Gráfico *boxplot* de la temperatura en función de los puntos de muestreo

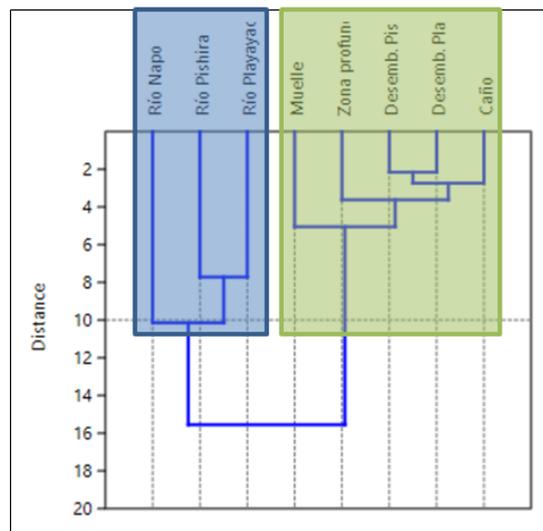


Figura 14. Gráfico clúster de la temperatura en función de los puntos de muestreo

4.1.2. Conductividad eléctrica (CE).

Los resultados de las conductividades eléctricas obtenidas se recogen en el Anexo 3.2.1. y se pueden evidenciar en la Figura 15. Ésta permite afirmar que los valores de los puntos de muestreo en la laguna, en los meses de enero, febrero y abril de 2016, son elevados y atípicos.

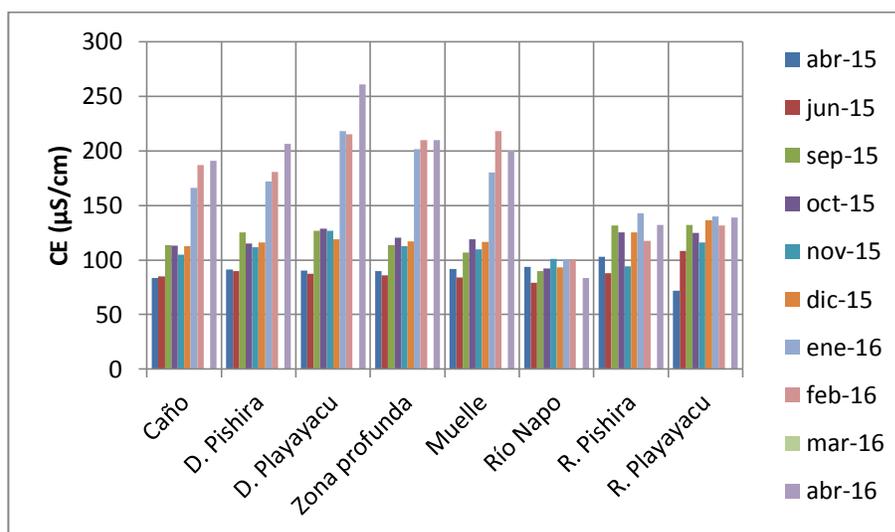


Figura 15. Evolución de la CE en aguas

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.2.2., permiten aseverar que los valores de las medianas son semejantes entre los puntos de muestreo. También se presenta una evidente asociación entre los puntos de muestreo en ríos así como entre los puntos de muestreo en la laguna, como se expone en el gráfico *boxplot* y clúster (Figura 16 y Figura 17).

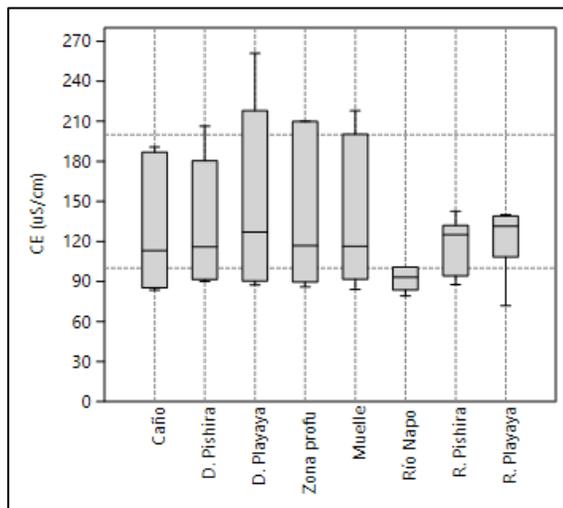


Figura 16. Gráfico *boxplot* de la CE en función de los puntos de muestreo

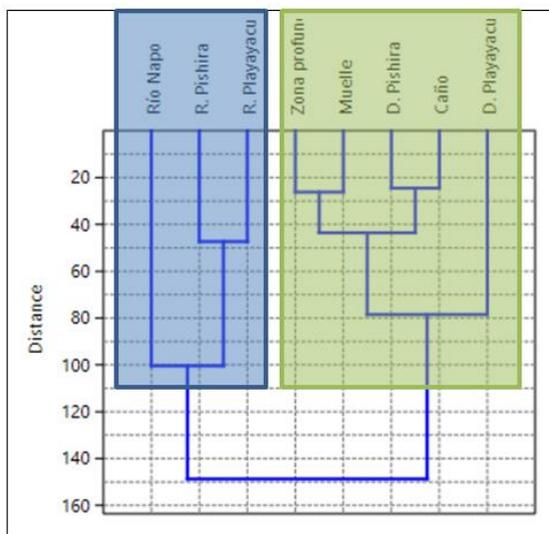


Figura 17. Gráfico clúster de la CE en función de los puntos de muestreo

Sin embargo, se presenta una variación de los valores de las medianas en función del tiempo con una evidente asociación estacional, como se expone en el gráfico *boxplot* y clúster (Figura 18 y Figura 19).

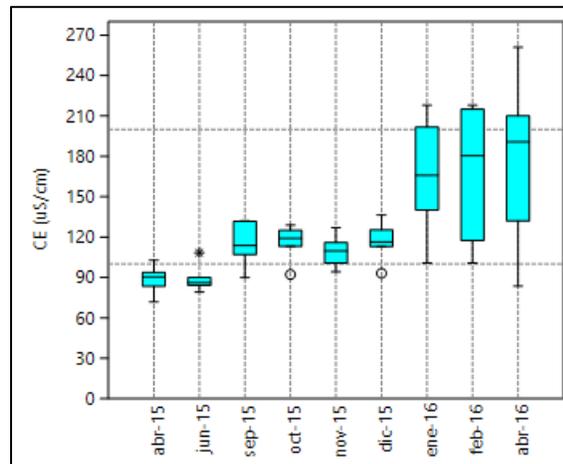


Figura 18. Gráfico *boxplot* de la CE en función del tiempo

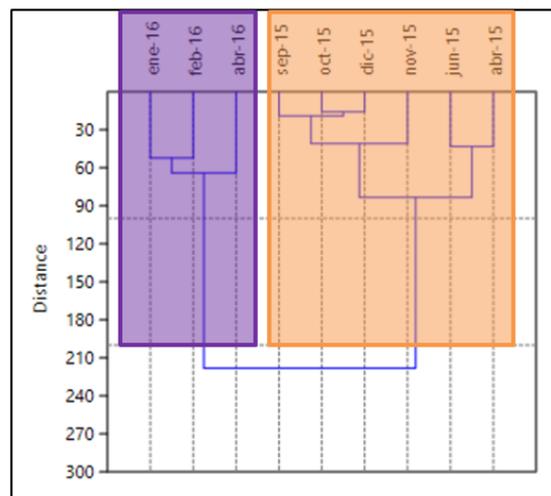


Figura 19. Gráfico clúster de la CE en función del tiempo

4.1.3. Potencial de hidrogeno (pH).

Los resultados de los potenciales de hidrógeno obtenidos se recogen en el Anexo 3.3.1. y se pueden evidenciar en la Figura 20. Ésta permite afirmar que los valores del potencial de hidrógeno, en los puntos de muestreo en ríos, son significativamente inferiores.

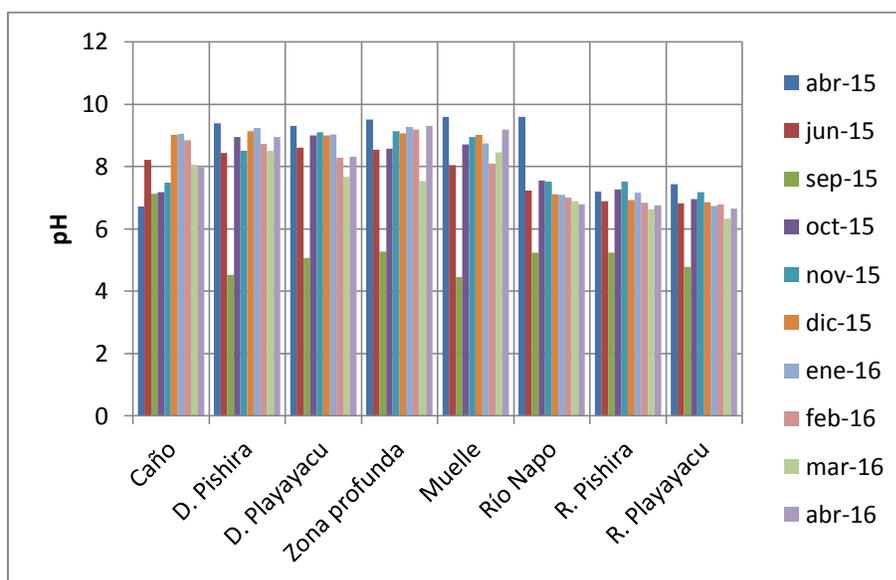


Figura 20. Evolución del pH en aguas

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.3.2., permiten afirmar que los valores de las medianas son semejantes y que no cambian en función del tiempo excepto en el mes de septiembre de 2015 donde se presentan valores disminuidos y atípicos (Figura 21).

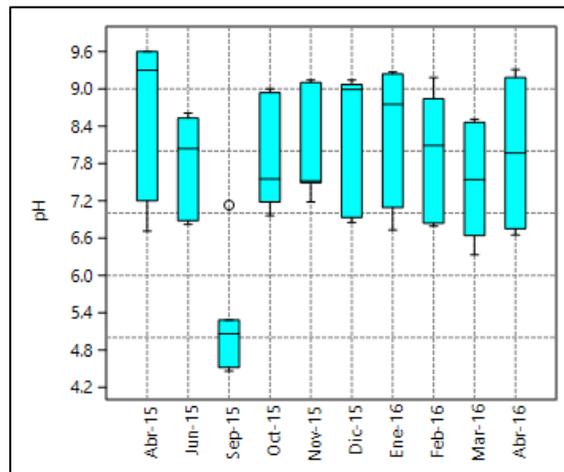


Figura 21. Gráfico *boxplot* del pH en función del tiempo

Sin embargo, se presenta una evidente asociación entre los puntos de muestreo en ríos así como entre los puntos de muestreo en la laguna, como se expone en el gráfico *boxplot* y clúster (Figura 22 y Figura 23).

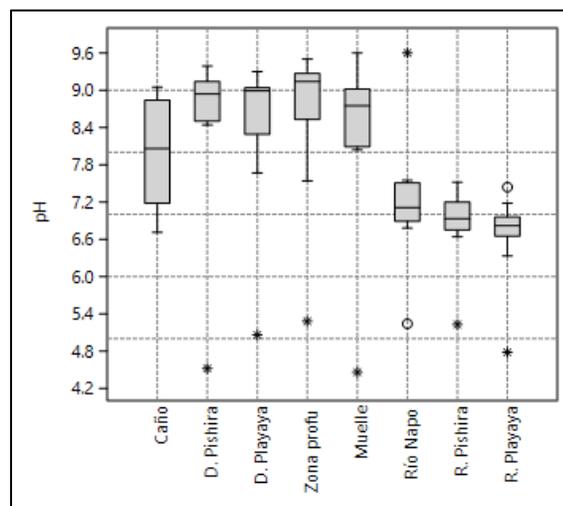


Figura 22. Gráfico *boxplot* del pH en función de los puntos de muestreo

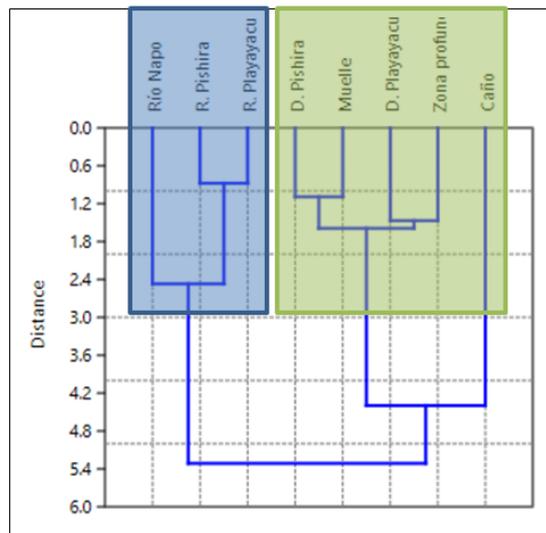


Figura 23. Gráfico clúster del pH en función de los puntos de muestreo

4.2. Metales pesados.

4.2.1. Mercurio (Hg).

4.2.1.1. Mercurio en Suelos.

Los resultados de las concentraciones de mercurio en suelo se recogen en el Anexo 3.4.1. y se pueden evidenciar en la Figura 24, donde se establece como valor de referencia el fondo geoquímico de mercurio en suelos con una concentración de 409.8 ng/kg. En la Figura 24 no se plantea como valor de referencia el límite permisible del A.M. 097-A debido a que éste presenta un valor de 0.1 mg/kg, que es muy superior a los valores obtenidos en los análisis de suelo.

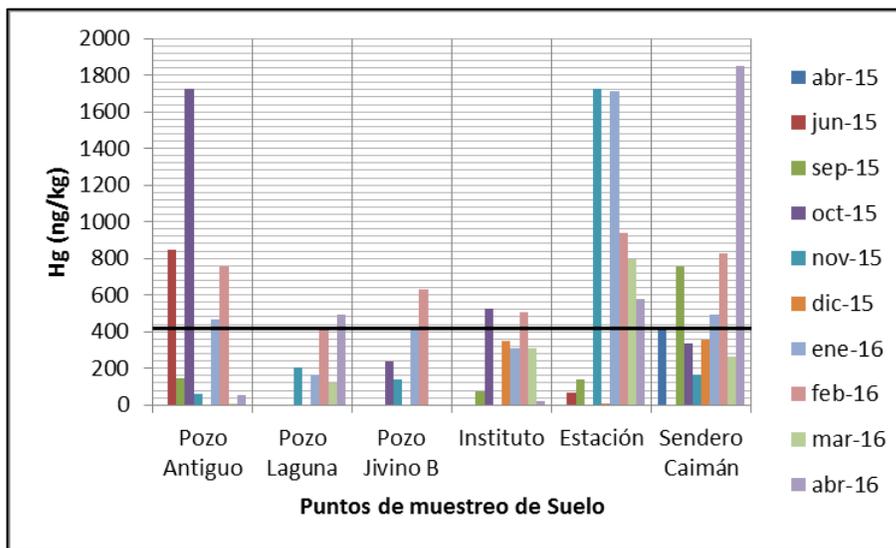


Figura 24. Evolución del Hg en suelos

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.4.2., permiten afirmar que los valores de las medianas son semejantes y que no cambian en función del tiempo excepto en el mes de octubre de 2015 donde se presentan valores elevados y atípicos (Figura 25).

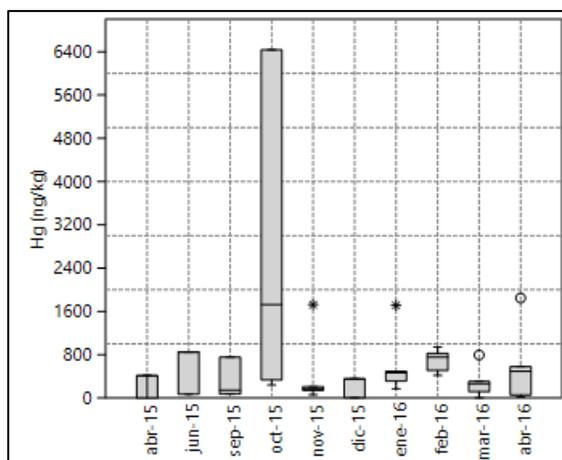


Figura 25. Gráfico *boxplot* del Hg en suelos en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos permiten evidenciar que se presentan valores similares entre las medianas de los distintos puntos de muestreo excepto en el punto de la Estación Científica de Limoncocha que presenta valores de concentraciones superiores (Figura 26).

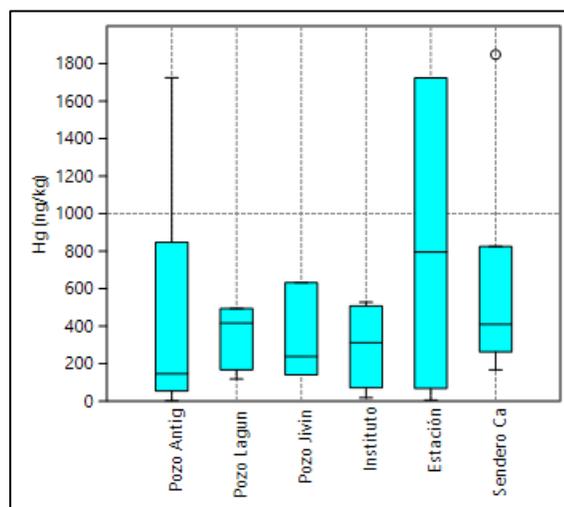


Figura 26. Gráfico *boxplot* del Hg en suelos en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05. Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de $1.40 \cdot 10^7$ entre grupos y $1.08 \cdot 10^7$ dentro del grupo, con 8 y 33 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 1.298 y un p-valor de 0.2787. Para los puntos de muestreo el resultado es similar con una media de cuadrados de $1.13 \cdot 10^7$ entre grupos y $1.11 \cdot 10^7$ dentro del grupo, con 5 y 37 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 1.017 y un p-valor de 0.4216. En ambos casos se rechaza la hipótesis de trabajo inicial de que no se

presenta una igualdad de medias entre las mediciones; por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas.

4.2.1.2. Mercurio en Sedimentos.

Los resultados de las concentraciones de mercurio en sedimento se recogen en el Anexo 3.4.1. y se pueden evidenciar en la Figura 27, donde se establece como valor de referencia el fondo geoquímico de mercurio en sedimentos con una concentración de 13.0 ng/kg, el cual es inferior a todos los valores obtenidos en los análisis de sedimentos.

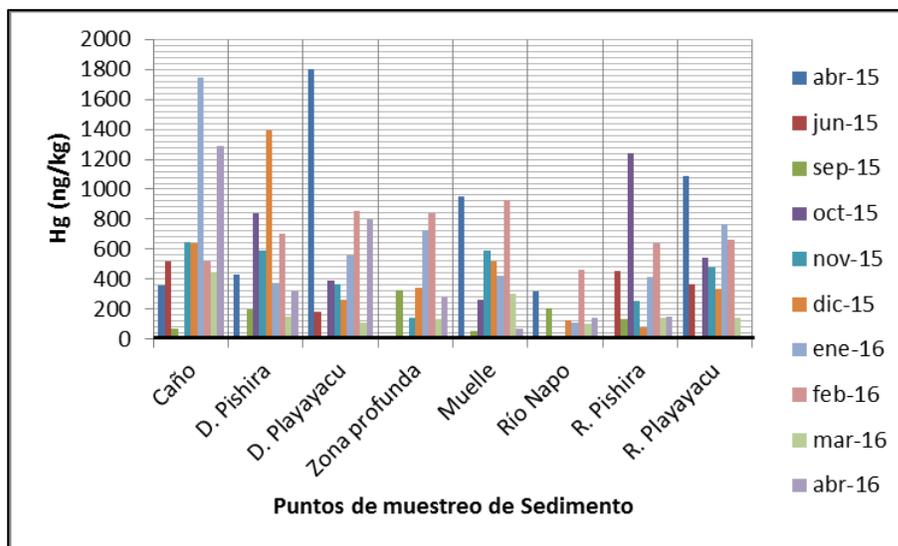


Figura 27. Evolución del Hg en sedimentos

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.4.3., permiten afirmar que los valores de las medianas son semejantes y que no cambian en función del tiempo a pesar de que estos presentan cierta variabilidad (Figura 28).

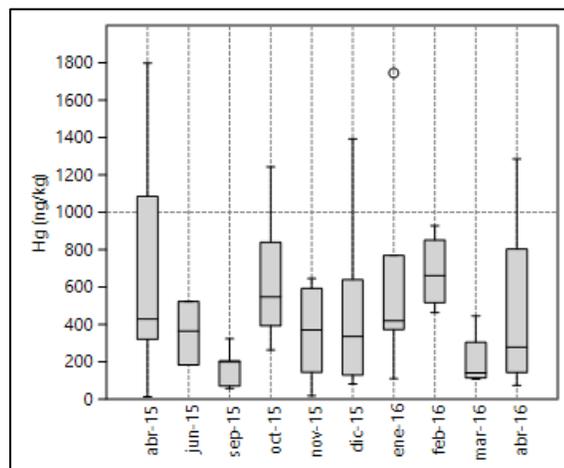


Figura 28. Gráfico *boxplot* del Hg en sedimentos en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos evidencian que se presentan valores similares entre las medianas de los distintos puntos de muestreo a pesar de que estas, al igual que en los distintos meses de muestreo, presentan una variabilidad pero poco significativa (Figura 29).

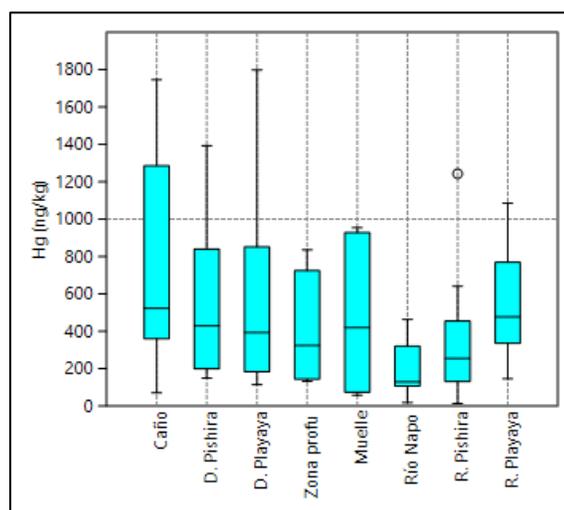


Figura 29. Gráfico *boxplot* del Hg en sedimentos en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05. Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de $4.17 \cdot 10^6$ entre grupos y $2.86 \cdot 10^6$ dentro del grupo, con 9 y 60 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 1.456 y un p-valor de 0.1852. Para los puntos de muestreo el resultado es similar con una media de cuadrados de $3.47 \cdot 10^6$ entre grupos y $2.98 \cdot 10^6$ dentro del grupo, con 7 y 62 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 1.164 y un p-valor de 0.3365. En ambos casos se rechaza la hipótesis de trabajo inicial de que no se presenta una igualdad de medias entre las mediciones; por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas.

4.2.1.3. Mercurio en Aguas.

Los resultados de las concentraciones de mercurio en agua se recogen en el Anexo 3.4.1. y se pueden evidenciar en la Figura 30. En la Figura 30 no se plantea como valor de referencia el límite permisible del A.M. 097-A debido a que éste presenta un valor de 0.0002 mg/L, que es muy superior a los valores obtenidos en los análisis de agua.

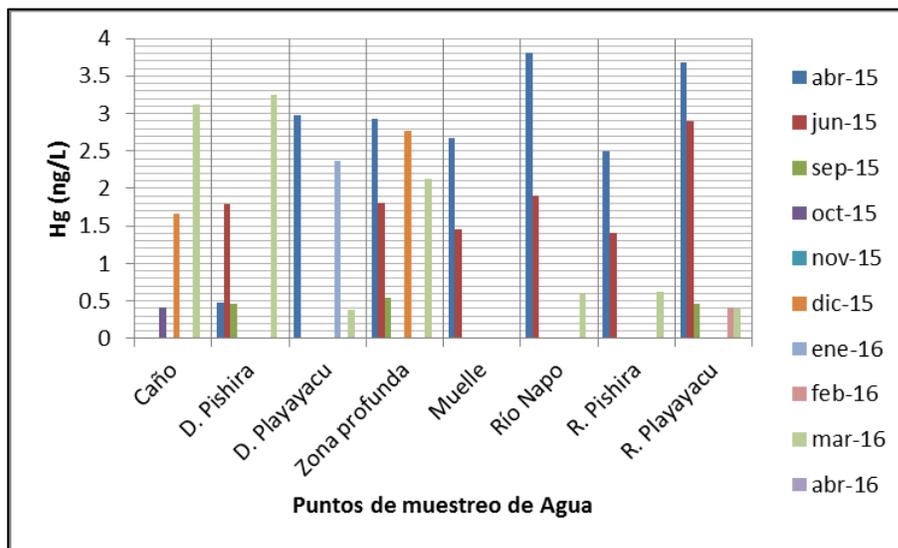


Figura 30. Evolución del Hg en aguas

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.4.4., permiten afirmar que los valores de las medianas son semejantes y que no cambian en función del tiempo a pesar de que estos presentan variabilidad pero poco significativa debido a las minúsculas concentraciones del metal (Figura 31).

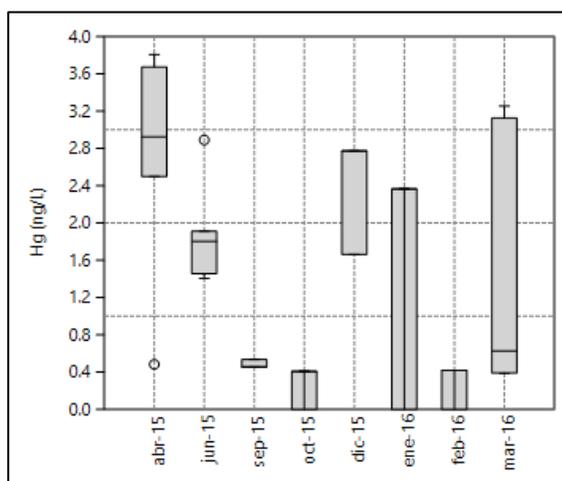


Figura 31. Gráfico *boxplot* del Hg en aguas en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos permiten evidenciar que se presentan valores similares entre las medianas de los distintos puntos de muestreo a pesar de que estas, al igual que en los distintos meses de muestreo, presentan variabilidad pero poco significativa (Figura 32).

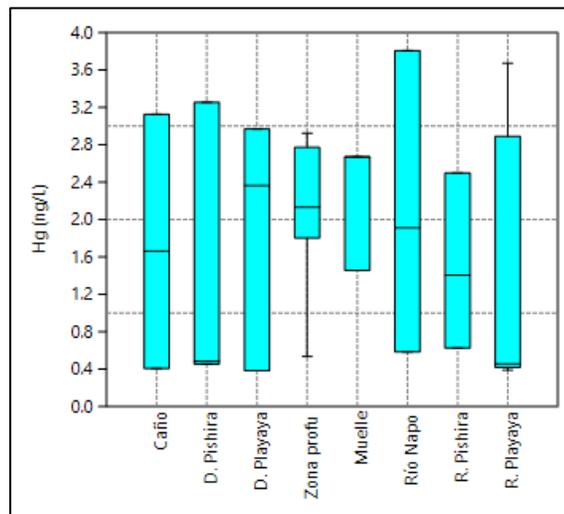


Figura 32. Gráfico *boxplot* del Hg en aguas en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05. Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de 1.64563 entre grupos y 0.876735 dentro del grupo, con 3 y 14 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 1.877 y un p-valor de 0.1799. Para los puntos de muestreo el resultado es similar con una media de cuadrados de 0.314794 entre grupos y 1.38252 dentro del grupo, con 6 y 14 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 0.228 y un p-valor de 0.9608. En ambos casos se rechaza la hipótesis de trabajo inicial de que no se

presenta una igualdad de medias entre las mediciones; por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas.

4.2.2. Aluminio (Al).

4.2.2.1. Aluminio en Suelos.

Los resultados de las concentraciones de aluminio en suelo se recogen en el Anexo 3.5.1. y se pueden evidenciar en la Figura 33, donde se establece como valor de referencia el fondo geoquímico de aluminio en suelos con una concentración de 11438.1 mg/kg.

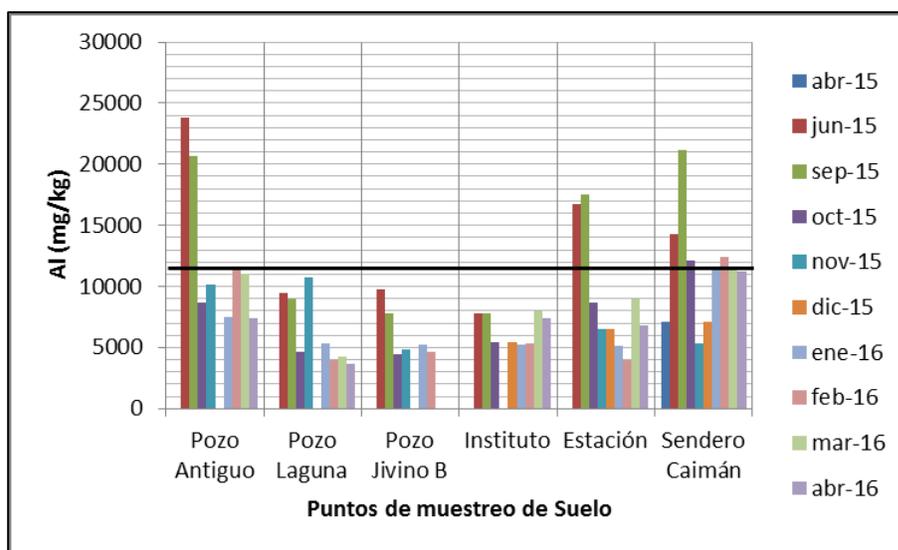


Figura 33. Evolución del Al en suelos

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.5.2., permiten afirmar que los valores de las medianas son variables y que cambian en función del tiempo (Figura 34). También podemos evidenciar que los valores de las medianas, en los meses de junio y septiembre de 2015, son elevados y atípicos.

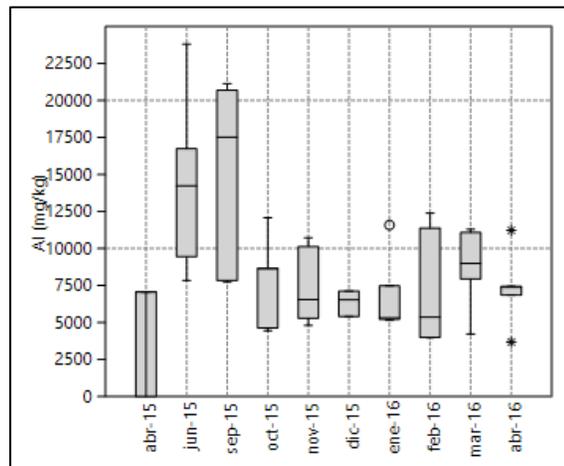


Figura 34. Gráfico *boxplot* del Al en suelos en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos permiten aseverar que se presenta una variabilidad significativa entre las medianas de los distintos puntos de muestreo (Figura 35).

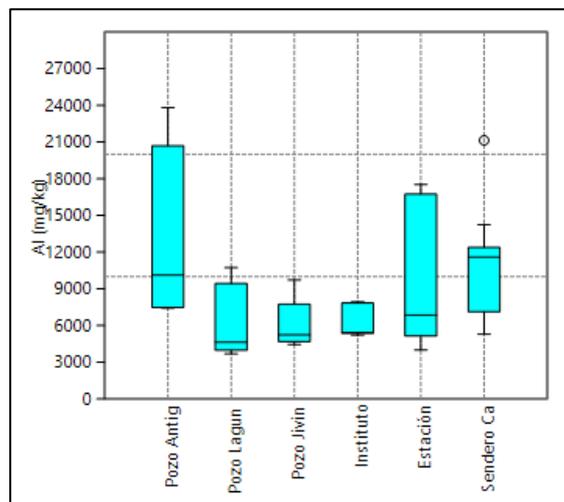


Figura 35. Gráfico *boxplot* del Al en suelos en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05.

Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de $4.98 \cdot 10^7$ entre grupos y $1.63 \cdot 10^7$ dentro del grupo, con 8 y 39 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 3.049 y un p-valor de 0.009214. Para los puntos de muestreo el resultado es similar con una media de cuadrados de $6.21 \cdot 10^7$ entre grupos y $1.70 \cdot 10^7$ dentro del grupo, con 5 y 43 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 3.659 y un p-valor de 0.007591. En ambos casos se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias entre las mediciones; por lo que no se puede rechazar la hipótesis de trabajo inicial de que hay diferencias significativas.

4.2.2.2. Aluminio en Sedimentos.

Los resultados de las concentraciones de aluminio en sedimento se recogen en el Anexo 3.5.1. y se pueden evidenciar en la Figura 36, donde se establece como valor de referencia el fondo geoquímico de aluminio en sedimentos con una concentración de 4598.7 mg/kg.

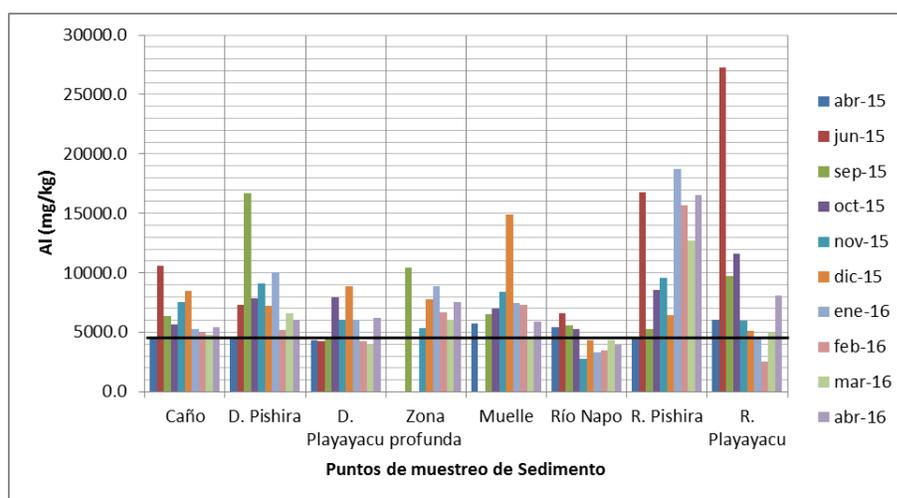


Figura 36. Evolución del Al en sedimentos

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.5.3., permiten afirmar que los valores de las medianas son semejantes y que no cambian en función del tiempo excepto en el mes de junio de 2015 donde se presentan valores elevados y atípicos (Figura 37).

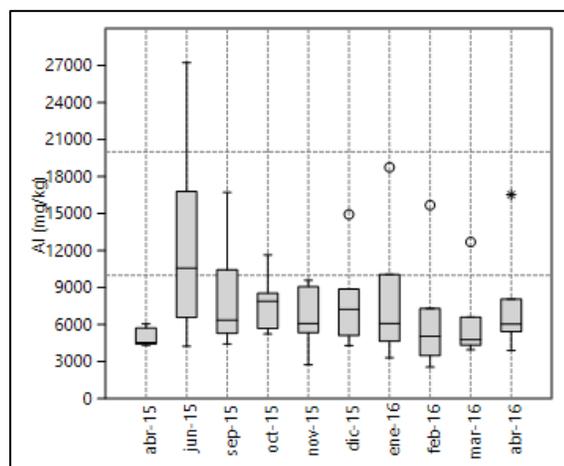


Figura 37. Gráfico *boxplot* del Al en sedimentos en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos evidencian que existe una leve variabilidad entre las medianas de los distintos puntos de muestreo con la presencia de varios valores atípicos, en especial en el punto Río Pishira, donde se presentan valores elevados (Figura 38).

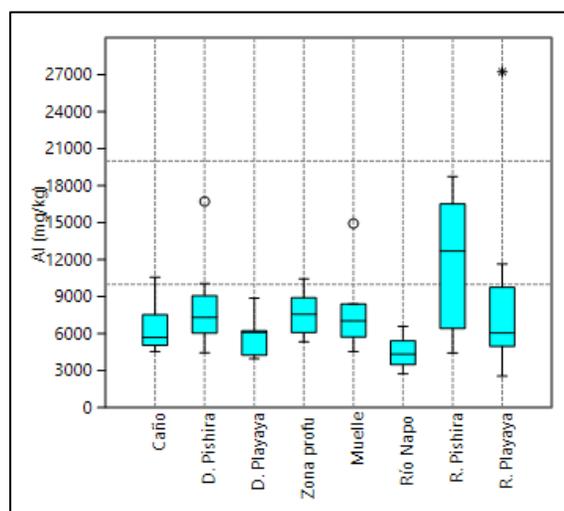


Figura 38. Gráfico *boxplot* del Al en sedimentos en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05. Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de $2.37 \cdot 10^7$ entre grupos y $1.62 \cdot 10^7$ dentro del grupo, con 9 y 66 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 1.46 y un p-valor de 0.1816. Para los puntos de muestreo el resultado difiere con una media de cuadrados de $4.44 \cdot 10^7$ entre grupos y $1.43 \cdot 10^7$ dentro del grupo, con 7 y 68 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 3.106 y un p-valor de 0.006659. En el primer caso, meses de muestreo, se rechaza la hipótesis de trabajo inicial; por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas. En el segundo caso, puntos de muestreo, se rechaza la hipótesis de trabajo nula; por lo que no se puede rechazar la hipótesis de trabajo inicial de que hay diferencias significativas.

4.2.3. Cobre (Cu).

4.2.3.1. Cobre en Suelos.

Los resultados de las concentraciones de cobre en suelo se recogen en el Anexo 3.6.1. y se pueden evidenciar en la Figura 39, donde se establece como valor de referencia el fondo geoquímico de cobre en suelos con una concentración de 71.5 mg/kg (color negro). En la Figura 39 también se plantea como valor de referencia el límite permisible del A.M. 097-A que presenta un valor de 25.0 mg/kg (color rojo).

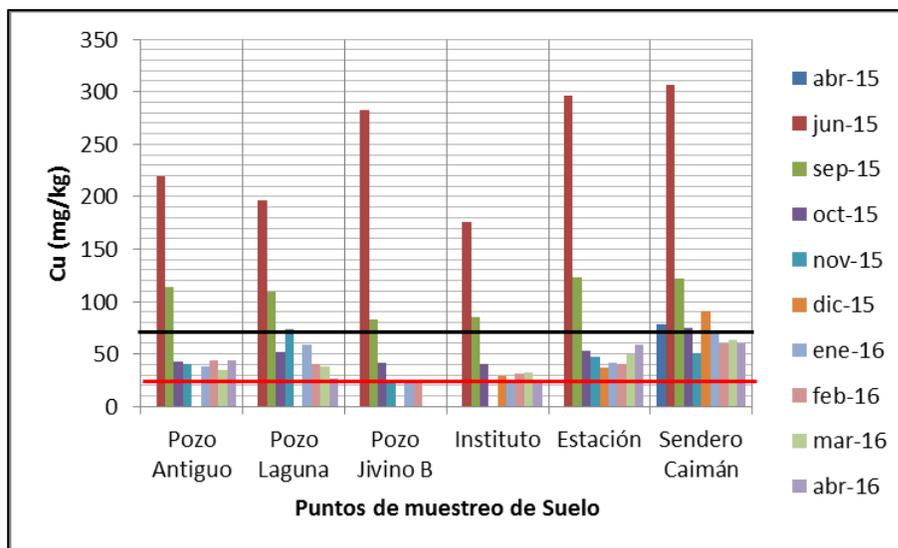


Figura 39. Evolución del Cu en suelos

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.6.2., permiten afirmar que los valores de las medianas son semejantes y que no cambian en función del tiempo excepto en los meses de junio y septiembre de 2015 donde se presentan valores elevados y atípicos (Figura 40).

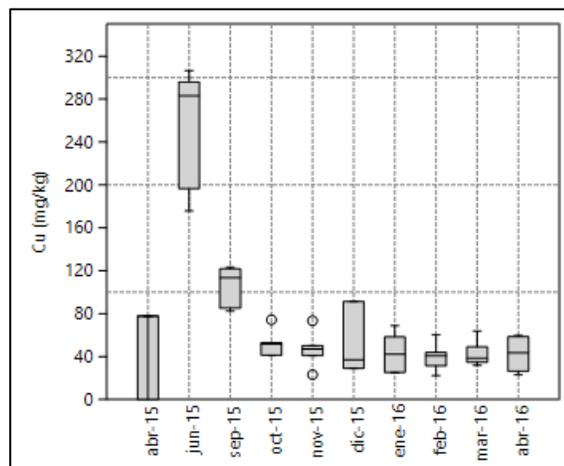


Figura 40. Gráfico *boxplot* del Cu en suelos en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos permiten evidenciar que se presentan valores similares entre las medianas de los distintos puntos de muestreo con la presencia de varios valores atípicos (Figura 41).

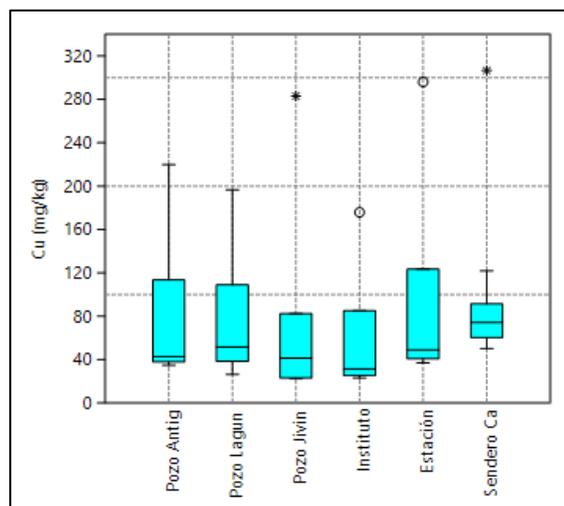


Figura 41. Gráfico *boxplot* del Cu en suelos en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias

significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05. Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de 26793.1 entre grupos y 663.614 dentro del grupo, con 8 y 39 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 40.37 y un p-valor de $1.62 \cdot 10^{-16}$. Para los puntos de muestreo el resultado difiere con una media de cuadrados de 1704.8 entre grupos y 5388.41 dentro del grupo, con 5 y 43 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 0.3164 y un p-valor de 0.9004. En el primer caso, meses de muestreo, se rechaza la hipótesis nula; por lo que no se puede rechazar la hipótesis de trabajo inicial de que hay diferencias significativas. En el segundo caso, puntos de muestreo, se rechaza la hipótesis de trabajo inicial; por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas.

4.2.3.2. Cobre en Sedimentos.

Los resultados de las concentraciones de cobre en sedimento se recogen en el Anexo 3.6.1. y se pueden evidenciar en la Figura 42, donde se establece como valor de referencia el fondo geoquímico de cobre en sedimentos que reporta una concentración de 58.7 mg/kg.

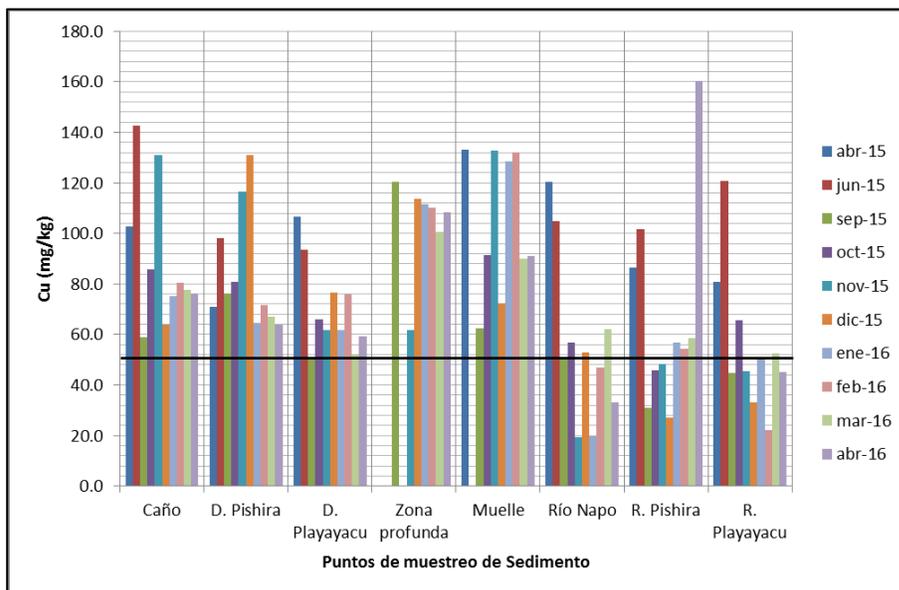


Figura 42. Evolución del Cu en sedimentos

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.6.3., permiten afirmar que los valores de las medianas son semejantes y que no cambian en función del tiempo excepto en los meses de abril y junio de 2015 donde se presentan valores elevados y atípicos (Figura 43).

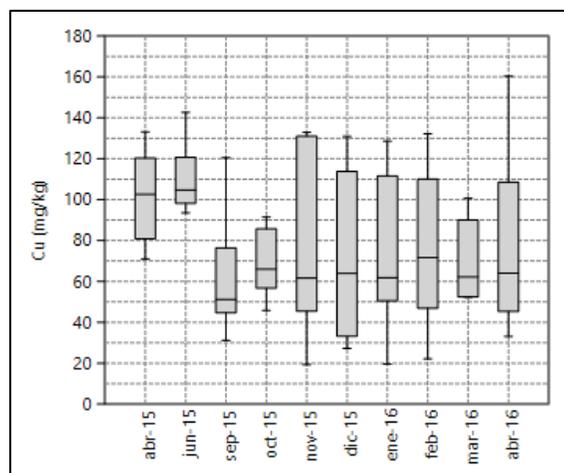


Figura 43. Gráfico *boxplot* del Cu en sedimentos en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos evidencian que se presenta una variabilidad significativa entre las medianas de los distintos puntos de muestreo con la presencia de varios valores atípicos (Figura 44). También permiten aseverar que las medianas de los puntos de muestreo en ríos son inferiores.

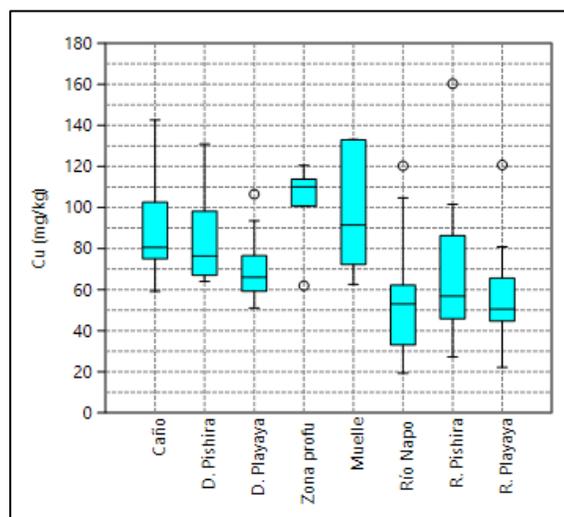


Figura 44. Gráfico *boxplot* del Cu en sedimentos en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05. Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de 1494 entre grupos y 976 dentro del grupo, con 9 y 66 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 1.531 y un p-valor de 0.1555. Para los puntos de muestreo el resultado difiere con una media de cuadrados de 3352.47 entre grupos y 800 dentro del grupo, con 7 y 68 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 4.191 y un p-valor de

0.0007. En el primer caso, meses de muestreo, se rechaza la hipótesis de trabajo inicial; por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas. En el segundo caso, puntos de muestreo, se rechaza la hipótesis nula; por lo que no se puede rechazar la hipótesis de trabajo inicial de que hay diferencias significativas.

4.2.3.3. Cobre en Aguas.

Los resultados de las concentraciones de cobre en agua se recogen en el Anexo 3.6.1. y se pueden evidenciar en la Figura 45, donde se plantea como valor de referencia el límite permisible del A.M. 097-A que presenta un valor de 0.005 mg/L o 5 µg/L.

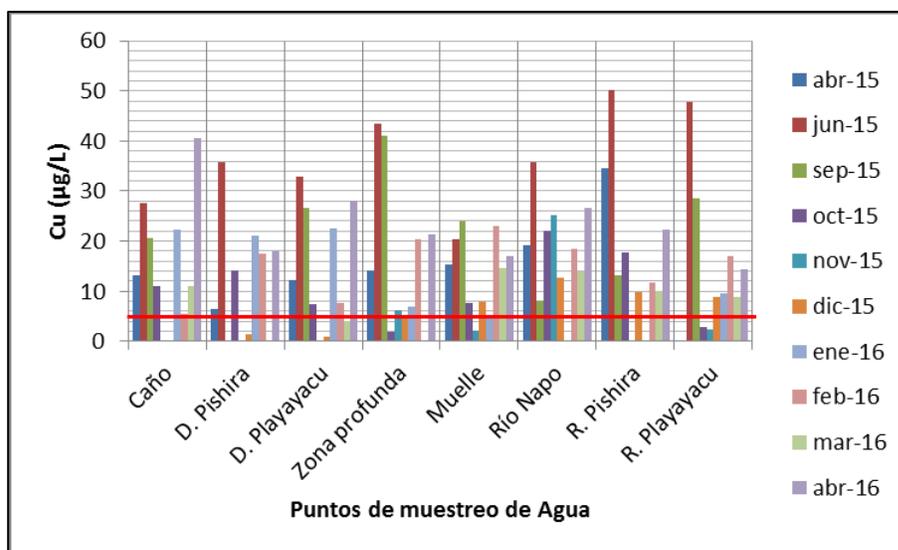


Figura 45. Evolución del Cu en aguas

Los estadísticos descriptivos, presentados en el Anexo 3.6.4., permiten afirmar que los valores de las medianas poseen variabilidad y que estos cambian en función del tiempo (Figura 46). También evidencian la presencia de valores elevados y atípicos en el mes de junio de 2015.

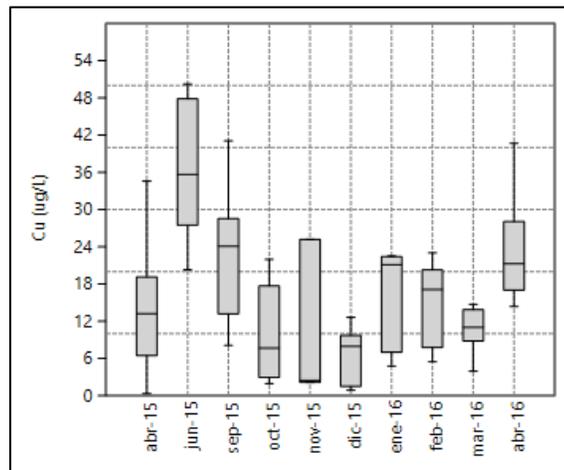


Figura 46. Gráfico *boxplot* del Cu en aguas en función del tiempo

De igual manera, los estadísticos descriptivos permiten aseverar que se presentan valores similares entre las medianas de los distintos puntos de muestreo, a pesar de que estos presentan cierta variabilidad (Figura 47).

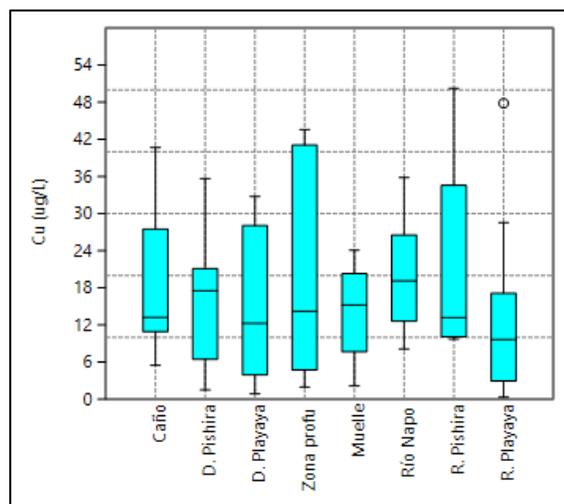


Figura 47. Gráfico *boxplot* del Cu en aguas en función de los puntos de muestreo

Por último se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) entre los distintos periodos y puntos de muestreo, este análisis parte de la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias a analizar, en este caso para un nivel de significancia de 0.05. Para el caso de los meses de muestreo, se obtienen una media de cuadrados de 0.000603608 entre grupos y $6.86 \cdot 10^{-5}$ dentro del grupo, con 9 y 60 grados de libertad respectivamente dando un valor del estadístico F de 8.805 y un p-valor de $2.67 \cdot 10^{-8}$. Para los puntos de muestreo el resultado difiere con una media de cuadrados de $6.86 \cdot 10^{-5}$ entre grupos y 0.000146 dentro del grupo, con 7 y 62 grados de libertad respectivamente, un valor del estadístico F de 0.4694 y un p-valor de 0.853. En el primer caso, meses de muestreo, se rechaza la hipótesis nula; por lo que se demuestra que la hipótesis de trabajo inicial es cierta. En el segundo caso, puntos de muestreo, se rechaza la hipótesis de trabajo inicial; por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

En el caso de los parámetros físico-químicos se determinó, a partir de los estadísticos descriptivos, que:

- Se evidencia una estrecha asociación entre los parámetros físico-químicos (pH, CE y temperatura) medidos en los ríos así como entre los medidos en la laguna.
- No se presentan correlaciones entre los parámetros físico-químicos (pH, CE y temperatura) y las concentraciones de metales pesados (Hg, Al y Cu) medidos en agua.

Se establecieron los valores de las concentraciones de los fondos geoquímicos por medio de métodos directos, aspecto histórico para sedimentos y aspecto contemporáneo para suelos. Estos valores se detallan a continuación:

- El fondo geoquímico de mercurio en los suelos y sedimentos en la RBL es de 409.8 ng/kg y 13.0 ng/kg, respectivamente.
- El fondo geoquímico de aluminio en los suelos y sedimentos en la RBL es de 11438.1 mg/kg y 4598.7 mg/kg, respectivamente.

- El fondo geoquímico de cobre en los suelos y sedimentos en la RBL es de 71.5 mg/kg y 58.7 mg/kg, respectivamente.

Al comparar los valores de las medianas de las concentraciones de los metales con los valores de las concentraciones de los fondos geoquímicos se determinó que:

- Los valores de las medianas de las concentraciones de mercurio en los puntos de muestreo de suelo no superan al valor del fondo geoquímico de la RBL excepto en los suelos de la Estación Científica de Limoncocha, por lo que se puede acotar que existe aporte del metal por actividad antropogénica en este sitio. Sin embargo, este valor no supera al establecido como límite permisible por la Normativa Legal Ecuatoriana.
- Los valores de las medianas de las concentraciones de mercurio en todos los puntos de muestreo de sedimento superan al valor del fondo geoquímico de la RBL, por lo que se puede acotar que existen aportes del metal por actividad antropogénica en este componente abiótico.
- Los valores de las medianas de las concentraciones de aluminio en los puntos de muestreo de suelo no superan al valor del fondo geoquímico de la RBL, por lo que se puede acotar que no existen aportes del metal por actividad antropogénica en este componente abiótico.
- Los valores de las medianas de las concentraciones de aluminio en los puntos de muestreo de sedimento superan al valor del fondo geoquímico de la RBL, por lo que se puede acotar que existen aportes del metal por actividad

antropogénica en este componente abiótico excepto en el punto Río Napo el cual no excede el valor del fondo geoquímico.

- Los valores de las medianas de las concentraciones de cobre en los puntos de muestreo de suelo no superan al valor del fondo geoquímico de la RBL, por lo que se puede acotar que no existen aportes del metal por actividad antropogénica en este componente abiótico.
- Los valores de las medianas de las concentraciones de cobre en los puntos de muestreo de sedimento superan al valor del fondo geoquímico de la RBL, por lo que se puede acotar que existen aportes del metal por actividad antropogénica en este componente abiótico excepto en los puntos Río Napo, Río Pishira y Río Playayacu ya que estos no exceden el valor del fondo geoquímico.

Al comparar los valores de las medianas de las concentraciones de los metales con la Normativa Legal Ecuatoriana se determinó que:

- Las concentraciones de mercurio en suelo no superan el valor de 0.1 mg/kg, límite permisible establecido en la Normativa Legal Ecuatoriana en la TABLA 1: Criterios de calidad del suelo por el A.M. 097-A.
- Las concentraciones de mercurio en agua no superan el valor de 0.0002 mg/L, límite permisible establecido en la Normativa Legal Ecuatoriana en la TABLA 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces por el A.M. 097-A.

- Las medianas de las concentraciones de cobre en suelo superan el valor de 25.0 mg/kg, límite permisible establecido en la Normativa Legal Ecuatoriana en la TABLA 1: Criterios de calidad del suelo por el A.M. 097-A. Sin embargo, estos valores no superan al valor del fondo geoquímico de la RBL.
- Las medianas de las concentraciones de cobre en agua superan el valor de 0.005 mg/L o 5 µg/L, límite permisible establecido en la Normativa Legal Ecuatoriana en la TABLA 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces por el A.M. 097-A.

Los análisis de varianza (ANOVA) permitieron determinar las fluctuaciones medibles en las concentraciones de los metales en los componentes abióticos de la RBL, las cuáles se detallan a continuación:

- No existe una fluctuación medible en las concentraciones de mercurio en suelo, sedimento y agua en la RBL que cambien en función del tiempo.
- Existe una fluctuación medible en las concentraciones de aluminio en suelo en la RBL que cambia en función del tiempo. Sin embargo, las concentraciones de aluminio en sedimento en la RBL no presentan esta variabilidad.
- Existe una fluctuación medible en las concentraciones de cobre en suelo y agua en la RBL que cambian en función del tiempo. Sin embargo, las concentraciones de cobre en sedimento en la RBL no presentan esta variabilidad.

5.2. Recomendaciones.

Se recomienda realizar los estudios que se detallan seguidamente:

- Estudios a largo plazo de monitoreo de niveles de metales pesados para poder comprender la dinámica de los mismos.
- Estudios del potencial redox (eH), como parámetro físico-químico, en el medio abiótico de la reserva. Esto es debido a que las reacciones de oxidación y reducción regulan el comportamiento de muchos compuestos químicos y es especial, de los metales pesados presentes en los cuerpos de agua naturales.
- Estudios para la determinación de metales pesados en el medio biótico de la reserva. Esto es debido a la capacidad que los metales poseen en ser bioacumulados y biomagnificados a través de la cadena trófica.
- Estudios que permitan determinar las fuentes de los aportes de metales pesados en los componentes bióticos y abióticos de la reserva.

Se recomienda medir los parámetros y variables que se encuentran especificados a continuación:

- Medir la precipitación mensual que se registra en la RBL y analizar su composición química con el fin de determinar posibles correlaciones con las concentraciones de los metales pesados evaluados en las muestras de agua, suelo y sedimento o sus posibles aportes de metales a las mismas.

- Medir los parámetros físico-químicos, de pH y conductividad eléctrica, de las muestras de suelo y sedimento con el fin de determinar posibles correlaciones con las concentraciones de los metales pesados evaluados en las muestras.

Se recomienda realizar las actividades que se encuentran enlistadas posteriormente como parte de la metodología del estudio para garantizar la fiabilidad de los resultados:

- Aumentar la cantidad de puntos de muestreo “blanco” para la caracterización química de las aguas, suelos y sedimentos en la RBL.
- Realizar muestreos de agua y sedimento en el Río Jivino para optimar la representatividad de las características químicas de la reserva así como para determinar posibles correlaciones entre la Laguna de Limoncocha y los ríos superficiales adyacentes.
- Continuar preservando las muestras de suelo y sedimento a una temperatura de 4°C, mientras que las muestras de agua preservarlas mediante la adición de 5 mL de ácido nítrico concentrado.
- Continuar empleando cadenas de custodia para el transporte, preservación, pre-tratamiento y análisis de las muestras con el fin de garantizar la integridad y trazabilidad de las muestras, sus procesos y resultados.
- Continuar aplicando metodologías que sean internacionalmente reconocidas y validadas para el muestreo, pre-tratamiento y análisis de las muestras con el objetivo de que estos procedimientos puedan ser replicables.
- Continuar realizando un pre-tratamiento de las muestras por digestión ácida para poder obtener las concentraciones totales de metales pesados.

- Continuar realizando muestras “blanco” para el análisis del contenido de los metales empleando las mismas metodologías y reactivos que se usaron en el pre-tratamiento de las muestras obtenidas en campo con el fin de minimizar errores de lectura por aportes indeseados de metales.
- Comparar los valores establecidos de fondo geoquímico de suelos y sedimentos con valores planteados en estudios previos llevados a cabo en la RBL o sus inmediaciones.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). Ministerio del Ambiente.
- Amador, J. (2010). Espectrometría óptica atómica. Universidad del Papaloapan, México.
- Armas, M. y Lasso, S. (2011). Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha. Ministerio del Ambiente.
- Barrenechea, A. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En L. Canepa, Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I. (pág. 278). Lima: CEPIS/OPS.
- Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Acción Ecológica.
- Canovas, J. (1986). Calidad Agronómica de las agua de riego. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008).
- Cordovéz, B. (1998). Caracterización y evaluación de los suelos y sedimentos del sector de la Laguna de Limoncocha. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- ECOLAP y MAE. (2007). Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador.
- Emoyan, O., Ogban, F. & Akarah, E. (2006). Evaluation of heavy metals loading of River Ijana in Ekpan – Warri, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 10 (2): 121 – 127.
- Feria, J., Marrugo, J. & González, H. (2010). Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* 55: 35-44.
- Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. (2002). Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico. Mayagüez, Puerto Rico.
- Furhan, I., Nadeem, R., Muhammad, A. & Muhammad, A. (2006). Contamination of Kallar Kahar Lake by inorganic elements and heavy metals and their temporal variations. *J. Appl. Sci. Environ. Manage* 10(2): 95 – 98.
- García, C., Moreno, J., Hernández, M. y Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*. Centro de Ciencias Medioambientales, España.
- Gerecke, R., Fisher, L. y Steinitz, M. (1996). *Centrolimnesia boopis* (Hydrachnellae: Limnesiidae), a New Planktonic Mite from Lake Limoncocha in the Amazonian Region of Ecuador. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 31:3-4, 193-204, DOI: 10.1076/snfe.31.3.193.13337.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Limoncocha. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.
- Hernández, C. y Martín, M. (2015). Determination of background levels and pollution assessment for seven metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn) in sediments of a Mediterranean coastal lagoon. Universitat Politècnica de València. Valencia, España.
- Irigoyen, G. (2001). Evaluación de la bioacumulación de bario, cromo, níquel y zinc en las macrófitas acuáticas “*Pistia Stratiotes*” y “*Eichhornia Crassipes*” de la Laguna de Limoncocha. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Ley de Gestión Ambiental. (2004). Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- López, F. (2013). Determinación de metales pesados en el medio biótico y abiótico en tres cuerpos de agua receptores de los efluentes del Complejo Industrial Shushufindi (CIS). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- MAGAP / SIGAGRO / GOBIERNO PROVINCIAL DE SUCUMBIOS. (2008). Plan de Ordenamiento Territorial. Memoria Técnica.
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., Castañeda, J. y González, A. (2008). Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la Laguna de Castellero, Venezuela. Rev. Cien. FCV-LUZ. 18 (2): 1 – 13.
- Márquez, M. (2009). Manual de prácticas del Espectrofotómetro de Absorción Atómica GBC 932 AA. Universidad Veracruzana, México.
- Marrugo, J. y Paternina, R. (2011). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del Bajo Sinú, departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba.
- Merchán, F. (2015). Elaboración de un Plan de Gestión de desechos sólidos en un yacimiento Minero de lastre a cielo abierto en la comunidad Ayaloma del Cantón Nabón. Universidad Estatal de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2011). Mapa de la Reserva Biológica Limoncocha. Quito, Ecuador.
- Narváez, I. (2000). Aguas de formación y derrames de petróleo: La dimensión política en la problemática socioambiental petrolera. (1ra. Ed.). Quito, Ecuador. Unidad de Protección Ambiental de Petroecuador.
- Neira, F., Souza, M. y Robles, K. (2013). Usos sostenibles de la biodiversidad en un área protegida de la Amazonía ecuatoriana (2006-2011). Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales.
- Ordoñez, C. (2013). Caracterización geoquímica de sedimentos de la Laguna Limoncocha. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Ortiz, J. (2012). Estado trófico de la Laguna de Limoncocha en base a los índices de Carlson y Lacat. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Pérez, J. (1981). Manuel de Tratamiento de Aguas. Universidad Nacional. Medellín, Colombia.
- Peris, M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Universitat de Valencia.

- Peters, E., Campoy, J. y Flessa, K. (eds.). (2009). Ciénega de Santa Clara - Comprehensive Monitoring Program. Publicación especial del Instituto Nacional de Ecología, México.
- Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. (2013). Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. (2010). Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- Scherer, U., Sagemann, S. & Stephan, F. (2011). Emission via erosion and retention of heavy metals in river basins of Germany. *Geophys. Res. Abstr.* 13: 4769.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2006). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Toral, Y. (1996). Estudio comparativo de esquemas de especiación en muestras sólidas de interés medioambiental. Universidad de Valladolid, España.
- Ulloa, R. (1984). Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha.
- Villalba, F. y Revelo, G. (2012). Morfometría e hidrología de la Laguna Limoncocha. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Webb, J., Mainville, N., Mergler, D., Lucotte, M., Betancourt, O., Davidson, R., Cueva, E. y Quizhpe, E. (2004). Mercury in fish-eating communities of the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador. *EcoHealth*.
- Yip, R. y Dalman, P. (1996). Zinc. Ziegler E. y Filer L. (Ed.). Present Knowledge in Nutrition. Washington, Estados Unidos: ILSI Press.

ANEXOS

Anexo I: Normativa legal aplicable

Anexo 1.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 3.- Son deberes primordiales del Estado:

7. Proteger el patrimonio natural y cultural del país.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

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

Art. 30.- Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica.

Art. 66.- Se reconoce y garantiza a las personas:

27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Art. 71.- La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

13. Conservar el patrimonio cultural y natural del país, y cuidar y mantener los bienes públicos.

Art. 261.- El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre:

7. Las áreas naturales protegidas y los recursos naturales.

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

8. Preservar, mantener y difundir el patrimonio arquitectónico, cultural y natural del cantón y construir espacios públicos para estos fines.

10. Delimitar, regular, autorizar y controlar el uso de las playas de mar, riberas y lechos de ríos, lagos y lagunas, sin perjuicio de las limitaciones que establezca la ley.

11. Preservar y garantizar el acceso efectivo de las personas al uso de las playas de mar, riberas de ríos, lagos y lagunas.

Art. 275.- El régimen de desarrollo es el conjunto organizado, sostenible y dinámico de los sistemas económicos, políticos, socio-culturales y ambientales, que garantizan la realización del buen vivir, del sumak kawsay.

El buen vivir requerirá que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades gocen efectivamente de sus derechos, y ejerzan responsabilidades en el marco de la interculturalidad, del respeto a sus diversidades, y de la convivencia armónica con la naturaleza.

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

3. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Art. 277.- Para la consecución del buen vivir, serán deberes generales del Estado:

1. Garantizar los derechos de las personas, las colectividades y la naturaleza.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley.

Art. 405.- El sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas.

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados, entre otros los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marino-costeros.

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los proteja y promuevan la soberanía alimentaria.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de sus planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

Anexo 1.2. Ley de Gestión Ambiental

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 6.- El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrán lugar excepción previo un estudio de factibilidad económico y de evaluación de impactos ambientales.

Art. 7.- La gestión ambiental se enmarca en las políticas generales de desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que establezca el Presidente de la República al aprobar el Plan Ambiental Ecuatoriano.

Art. 12.- Son obligaciones de las instituciones del Estado del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental en el ejercicio de sus atribuciones y en el ámbito de sus competencias, las siguientes:

- a) Aplicar los principios establecidos en esta Ley y ejecutar las acciones específicas del medio ambiente y de los recursos naturales;
- e) Regular y promover la conservación del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales en armonía con el interés social; mantener el patrimonio natural de la Nación, velar por la protección y restauración de la diversidad biológica, garantizar la integridad del patrimonio genético y la permanencia de los ecosistemas.

Art. 18.- El Plan Ambiental Ecuatoriano, será el instrumento técnico de gestión que promoverá la conservación, protección y manejo ambiental; y contendrá lo objetivos específicos, programas, acciones a desarrollar, contenidos mínimos y mecanismos de financiación así como los procedimientos de revisión y auditoría.

Anexo 1.3. Acuerdo Ministerial 097-A

Art. 1.- Expídase el Anexo 1, referente a la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes del Recurso Agua.

TABLA 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (adaptado del Acuerdo Ministerial 097-5, 2015)

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterios de calidad
			Agua dulce
Aluminio	Al	mg/L	0.1
Cobre	Cu	mg/L	0.005
Mercurio	Hg	mg/L	0.0002
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6.5 - 9

Art. 2.- Expídase el Anexo 2, referente a la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados.

TABLA 1: Criterios de calidad del suelo (adaptado del Acuerdo Ministerial 097-5, 2015)

Parámetro	Unidades	Valor
Parámetros inorgánicos		
Cobre	mg/kg	25
Mercurio	mg/kg	0.1

Anexo 1.4. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador

RAOH 1215

Art. 1.- Ámbito.- El presente Reglamento Ambiental y sus Normas Técnicas Ambientales incorporadas se aplicarán a todas las operaciones hidrocarburíferas y afines que se llevan a efecto en el país.

El presente Reglamento tiene por objeto regular las actividades hidrocarburíferas de exploración, desarrollo y producción, almacenamiento, transporte, industrialización y comercialización de petróleo crudo, derivados del petróleo, gas natural y afines, susceptibles de producir impactos ambientales en el área de influencia directa, definida en cada caso por el Estudio Ambiental respectivo.

Art. 29.- Manejo y tratamiento de descargas líquidas.- Toda instalación, incluyendo centros de distribución, sean nuevos o remodelados, deberán contar con un sistema conveniente segregado de drenaje, de forma que se realice un tratamiento específico por separado de aguas lluvias y escorrentías, aguas grises y negras y efluentes residuales para garantizar su adecuada disposición.

- a) **Desechos líquidos industriales, aguas de producción, descargas líquidas y aguas de formación.-** Toda estación de producción y demás instalaciones industriales dispondrán de un sistema de tratamiento de fluidos resultantes de los procesos.

No se descargará el agua de formación a cuerpos de agua mientras no cumpla con los límites permisibles constantes en la Tabla No. 4 del Anexo 2 de este Reglamento;

- b) **Disposición.-** Todo efluente líquido, proveniente de las diferentes fases de operación, que deba ser descargado al entorno, deberá cumplir antes de la descarga con los límites permisibles establecidos en la Tabla No. 4 del Anexo 2 de este Reglamento.

Art. 86.- Parámetros.- Los sujetos de control y sus operadoras y afines en la ejecución de sus operaciones, para descargas líquidas, emisiones a la atmósfera y disposición de desechos sólidos en el ambiente, cumplirán con los límites permisibles que constan en los Anexos No. 1, 2 y 3 de este Reglamento.

- b) Anexo 2: Parámetros, valores máximos referenciales y límites permisibles para el monitoreo ambiental interno rutinario y control ambiental.

b.2) Tabla No. 4: Límites permisibles para el monitoreo ambiental permanente de aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados.

4.b) límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor (inmisión).

Art. 87.- Parámetros adicionales.- Para todos los demás parámetros que no se establecen en este Reglamento para el monitoreo ambiental permanente, se aplicarán los parámetros y límites permisibles que constan en las Tablas No. 9 y 10 del Anexo 3 de este Reglamento.

Tabla 4: Límites permisibles para el monitoreo ambiental permanente de aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados, inclusive el lavado y mantenimiento de tanques y vehículos.

4.b) límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor, inmisión (adaptado del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, 2010).

b) INMISIÓN (punto de control en el cuerpo receptor)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible	Promedio anual	Aplicación
Temperatura		°C	+3°C		General
Potencial de hidrógeno	pH		6.0<pH<8.0	6.0<pH<8.0	General
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	<170	<120	Continental

Tabla 10: Parámetros adicionales y límites permisibles para aguas de descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados (adaptado del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, 2010).

Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Mercurio	Hg	mg/L	<0.01

Anexo II: Formato de Cadena de Custodia

INFORMACIÓN DE CUSTODIA Y PETICIÓN DE ANÁLISIS						
DATOS DEL PROYECTO		INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS				
Evaluación de la concentración de mercurio, aluminio, cobre, hierro y zinc en aguas, suelos y sedimento de la Reserva Biológica Limoncocha para establecer la Línea Base, 2015-2016.	Coordenadas X, Y, Z					
	Parámetros in situ					
	Fecha					
	Hora					
Localización del proyecto		Código muestra			RESPONSABLE DE PRECINTADO	
Provincia: Sucumbios Cantón: Shushufindi Parroquia: Limoncocha						Nombre:
						Firma:
TIPO DE MUESTRA					Fecha:	
AGUA					Hora:	
SUELO					COMENTARIOS	
SEDIMENTO						
ANÁLISIS SOLICITADOS						
Mercurio						
Aluminio						
Cobre						
Hierro						
Zinc						
No. de envases					Conservación: 5 mL de ácido nítrico concentrado y refrigeración a 4°C	
Capacidad del envase						
Volumen de la muestra						
Enviado por:	Hora:	Fecha:	Recibido por:	Hora:	Fecha:	

Anexo III: Resultados obtenidos

Anexo 3.1. Temperatura

Anexo 3.1.1. Tabla de resultados de temperatura

Temperatura (°C)										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Caño	28.6	27.5	28.9	29.4	29.7	29.8	31.4	28.9	27.6	29.4
D. Pishira	30.1	27.7	28.5	30	30	29.1	31.8	27.7	27.6	30.1
D. Playayacu	30.1	27.9	28.9	29.6	31.9	29.4	31.2	27.6	28.05	30
Zona profunda	31.3	27.7	29.4	28.3	31.6	29.6	31.8	28.6	29.1	31.5
Muelle	30.8	26.5	28.3	30.3	32.3	31.8	31.9	28.8	30.8	32.1
Río Napo	29.4	20.2	25.5	24.8	26.9	25.2	29.5	23.2	24.4	25.4
R. Pishira	25.1	25.1	26.7	25.4	26.7	24.9	26.3	24.6	25	17.3
R. Playayacu	23.3	24.6	24.4	27	27.1	25.5	28	27	25.7	23.5

Anexo 3.1.2. Tablas de estadísticos descriptivos de temperatura

Temperatura – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mínimo (°C)	23.3	20.2	24.4	24.8	26.7	24.9	26.3	23.2	24.4	17.3
Máximo (°C)	31.3	27.9	29.4	30.3	32.3	31.8	31.9	28.9	30.8	32.1
Media (°C)	28.6	25.9	27.6	28.1	29.5	28.2	30.2	27.1	27.3	27.4
Desviación estándar (°C)	2.9	2.6	1.8	2.1	2.4	2.6	2.1	2.1	2.2	5.1
Mediana (°C)	29.8	27.0	28.4	28.9	29.9	29.3	31.3	27.7	27.6	29.7
Coefficiente de variación (%)	10.0	10.1	6.6	7.6	8.0	9.2	7.0	7.7	7.9	18.4

Temperatura – Puntos de muestreo									
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu	
Número de muestras	10	10	10	10	10	10	10	10	
Mínimo (°C)	27.5	27.6	27.6	27.7	26.5	20.2	17.3	23.3	
Máximo (°C)	31.4	31.8	31.9	31.8	32.3	29.5	26.7	28.0	
Media (°C)	29.1	29.3	29.5	29.9	30.4	25.5	24.7	25.6	
Desviación estándar (°C)	1.1	1.4	1.4	1.5	1.9	2.8	2.7	1.6	
Mediana (°C)	29.2	29.6	29.5	29.5	30.8	25.3	25.1	25.6	
Coefficiente de variación (%)	3.9	4.7	4.8	5.1	6.3	10.8	11.0	6.4	

Anexo 3.2. Conductividad Eléctrica (CE)

Anexo 3.2.1. Tabla de resultados de conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica (μS/cm)										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Caño	83.5	85.2	113.7	113.1	104.9	112.9	165.9	186.9		190.7
D. Pishira	91.5	90	125.4	115.3	111.5	116	171.9	180.5		206.3
D. Playayacu	90.4	87.4	126.9	128.9	126.9	119	218	215		261
Zona profunda	89.6	86	113.7	120.4	112.8	116.9	201.7	209.9		210
Muelle	91.7	84	107	119.1	109.7	116.4	180.2	218		200.3
Río Napo	93.8	79.2	89.9	92.2	100.8	93.1	100.7	100.7		83.6
R. Pishira	102.9	87.7	131.8	125.1	94.2	125.4	142.6	117.5		132
R. Playayacu	71.8	108.4	132.1	124.9	116	136.4	140.1	131.4		139

Anexo 3.2.2. Tablas de estadísticos descriptivos de conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	abr-16	
Número de muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Mínimo (μS/cm)	71.8	79.2	89.9	92.2	94.2	93.1	100.7	100.7	83.6	
Máximo (μS/cm)	102.9	108.4	132.1	128.9	126.9	136.4	218.0	218.0	261.0	
Media (μS/cm)	89.4	88.5	117.6	117.4	109.6	117.0	165.1	170.0	177.9	
Desviación estándar (μS/cm)	8.9	8.7	14.5	11.5	9.9	12.2	37.2	46.9	56.0	
Mediana (μS/cm)	91.0	86.7	119.6	119.8	110.6	116.7	168.9	183.7	195.5	
Coefficiente de variación (%)	10.0	9.8	12.3	9.8	9.1	10.4	22.5	27.6	31.5	

Conductividad Eléctrica – Puntos de muestreo									
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu	
Número de muestras	9	9	9	9	9	9	9	9	
Mínimo (μS/cm)	83.5	90.0	87.4	86.0	84.0	79.2	87.7	71.8	
Máximo (μS/cm)	190.7	206.3	261.0	210.0	218.0	100.8	142.6	140.1	
Media (μS/cm)	128.5	134.3	152.6	140.1	136.3	92.7	117.7	122.2	
Desviación estándar (μS/cm)	41.6	41.6	62.3	51.7	49.6	7.7	18.7	21.7	
Mediana (μS/cm)	113.1	116.0	126.9	116.9	116.4	93.1	125.1	131.4	
Coefficiente de variación (%)	32.4	31.0	40.8	36.9	36.4	8.3	15.9	17.7	

Anexo 3.3. Potencial de Hidrógeno (pH)

Anexo 3.3.1. Tabla de resultados del potencial de hidrógeno

Potencial de Hidrógeno (pH)										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Caño	6.71	8.22	7.13	7.18	7.49	9.02	9.05	8.84	8.06	7.97
D. Pishira	9.39	8.44	4.52	8.94	8.5	9.14	9.24	8.73	8.51	8.94
D. Playayacu	9.3	8.61	5.06	9	9.1	8.99	9.04	8.29	7.67	8.31
Zona profunda	9.5	8.53	5.28	8.57	9.14	9.07	9.27	9.18	7.54	9.31
Muelle	9.6	8.04	4.46	8.7	8.94	9.02	8.75	8.09	8.46	9.18
Río Napo	9.6	7.23	5.24	7.55	7.51	7.11	7.09	7.01	6.89	6.78
R. Pishira	7.2	6.88	5.23	7.26	7.52	6.93	7.16	6.84	6.64	6.75
R. Playayacu	7.44	6.82	4.78	6.96	7.18	6.85	6.73	6.79	6.33	6.65

Anexo 3.3.2. Tablas de estadísticos descriptivos del potencial de hidrógeno

Potencial de Hidrógeno (pH) – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mínimo	6.71	6.82	4.46	6.96	7.18	6.85	6.73	6.79	6.33	6.65
Máximo	9.60	8.61	7.13	9.00	9.14	9.14	9.27	9.18	8.51	9.31
Media	8.59	7.85	5.21	8.02	8.17	8.27	8.29	7.97	7.51	7.99
Desviación estándar	1.24	0.75	0.84	0.86	0.83	1.08	1.09	0.96	0.83	1.13
Mediana	9.35	8.13	5.15	8.06	8.01	9.01	8.90	8.19	7.61	8.14
Coefficiente de variación (%)	14.46	9.57	16.11	10.75	10.14	13.09	13.18	12.09	10.98	14.17

Potencial de Hidrógeno (pH) – Puntos de muestreo									
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu	
Número de muestras	10	10	10	10	10	10	10	10	
Mínimo	6.71	4.52	5.06	5.28	4.46	5.24	5.23	4.78	
Máximo	9.05	9.39	9.30	9.50	9.60	9.60	7.52	7.44	
Media	7.97	8.44	8.34	8.54	8.32	7.20	6.84	6.65	
Desviación estándar	0.83	1.41	1.25	1.28	1.44	1.06	0.63	0.72	
Mediana	8.02	8.84	8.80	9.11	8.73	7.10	6.91	6.81	
Coefficiente de variación (%)	10.45	16.76	15.03	14.98	17.29	14.75	9.14	10.86	

Anexo 3.4. Mercurio

Anexo 3.4.1. Tabla de concentraciones de mercurio en suelo, sedimento y agua

		Concentración de Mercurio (Hg)									
		abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Suelo (ng/kg)	Pozo Antiguo		847.7	146.5	1725.5	61.9		463.6	754.2	2.2	54.6
	Pozo Laguna		N.D.	N.D.	21502.4	207.1		167.9	417.0	118.5	494.3
	Pozo Jívino B		N.D.	N.D.	239.2	140.7		423.1	632.1		
	Instituto		N.D.	71.5	528.0		349.1	312.5	508.0	306.6	18.1
	Estación		68.2	142.1	6435.6	1723.9	5.7	1709.8	941.5	794.8	579.2
	Sendero Caimán	409.8	N.D.	752.3	334.7	167.6	353.9	494.3	824.8	263.5	1848.5
Sedimento (ng/kg)	Caño	360.4	522.9	70.2	14688.3	646.1	639.4	1746.0	516.6	445.5	1285.7
	D. Pishira	429.5	N.D.	199.4	839.6	593.0	1393.5	373.0	705.3	149.5	320.1
	D. Playayacu	1798.8	183.9	N.D.	393.0	370.4	263.8	562.9	852.0	114.0	803.5
	Zona profunda			324.0		143.9	343.3	724.6	835.9	132.6	277.7
	Muelle	954.5		58.1	263.7	589.6	519.0	420.1	928.4	304.6	73.7
	Río Napo	320.3	N.D.	204.6	N.D.	19.1	129.4	109.6	463.7	106.4	142.6
	R. Pishira	13.6	454.8	131.4	1243.1	255.0	81.4	417.7	641.4	141.4	148.1
	R. Playayacu	1085.1	364.8	N.D.	547.4	476.8	335.9	769.2	661.4	146.0	N.D.
Agua (ng/L)	Caño	N.D.	N.D.	N.D.	0.407	N.D.	1.662	N.D.	N.D.	3.126	N.D.
	D. Pishira	0.483	1.797	0.455	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.255	N.D.
	D. Playayacu	2.970	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.364	N.D.	0.384	N.D.
	Zona profunda	2.924	1.804	0.536	N.D.	N.D.	2.773	N.D.	N.D.	2.134	N.D.
	Muelle	2.671	1.457	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Río Napo	3.808	1.911	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.585	N.D.
	R. Pishira	2.498	1.405	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.626	N.D.
	R. Playayacu	3.674	2.891	0.457	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.418	0.391	N.D.

Anexo 3.4.2. Tablas de estadísticos descriptivos de mercurio en suelo

Mercurio (Hg) – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	1	2	4	6	5	3	6	6	5	5
Mínimo (ng/kg)	409.8	68.2	71.5	239.2	61.9	5.7	167.9	417.0	2.2	18.1
Máximo (ng/kg)	409.8	847.7	752.3	21502.4	1723.9	353.9	1709.8	941.5	794.8	1848.5
Media (ng/kg)	409.8	458.0	278.1	5127.6	460.2	236.2	595.2	679.6	297.1	598.9
Varianza (ng/kg)	0.0	303810.1	101121.3	69888780.0	501833.8	39865.0	312391.1	39180.3	91947.1	551605.1
Desviación estándar (ng/kg)	0.0	551.2	318.0	8360.0	708.4	199.7	558.9	197.9	303.2	742.7
Mediana (ng/kg)	409.8	458.0	144.3	1126.8	167.6	349.1	443.4	693.2	263.5	494.3
Coefficiente variación (%)	0.0	120.4	114.3	163.0	153.9	84.5	93.9	29.1	102.1	124.0

Mercurio (Hg) – Puntos de muestreo						
	Pozo Antiguo	Pozo Laguna	Pozo Jivino B	Instituto	Estación	Sendero Caimán
Número de muestras	8	6	4	7	9	9
Mínimo (ng/kg)	2.2	118.5	140.7	18.1	5.7	167.6
Máximo (ng/kg)	1725.5	21502.4	632.1	528	6435.6	1848.5
Media (ng/kg)	507.0	3817.9	358.8	299.1	1377.9	605.5
Varianza (ng/kg)	350196.2	75079980.0	46899.7	38255.5	4013003.0	263838.9
Desviación estándar (ng/kg)	591.8	8664.9	216.6	195.6	2003.2	513.7
Mediana (ng/kg)	305.1	312.1	331.2	312.5	794.8	409.8
Coefficiente variación (%)	116.7	227.0	60.4	65.4	145.4	84.8

Anexo 3.4.3. Tablas de estadísticos descriptivos de mercurio en sedimento

Mercurio (Hg) – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	7	4	6	6	8	8	8	8	8	7
Mínimo (ng/kg)	13.6	183.9	58.1	263.7	19.1	81.4	109.6	463.7	106.4	73.7
Máximo (ng/kg)	1798.8	522.9	324.0	14688.3	646.1	1393.5	1746.0	928.4	445.5	1285.7
Media (ng/kg)	708.9	381.6	164.6	2995.9	386.7	463.2	640.4	700.6	192.5	435.9
Varianza (ng/kg)	370616.1	21563.8	9915.1	32933860.0	52975.2	175307.6	243345.1	26880.3	14337.3	199294.9
Desviación estándar (ng/kg)	608.8	146.8	99.6	5738.8	230.2	418.7	493.3	164.0	119.7	446.4
Mediana (ng/kg)	429.5	409.8	165.4	693.5	423.6	339.6	491.5	683.4	143.7	277.7
Coficiente variación (%)	85.9	38.5	60.5	191.6	59.5	90.4	77.0	23.4	62.2	102.4

Mercurio (Hg) – Puntos de muestreo								
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu
Número de muestras	10	9	9	7	9	8	10	8
Mínimo (ng/kg)	70.2	149.5	114.0	132.6	58.1	19.1	13.6	146.0
Máximo (ng/kg)	14688.3	1393.5	1798.8	835.9	954.5	463.7	1243.1	1085.1
Media (ng/kg)	2092.1	555.9	593.6	397.4	456.9	187.0	352.8	548.3
Varianza (ng/kg)	19819810.0	150380.1	270121.9	76061.0	107392.9	20086.9	136047.7	85069.6
Desviación estándar (ng/kg)	4451.9	387.8	519.7	275.8	327.7	141.7	368.8	291.7
Mediana (ng/kg)	581.2	429.5	393.0	324.0	420.1	136.0	201.6	512.1
Coficiente variación (%)	212.8	69.8	87.6	69.4	71.7	75.8	104.6	53.2

Anexo 3.4.4. Tablas de estadísticos descriptivos de mercurio en agua

Mercurio (Hg) – Meses de muestreo								
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16
Número de muestras	7	6	3	1	2	1	1	7
Mínimo (ng/L)	0.483	1.405	0.455	0.407	1.662	2.364	0.418	0.384
Máximo (ng/L)	3.808	2.891	0.536	0.407	2.773	2.364	0.418	3.255
Media (ng/L)	2.718	1.878	0.483	0.407	2.218	2.364	0.418	1.500
Varianza (ng/L)	1.209	0.288	0.002	0.000	0.617	0.000	0.000	1.700
Desviación estándar (ng/L)	1.100	0.537	0.046	0.000	0.786	0.000	0.000	1.304
Mediana (ng/L)	2.924	1.801	0.457	0.407	2.218	2.364	0.418	0.626
Coefficiente variación (%)	40.449	28.586	9.572	0.000	35.427	0.000	0.000	86.924

Mercurio (Hg) – Puntos de muestreo								
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu
Número de muestras	3	4	3	5	2	3	3	5
Mínimo (ng/L)	0.407	0.455	0.384	0.536	1.457	0.585	0.626	0.391
Máximo (ng/L)	3.126	3.255	2.970	2.924	2.671	3.808	2.498	3.674
Media (ng/L)	1.732	1.498	1.906	2.034	2.064	2.101	1.510	1.566
Varianza (ng/L)	1.852	1.765	1.829	0.911	0.737	2.624	0.884	2.532
Desviación estándar (ng/L)	1.361	1.328	1.352	0.955	0.858	1.620	0.940	1.591
Mediana (ng/L)	1.662	1.140	2.364	2.134	2.064	1.911	1.405	0.457
Coefficiente variación (%)	78.585	88.713	70.958	46.928	41.590	77.090	62.290	101.596

Anexo 3.5. Aluminio

Anexo 3.5.1. Tabla de concentraciones de aluminio en suelo y sedimento

		Concentración de Aluminio (Al)									
		abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Suelo (mg/kg)	Pozo Antiguo		23813.6	20693.1	8639.3	10129.8		7473.5	11382.5	11082.0	7434.2
	Pozo Laguna		9443.5	8935.6	4633.6	10728.7		5313.7	3975.8	4225.2	3687.4
	Pozo Jivino B		9728.0	7747.0	4448.1	4811.1		5246.1	4679.2		
	Instituto		7833.6	7836.6	5406.6		5411.9	5224.6	5361.9	7944.4	7381.1
	Estación		16743.9	17524.4	8663.7	6551.9	6533.9	5149.3	3989.9	8994.4	6854.2
	Sendero Caimán	7061.1	14235.8	21135.7	12077.1	5290.3	7125.5	11584.9	12388.0	11291.2	11225.3
Sedimento (mg/kg)	Caño	4535.5	10574.6	6358.6	5683.4	7532.1	8442.7	5291.9	5042.8	4773.9	5426.0
	D. Pishira	4448.1	7317.6	16719.8	7888.9	9075.7	7236.8	10061.6	5203.7	6605.1	6047.5
	D. Playayacu	4329.9	4235.5	4421.4	7959.9	6080.6	8878.5	6089.1	4251.3	3960.8	6234.3
	Zona profunda			10450.2		5342.5	7784.7	8904.3	6699.1	6084.0	7574.6
	Muelle	5722.5		6554.7	7024.3	8399.9	14933.1	7431.0	7302.5	4534.1	5864.3
	Río Napo	5420.0	6575.7	5547.8	5239.2	2737.3	4299.7	3316.4	3481.2	4327.5	3904.2
	R. Pishira	4421.4	16787.1	5288.0	8546.8	9591.1	6417.3	18747.2	15679.9	12694.0	16524.9
	R. Playayacu	6057.4	27234.9	9751.9	11645.9	5938.4	5109.5	4645.8	2556.1	4962.7	8073.4

Anexo 3.5.2. Tablas de estadísticos descriptivos de aluminio en suelo

Aluminio (Al) – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	1	6	6	6	5	3	6	6	5	5
Mínimo (mg/kg)	7061.1	7833.6	7747.0	4448.1	4811.1	5411.9	5149.3	3975.8	4225.2	3687.4
Máximo (mg/kg)	7061.1	23813.6	21135.7	12077.1	10728.7	7125.5	11584.9	12388.0	11291.2	11225.3
Media (mg/kg)	7061.1	13633.1	13978.7	7311.4	7502.4	6357.1	6665.4	6962.9	8707.4	7316.4
Varianza (mg/kg)	0.0	36023930.0	42174030.0	9060259.0	7588044.0	757549.9	6614095.0	14900910.0	8267351.0	7170208.0
Desviación estándar (mg/kg)	0.0	6002.0	6494.2	3010.0	2754.6	870.4	2571.8	3860.2	2875.3	2677.7
Mediana (mg/kg)	7061.1	11981.9	13230.0	7023.0	6551.9	6533.9	5279.9	5020.6	8994.4	7381.1
Coefficiente variación (%)	0.0	44.0	46.5	41.2	36.7	13.7	38.6	55.4	33.0	36.6

Aluminio (Al) – Puntos de muestreo						
	Pozo Antiguo	Pozo Laguna	Pozo Jivino B	Instituto	Estación	Sendero Caimán
Número de muestras	8	8	6	8	9	10
Mínimo (mg/kg)	7434.2	3687.4	4448.1	5224.6	3989.9	5290.3
Máximo (mg/kg)	23813.6	10728.7	9728.0	7944.4	17524.4	21135.7
Media (mg/kg)	12581.0	6367.9	6109.9	6550.1	9000.6	11341.5
Varianza (mg/kg)	38540340.0	8098071.0	4602452.0	1672707.0	23669350.0	19858710.0
Desviación estándar (mg/kg)	6208.1	2845.7	2145.3	1293.3	4865.1	4456.3
Mediana (mg/kg)	10605.9	4973.7	5028.6	6396.5	6854.2	11438.1
Coefficiente variación (%)	49.3	44.7	35.1	19.7	54.1	39.3

Anexo 3.5.3. Tablas de estadísticos descriptivos de aluminio en sedimento

Aluminio (Al) – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	7	6	8	7	8	8	8	8	8	8
Mínimo (mg/kg)	4329.9	4235.5	4421.4	5239.2	2737.3	4299.7	3316.4	2556.1	3960.8	3904.2
Máximo (mg/kg)	6057.4	27234.9	16719.8	11645.9	9591.1	14933.1	18747.2	15679.9	12694.0	16524.9
Media (mg/kg)	4990.7	12120.9	8136.6	7712.6	6837.2	7887.8	8060.9	6277.1	5992.8	7456.2
Varianza (mg/kg)	520009.9	73719590.0	16559440.0	4494682.0	5134765.0	10587980.0	23576640.0	16869230.0	8123741.0	15055190.0
Desviación estándar (mg/kg)	721.1	8586.0	4069.3	2120.1	2266.0	3253.9	4855.6	4107.2	2850.2	3880.1
Mediana (mg/kg)	4535.5	8946.1	6456.7	7888.9	6806.4	7510.8	6760.1	5123.3	4868.3	6140.9
Coficiente variación (%)	14.4	70.8	50.0	27.5	33.1	41.3	60.2	65.4	47.6	52.0

Aluminio (Al) – Puntos de muestreo								
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu
Número de muestras	10	10	10	7	9	10	10	10
Mínimo (mg/kg)	4535.5	4448.1	3960.8	5342.5	4534.1	2737.3	4421.4	2556.1
Máximo (mg/kg)	10574.6	16719.8	8878.5	10450.2	14933.1	6575.7	18747.2	27234.9
Media (mg/kg)	6366.2	8060.5	5644.1	7548.5	7529.6	4484.9	11469.8	8597.6
Varianza (mg/kg)	3724938.0	12073270.0	2948981.0	3007867.0	8981018.0	1418642.0	27945300.0	49918670.0
Desviación estándar (mg/kg)	1930.0	3474.7	1717.3	1734.3	2996.8	1191.1	5286.3	7065.3
Mediana (mg/kg)	5554.7	7277.2	5251.0	7574.6	7024.3	4313.6	11142.6	5997.9
Coficiente variación (%)	30.3	43.1	30.4	23.0	39.8	26.6	46.1	82.2

Anexo 3.6. Cobre

Anexo 3.6.1. Tabla de concentraciones de cobre en suelo, sedimento y agua

		Concentración de Cobre (Cu)									
		abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Suelo (mg/kg)	Pozo Antiguo		219.9	113.4	42.8	40.8		37.9	43.9	34.8	43.4
	Pozo Laguna		196.5	108.9	51.6	73.4		58.3	40.7	38.4	26.4
	Pozo Jivino B		283.0	82.4	41.3	23.1		25.0	22.3		
	Instituto		175.8	85.1	40.9		29.0	25.3	31.4	31.8	23.0
	Estación		296.0	123.4	53.0	47.0	37.0	42.1	40.7	49.0	58.5
	Sendero Caimán	77.7	306.6	121.8	74.3	50.2	91.4	68.7	60.3	63.7	59.6
Sedimento (mg/kg)	Caño	102.6	142.6	59.1	85.7	131.0	63.9	75.0	80.6	77.8	76.2
	D. Pishira	71.0	98.2	76.4	80.7	116.6	130.9	64.6	71.7	67.0	64.0
	D. Playayacu	106.5	93.5	51.1	66.0	61.6	76.5	61.8	76.0	52.2	59.2
	Zona profunda			120.5		61.9	113.8	111.6	110.1	100.7	108.5
	Muelle	133.1		62.6	91.5	132.9	72.2	128.6	132.2	90.0	91.2
	Río Napo	120.3	104.7	51.2	56.7	19.3	53.0	19.6	46.9	62.2	33.1
	R. Pishira	86.3	101.5	31.2	45.8	48.4	27.2	56.8	54.3	58.5	160.3
	R. Playayacu	80.9	120.7	44.7	65.6	45.4	33.2	50.5	22.2	52.4	45.3
Agua (µg/L)	Caño	13.219	27.505	20.603	10.928	N.D.	N.D.	22.430	5.464	11.039	40.677
	D. Pishira	6.475	35.659	N.D.	14.230	N.D.	1.503	21.113	17.533	N.D.	17.978
	D. Playayacu	12.273	32.774	26.670	7.347	N.D.	0.891	22.514	7.764	3.943	28.071
	Zona profunda	14.202	43.571	41.085	1.976	6.308	4.731	7.013	20.269	N.D.	21.271
	Muelle	15.241	20.306	24.091	7.681	2.143	7.959	4.759	23.024	14.722	17.013
	Río Napo	19.137	35.816	8.135	21.957	25.186	12.635	N.D.	18.544	13.878	26.540
	R. Pishira	34.573	50.260	13.210	17.690	N.D.	9.722	N.D.	11.725	10.102	22.430
	R. Playayacu	0.325	47.848	28.544	2.950	2.486	8.822	9.657	17.124	8.822	14.369

Anexo 3.6.2. Tablas de estadísticos descriptivos de cobre en suelo

Cobre (Cu) – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	1	6	6	6	5	3	6	6	5	5
Mínimo (mg/kg)	77.7	175.8	82.4	40.9	23.1	29.0	25.0	22.3	31.8	23.0
Máximo (mg/kg)	77.7	306.6	123.4	74.3	73.4	91.4	68.7	60.3	63.7	59.6
Media (mg/kg)	77.7	246.3	105.8	50.7	46.9	52.5	42.9	39.9	43.5	42.2
Varianza (mg/kg)	0.0	3120.1	321.8	162.0	329.2	1152.9	311.7	163.1	169.2	297.0
Desviación estándar (mg/kg)	0.0	55.9	17.9	12.7	18.1	34.0	17.7	12.8	13.0	17.2
Mediana (mg/kg)	77.7	251.5	111.2	47.2	47.0	37.0	40.0	40.7	38.4	43.4
Coefficiente variación (%)	0	22.7	17.0	25.1	38.7	64.7	41.2	32.0	29.9	40.9

Cobre (Cu) – Puntos de muestreo						
	Pozo Antiguo	Pozo Laguna	Pozo Jivino B	Instituto	Estación	Sendero Caimán
Número de muestras	8	8	6	8	9	10
Mínimo (mg/kg)	34.8	26.4	22.3	23.0	37.0	50.2
Máximo (mg/kg)	219.9	196.5	283.0	175.8	296.0	306.6
Media (mg/kg)	72.1	74.3	79.5	55.3	83.0	97.4
Varianza (mg/kg)	4224.1	3087.8	10460.6	2767.7	7066.4	5812.2
Desviación estándar (mg/kg)	65.0	55.6	102.3	52.6	84.1	76.2
Mediana (mg/kg)	43.1	55.0	33.2	31.6	49.0	71.5
Coefficiente variación (%)	90.1	74.8	128.6	95.2	101.3	78.2

Anexo 3.6.3. Tablas de estadísticos descriptivos de cobre en sedimento

Cobre (Cu) – Meses de muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	7	6	8	7	8	8	8	8	8	8
Mínimo (mg/kg)	71.0	93.5	31.2	45.8	19.3	27.2	19.6	22.2	52.2	33.1
Máximo (mg/kg)	133.1	142.6	120.5	91.5	132.9	130.9	128.6	132.2	100.7	160.3
Media (mg/kg)	100.1	110.2	62.1	70.3	77.1	71.3	71.1	74.3	70.1	79.7
Varianza (mg/kg)	491.7	337.8	731.7	270.1	1888.5	1310.3	1195.9	1221.2	318.8	1641.7
Desviación estándar (mg/kg)	22.2	18.4	27.0	16.4	43.5	36.2	34.6	34.9	17.9	40.5
Mediana (mg/kg)	102.6	103.1	55.2	66.0	61.8	68.1	63.2	73.9	64.6	70.1
Coficiente variación (%)	22.2	16.7	43.6	23.4	56.3	50.7	48.7	47.1	25.5	50.8

Cobre (Cu) – Puntos de muestreo								
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu
Número de muestras	10	10	10	7	9	10	10	10
Mínimo (mg/kg)	59.1	64.0	51.1	61.9	62.6	19.3	27.2	22.2
Máximo (mg/kg)	142.6	130.9	106.5	120.5	133.1	120.3	160.3	120.7
Media (mg/kg)	89.5	84.1	70.4	103.9	103.8	56.7	67.0	56.1
Varianza (mg/kg)	767.8	546.5	322.8	377.8	790.4	1094.6	1585.1	773.1
Desviación estándar (mg/kg)	27.7	23.4	18.0	19.4	28.1	33.1	39.8	27.8
Mediana (mg/kg)	79.2	74.1	63.9	110.1	91.5	52.1	55.6	48.0
Coficiente variación (%)	31.0	27.8	25.5	18.7	27.1	58.4	59.4	49.6

Anexo 3.6.4. Tablas de estadísticos descriptivos de cobre en agua

Cobre (Cu) – Meses muestreo										
	abr-15	jun-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Número de muestras	8	8	7	8	4	7	6	8	6	8
Mínimo (µg/L)	0.325	20.306	8.135	1.976	2.143	0.891	4.759	5.464	3.943	14.369
Máximo (µg/L)	34.573	50.260	41.085	21.957	25.186	12.635	22.514	23.024	14.722	40.677
Media (µg/L)	14.431	36.717	23.191	10.595	9.031	6.609	14.581	15.181	10.418	23.544
Varianza (µg/L)	99.565	103.707	115.794	49.219	119.560	19.169	69.040	38.485	15.091	69.605
Desviación estándar (µg/L)	9.978	10.184	10.761	7.016	10.934	4.378	8.309	6.204	3.885	8.343
Mediana (µg/L)	13.711	35.738	24.091	9.305	4.397	7.959	15.385	17.329	10.571	21.851
Coficiente variación (%)	69.146	27.735	46.400	66.217	121.079	66.248	56.985	40.865	37.290	35.436

Cobre (Cu) – Puntos de muestreo								
	Caño	D. Pishira	D. Playayacu	Zona profunda	Muelle	Río Napo	R. Pishira	R. Playayacu
Número de muestras	8	7	9	9	10	9	8	10
Mínimo (µg/L)	5.464	1.503	0.891	1.976	2.143	8.135	9.722	0.325
Máximo (µg/L)	40.677	35.659	32.774	43.571	24.091	35.816	50.260	47.848
Media (µg/L)	18.983	16.356	15.805	17.825	13.694	20.203	21.214	14.095
Varianza (µg/L)	128.820	120.336	139.158	238.380	59.515	69.829	206.525	209.021
Desviación estándar (µg/L)	11.350	10.970	11.797	15.440	7.715	8.356	14.371	14.458
Mediana (µg/L)	16.911	17.533	12.273	14.202	14.982	19.137	15.450	9.240
Coficiente variación (%)	59.789	67.069	74.637	86.617	56.336	41.362	67.743	102.574

Anexo IV: Registro fotográfico

Puntos de Muestreo de Agua y Sedimento	
	
Punto 1 Caño	Punto 2 Desembocadura Pishira
	
Punto 3 Desembocadura Playayacu	Punto 4 Zona profunda
	
Punto 5 Muelle	Punto 6 Río Napo
	
Punto 7 Río Pishira	Punto 8 Río Playayacu

Puntos de Muestreo de Suelo



Punto 1 Pozo Antiguo



Punto 2 Pozo Laguna



Punto 3 Pozo Jivino B



Punto 4 Instituto



Punto 5 Estación



Punto 6 Sendero Caimán

Muestreo



Parámetros físico-químicos



Agua



Sedimento



Suelo