



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Previo a la Obtención del Título de Ingeniería Ambiental

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN CADMIO Y NÍQUEL EN AGUA,
SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA DE LIMONCOCHA
PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 2015-2016**

Autor:

Mónica Gabriela Cerón Vásquez

Director:

Katty Coral Carrillo

Quito – Ecuador

2015- 2016

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, MÓNICA GABRIELA CERÓN VÁSQUEZ, con cédula de identidad # 0401438965, declaro bajo juramento que en el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de certificación 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.



Mónica Gabriela Cerón Vásquez

C.C: 0401438965

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**"EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN CADMIO Y NÍQUEL EN AGUA,
SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA DE LIMONCOCHA
PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 2015-2016"**

Realizado por:

MÓNICA GABRIELA CERÓN VÁSQUEZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

KATTY CORAL CARRILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Katty 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, 11 de julio del 2016

Dedicatoria

A mis padres por su amor y enseñanzas impartidas en mí, que han ayudado a forjar la persona que hoy soy, motivándome cada día a alcanzar todo lo que me proponga, y a mi hermanita por su amor infinito.

Agradecimiento

Primeramente doy gracias a mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado cada día en el transcurso de mi carrera dándome siempre ánimos para seguir adelante y así lograr mi meta de ser una profesional de la República del Ecuador.

De manera especial agradezco a Katty Coral, directora de la presente investigación por haber depositado su confianza en mí para la realización de la misma, por todo el apoyo, consejos, sugerencias acertadas que me brindó para mi trabajo de fin de carrera.

A Miguel Martínez-Fresneda y Fabio Villalba, miembros del tribunal por su apoyo, motivación y conocimiento impartido para la culminación de esta Tesis.

Al Sr. Jendry Moya y su familia, por toda la atención y ayuda proporcionada durante mi estadía en la estación científica de la UISEK.

Finalmente quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Internacional SEK, mi segundo hogar que me permitió crecer cada día como persona con la ayuda de sus profesores de excelencia.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
Portada.....	i
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Índice general de contenidos.....	viii
Índice de tablas y figuras.....	x
Resumen.....	1
Abstract.....	2
CAPITULO I.....	3
1 Introducción.....	3
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Importancia del estudio.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Zona de estudio.....	5
CAPITULO II.....	10
2 Marco Teórico.....	10
2.1 Estudios previos.....	10
2.2 Marco conceptual.....	11
2.3 Marco Legal.....	19
CAPITULO III.....	25
3 Metodología.....	25
3.1 Metodología de campo.....	25
3.2 Metodología de laboratorio.....	30
3.3 Cálculos.....	33
CAPÍTULO IV.....	35

4 Resultados y discusión de resultados.	35
4.1 Datos obtenidos	35
4.2 Cálculos de concentración en mg/kg.....	41
4.3 Presentación y análisis de resultados.....	42
CAPÍTULO V	57
5 Conclusiones y recomendaciones.....	57
5.1 Conclusiones	57
5.2 Recomendaciones.....	58
CAPÍTULO VI.....	60
4 Referencias y bibliografía.	60
ANEXOS.....	64
Anexo 1. Mapa del MAE de la Reserva Biológica Limoncocha	64
Anexo 2. Fotografías puntos de muestreo agua, suelo y sedimentos.	65
Anexo 3. Información analítica.....	75
Anexo 4. Gráfica de precipitaciones de los meses muestreados (INAMHI) (2015-2016).	76
Anexo 5. Reporte estadísticos por punto de muestreo de las concentraciones de Cd.....	77
Anexo 6. Reporte estadísticos por punto de muestreo de las concentraciones de Ni.....	78

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

CONTENIDO	PAGINA
Tabla I Puntos de muestreo	9
Tabla II Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario.....	21
Tabla III Criterios de calidad de suelo	22
Tabla IV Inmisión	23
Tabla V Fondo geoquímico centro de la laguna.....	24
Tabla VI Resultados analíticos de los parámetros hidroquímicos y metales analizados	35
Tabla VII Análisis de varianza Cd	44
Tabla VIII Análisis coeficiente de variación datos Cd	45
Tabla IX Análisis de varianza Ni	50
Tabla X Análisis coeficiente de variación datos Ni	51

FIGURAS

CONTENIDO	PAGINA
Figura 1 Ubicación Puntos de muestreo Agua, Suelos y Sedimentos.....	8
Figura 2 Microcuencas de Limoncocha (SIGAGRO, 2008)	12
Figura 3 Espectrofotómetro Perkin Elmer Aanalyst 200	18
Figura 4 Horno de grafito GBC Germin AA.....	19
Figura 5 Ubicación Puntos de muestreo aguas y sedimentos.....	26
Figura 6 Recolección de muestra de agua	27
Figura 7 Toma de parámetros hidroquímicos in-situ	27
Figura 8 Ubicación Puntos de muestreo Suelos	28
Figura 9 Recolección muestra de sedimento	29
Figura 10 Recolección muestra de suelo	29
Figura 11 Digestión de aguas	31
Figura 12 Secado en estufa de sedimentos y suelos	32
Figura 13 Digestión de sedimentos y suelos	33

Figura 14 Dendrograma puntos de muestreo y temperatura	42
Figura 15 Dendrograma puntos de muestreo y conductividad.....	43
Figura 16 Dendrograma puntos de muestreo y pH.....	43
Figura 17 Diagrama de caja y bigotes de suelo (Cd)	46
Figura 18 Diagrama de caja y bigotes de sedimento (Cd)	46
Figura 19 Diagrama de caja y bigotes de agua (Cd)	46
Figura 20 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de agua.	47
Figura 21 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de sedimento.	48
Figura 22 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de suelo.	49
Figura 23 Diagrama de caja y bigotes de agua (Ni)	52
Figura 24 Diagrama de caja y bigotes de suelo (Ni)	52
Figura 25 Diagrama de caja y bigotes de sedimento (Ni)	52
Figura 26 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de agua.....	53
Figura 27 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de sedimento.	54
Figura 28 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de suelo	55
Figura 29 Punto 1 entrada al “Caño” de agua y sedimento.....	65
Figura 30 Punto 2 desembocadura del río Pishira de agua y sedimento.	65
Figura 31 Punto 3 desembocadura del río Playayacu de agua y sedimento.....	66
Figura 32 Punto 4 zona más profunda de la laguna de agua y sedimento.....	67
Figura 33 Punto 5 el Muelle de agua y sedimento.	68
Figura 34 Punto 6 río Napo de agua y sedimento.	68
Figura 35 Punto 7 río Pishira de agua y sedimento.....	69
Figura 36 Punto 8 río Playayacu de agua y sedimento.	69
Figura 37 Punto 1 pozo antiguo de suelo.	70
Figura 38 Punto 2 pozo Laguna de suelo.	71
Figura 39 Punto 3 pozo Jivino B de suelo.....	72
Figura 40 Punto 4 Instituto de suelo.....	72
Figura 41 Punto 5 la estación científica de la RBL de suelo.....	73
Figura 42 Punto 6 el sendero “El Caimán” como punto blanco de suelo.	74
Figura 43 Gráfica de absorbancia de Ni en espectrofotómetro de absorción atómica de llama.	75
Figura 44 Gráfica de absorbancia de Cd en horno de grafito.....	75

Resumen

La Reserva Biológica Limoncocha, se encuentra ubicada en la Amazonía Ecuatoriana en la provincia de Sucumbíos, es considerada una de las áreas protegidas más pequeñas del Ecuador, con grandes riquezas biológicas. El presente trabajo tuvo como objetivo primordial, establecer una línea base para evaluar la concentración de los metales pesados cadmio y níquel en: agua, suelo y sedimentos de la reserva; para ello se determinaron los puntos de muestreo, en base a criterios de potencial de contaminación por influencia antropogénica. En aguas, para determinar la variación multitemporal también se midió in situ los parámetros hidroquímicos: temperatura, pH y conductividad. Los resultados muestran que las concentraciones de Cd y Ni son variantes en cada punto. Estas sobrepasan los límites establecidos por la normativa ecuatoriana vigente para agua y suelo; en cuanto a sedimentos, al no contar con normativa, se comparó los valores con la legislación internacional para sedimentos y fondo geoquímico, sobrepasando sus límites en la mayoría de las áreas muestreadas. Sin embargo, los valores obtenidos de Ni en suelo, se encuentran en su gran mayoría por debajo de los límites. Esto se puede deber a la presencia de actividades antropogénicas, ya que la RBL, se encuentra expuesta a un potencial de contaminación por metales pesados, debido a las actividades extractivas de petróleo, la agricultura que se realiza en el sitio y las aguas servidas de zonas urbanas de los alrededores de la misma. La investigación permitió conocer posibles escenarios de contaminación por Cd y Ni sobre el origen y comportamiento del ecosistema de la laguna en diferentes épocas del año; lo que ayudó a aportar con datos de campo para continuar a futuro con el estudio de estos y otros metales pesados con la metodología establecida, con el fin de realizar un aprovechamiento sostenible de los recursos de la Reserva.

Palabras claves: áreas naturales, paisaje, ecosistemas, contaminación, residuo, suelo.

Abstract

Reserva Biologica Limoncocha is located on Sucumbios province in the Ecuadorian Amazon region; it is considered one of the smallest protected areas of Ecuador with a reach biological resource. This work had as main objective to establish a baseline to assess the concentration of heavy metals cadmium and nickel in water, soil and sediment from the Reserve. For the determination of sampling points of water, soil and sediment was based on criteria of pollution by potential anthropogenic influence. In water, to determine the variation multitemporal also measured in situ hydrochemical parameters: temperature, pH and conductivity. The results show that concentrations of Cd and Ni exceed the limits established by the current Ecuadorian legislation for water and soil, and for sediment was compared with international law and geochemical background from the lake by not having regulations; which limits overshoot in most of the areas sampled. However values obtained from Ni in soil are mostly below the limits. This may be due to the presence of anthropogenic activities since Limoncocha Biological Reserve is exposed to potential contamination by heavy metals due to oil extractive activities, agriculture performed in its surroundings and residual urban water around the RBL. This research yielded information on possible scenarios of contamination by Cd and Ni on the origin and behavior of the ecosystem of the lagoon at different times of the year .That information helped to provide a data field for a future continue study of these metals and other heavy metals with the methodology established with the purpose of making a sustainable use of resources from the Reserve.

Keywords: natural areas, landscape, ecosystems, pollution, waste, soil.

CAPITULO I

1 Introducción

El estudio de la presencia de metales pesados en aguas, suelos y sedimentos, constituye un análisis de carácter ambiental que contribuirá a diagnosticar la situación actual de la Reserva Biológica Limoncocha (RBL), en cuanto a la afectación directa antropogénica de la misma.

Los metales pesados constituyen un grupo bien definido de elementos químicos inorgánicos, por su ciclo de vida, alta toxicidad y capacidad de acumulación en los tejidos de plantas y animales, estos pueden causar graves daños a los ecosistemas, provocando alteraciones genéticas en plantas y animales, entre los que se incluyen los microorganismos y el ser humano (De la Cruz-Landero et al., 2013).

Debido a su alta toxicidad, cuando se encuentran presentes afectan gravemente a la biodegradación natural de los desechos orgánicos, por lo que la contaminación de los suelos y sedimentos a causa de estos elementos, representa altos riesgos para la salud no solo de los seres humanos, sino que afecta en general toda la cadena trófica y la productividad primaria de todo el ecosistema (De La Cruz-Landero et al., 2013).

Los metales pesados, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no son degradados por los microorganismos, las plantas y animales, ni mediante tratamientos químicos, por lo que se acumulan en los tejidos de todos los seres vivos y en consecuencia pueden ser transportados a grandes distancias del sitio originalmente contaminado (De La Cruz-Landero et al., 2013).

Por este motivo, se ha decidido realizar la evaluación en cuanto a calidad y contaminación en aguas, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica Limoncocha ya que se encuentra expuesta a un potencial de contaminación por metales pesados, debido a las actividades extractivistas de petróleo, la agricultura que se realiza en sus alrededores y aguas servidas de zonas urbanas de los alrededores de la RBL.

1.1 Antecedentes

En años anteriores, se han realizado varios estudios de fin de carrera en la Universidad Internacional SEK, acerca de los parámetros limnológicos en la Laguna de Limoncocha, de entre los cuales se destacan: la “Caracterización limnológica de la laguna de Limoncocha en el periodo 2001” (Andrade, 2001) y su continuación “Caracterización limnológica de Limoncocha e identificación de las características hidrológicas en el periodo de 2002-2003” (Ayala, 2003).

Además, se han realizado estudios acerca de eutrofización en la Laguna de Limoncocha, diagnóstico del estado trófico de la laguna de Limoncocha y determinación de la calidad del agua del sistema hídrico de la zona de Limoncocha; obteniendo parámetros limnológicos, tanto físicos como químicos, in situ y en laboratorio, con el fin de establecer el estado trófico de la laguna, concluyendo que la laguna se encuentra en un estado mesotrófico. En general, la disponibilidad de información sobre lagos amazónicos es escasa, en tal virtud, se propone el estudio geoquímico como respuesta a la falta de datos relacionados con la composición geoquímica y mineralógica de los sedimentos de la laguna de Limoncocha que pertenece a este grupo de lagos y lagunas de la región Amazónica (Ordoñez, 2013).

En base a la escasa información acerca de contaminación por metales pesados en la RBL, se ha decidido realizar el presente trabajo, con el fin de analizar la afectación de actividad antropogénica en aguas, suelos y sedimentos con respecto a los metales pesados cadmio y níquel.

1.2 Importancia del estudio

La falta de información respecto a las concentraciones de los metales pesados en la RBL, no permitía conocer posibles escenarios y comportamiento del ecosistema de la laguna en diferentes épocas del año y en consecuencia, poder aportar con datos de campo de carácter limnológico, así, como establecer un modelo de comportamiento de la laguna frente al cambio climático, referente a la pluviometría y temperatura presente en la zona.

Una de las principales amenazas a las que está sometida la RBL, es el peligro potencial de contaminación de los cursos de agua, debido a las actividades extractivas de petróleo que se

llevan realizando desde los años 80. Esta explotación, extracción y transporte de crudo, ha favorecido paralelamente el crecimiento de la población, por lo que las presiones sobre los cursos de agua se ven incrementando (Neira et al. 2006).

Entre otras amenazas de posible afectación a la RBL, se encuentra las fuentes potenciales de contaminación, que incluyen: aguas servidas de zonas urbanas y población dispersa, y actividades de agricultura (Armas & Lasso, 2011).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar los metales pesados cadmio y níquel en agua, suelos y sedimentos de la “Reserva Biológica de Limoncocha” con monitoreos mensuales, para establecer una línea base actualizada de la reserva y comparar con la normativa ecuatoriana vigente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una metodología base para el monitoreo y muestreo en aguas, suelos y sedimentos a través de salidas de campo a la RBL, para determinar la concentración de metales pesados cadmio y níquel.
- Evaluar las concentraciones de metales pesados cadmio y níquel, utilizando espectrofotometría de absorción atómica simple y horno de grafito, con la finalidad de compararlos con la normativa legal ecuatoriana vigente.

1.4 Zona de estudio

1.4.1 Descripción General

La Reserva Biológica Limoncocha (RBL), se ubica en la provincia de Sucumbíos, en el nororiente de la Región Oriental ecuatoriana. Por su superficie y su categorización, la RBL constituye uno de los ecosistemas más importantes del Ecuador, el cual debe ser manejado con acciones que tiendan hacia el desarrollo sustentable y sostenible de sus recursos, en armonía con las comunidades establecidas en la zona de influencia (Anexo 1) (Armas & Lasso, 2011).

La Reserva, es considerada una de las áreas protegidas más pequeñas del Ecuador con un extensión de 4.613,25 Hectáreas, y mediante el acuerdo ministerial N° 394 del 23 de septiembre del 1985 es declarada un área protegida (Montenegro, 2015), consta de un espejo de agua de 370ha, con una longitud máxima de tres kilómetros por uno de ancho, una profundidad promedio de 2,3 m y una profundidad máxima de 3,10 m (Madera, 2011).

La Reserva Biológica Limoncocha (RBL), declarada como tal en el año de 1985, mediante acuerdo ministerial No. 394, publicado en el Registro Oficial No. 283, está integrada principalmente por la laguna de Limoncocha (antiguamente llamada Capucuy), las zonas aledañas, y la Laguna Negra también conocida como Yanacocha (Mosquera, 2014).

En el sistema de clasificación de Ecosistemas del Ecuador continental la RBL pertenece al Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen andino y de Cordilleras Amazónicas, Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía, Bosque inundado de palmas de llanura aluvial de la Amazonía y Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía (Montenegro, 2015).

La RBL ha sido catalogada como humedal RAMSAR (Convención sobre los humedales Ramsar, Irán, 1971) denominación obtenida en julio de 1998 y a lo largo de los estudios realizados en varios años, se han identificado hasta 464 especies de aves, 97 de mamíferos, 94 anfibios y reptiles y 345 especies de plantas (Armas & Lasso, 2011).

Según SIGAGRO (2008), citado en Cerda et al., de acuerdo con las curvas de isoyetas, en Limoncocha se presentan precipitaciones mínimas anuales de 2.850 a máximas de 2.900mm en una superficie de 17.778,7 hectáreas, localizadas en el extremo oeste; el rango que va de 2.900 a 3.200mm, 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 3.400mm. Referente a las isotermas, el rango de temperatura va desde los 25 a 25,5°C, presentándose en el extremo oeste de la parroquia (Cerda et al., 2015).

La laguna es alimentada por los ríos Pishira y Playayacu y por algunas vertientes en su costado noroccidental. La salida de la laguna se da a través del denominado “Caño” en su extremo nororiental, el cual conduce el agua hacia la laguna Negra, la cual descarga a su vez hacia el río Blanco, el cual confluye con el río Capucuy, que desemboca en el Napo; de acuerdo a trabajos previos, se presume que la laguna tiene relación con el Río Napo por una posible vía más directa que los ríos mencionados (Mosquera, 2014).

En el territorio de la parroquia Limoncocha se encuentran las siguientes formaciones geológicas: formación Chambira, la cual comprende una superficie de 50758,31 hectáreas, es una secuencia no fosilífera de gran espesor (1000 a 1500 metros) de sedimentos clásticos gruesos; y los depósitos aluviales que han determinado las principales características morfológicas actuales de toda la zona, cubriendo una superficie de 11342,33 hectáreas, proporcionando grandes terrazas muy bien desarrolladas; además que se han formado varios niveles de las mismas, y frecuentemente han sido inundadas debido a la alta pluviometría de la región y al gran caudal que contienen sus principales drenajes (Cerde et al., 2015).

La laguna, es considerada mesotrófica con alta incidencia de producción primaria; presenta estados de estratificación y mezcla a lo largo del año, siendo el período de estratificación entre noviembre y febrero y entre julio y agosto, mientras que en los meses de septiembre y octubre se da una condición de mezcla (Madera, 2011).

Las Cuencas principales incluyen el Río Capucuy, Río Jivino, Río Itaya, Río Napo y Río Indillana. Las cabeceras de estos ríos, generalmente, se localizan en zonas intervenidas fuera de la RBL, por lo tanto, existen fuentes potenciales de contaminación que incluyen aguas servidas de zonas urbanas y población dispersa, actividades petroleras y agricultura (Armas & Lasso, 2011).

Alrededor de 113,1 hectáreas han sido ocupadas para la agricultura, siendo los principales, en función de la superficie total cultivada, el cacao (*Caryodendron orinocense*) 36 has., el maíz (*Zea mays*) 24,5 has., el plátano verde (*Musa paradisiaca*) 19,5 ha, la yuca (*Manihot esculenta*) 17,25 ha y el café (*Coffea sp.*) 15,25 ha. De éstos, la yuca es el principal producto de subsistencia y se cultiva en una superficie promedio de 0,5 ha por propiedad. La yuca junto al pescado y la carne de monte constituyen su alimentación diaria. Los restantes productos se utilizan para la venta. El 64% de los agricultores de la zona no utilizan químicos para mejorar el rendimiento de sus cultivos y el 36% restante utiliza ciertos químicos para combatir plagas y sobre todo abonos naturales (Neira et al., 2006).

La pesca es una actividad muy importante para la subsistencia de la población, un 84% de los pescadores dependen de la pesca para vivir, un 68% de los pescadores consumen parte de lo que pescan y venden el resto, mientras que 32% únicamente pescan para vender. El 47% de los pescadores consumen alrededor de 10 pescados por semana por familia, 13% consumen más de 30 pescados por semana por familia (Neira et al., 2006).

Cabe mencionar que dentro de la RBL, la agricultura es la principal fuente de ingresos de las familias, sin que haya otra fuente importante de generación de recursos. En la zona de amortiguamiento se encuentran facilidades de explotación petrolera de Petroamazonas (OXY) y una red vial construida con este fin (Armas & Lasso, 2011).

1.4.2 Mapa Reserva Biológica Limoncocha

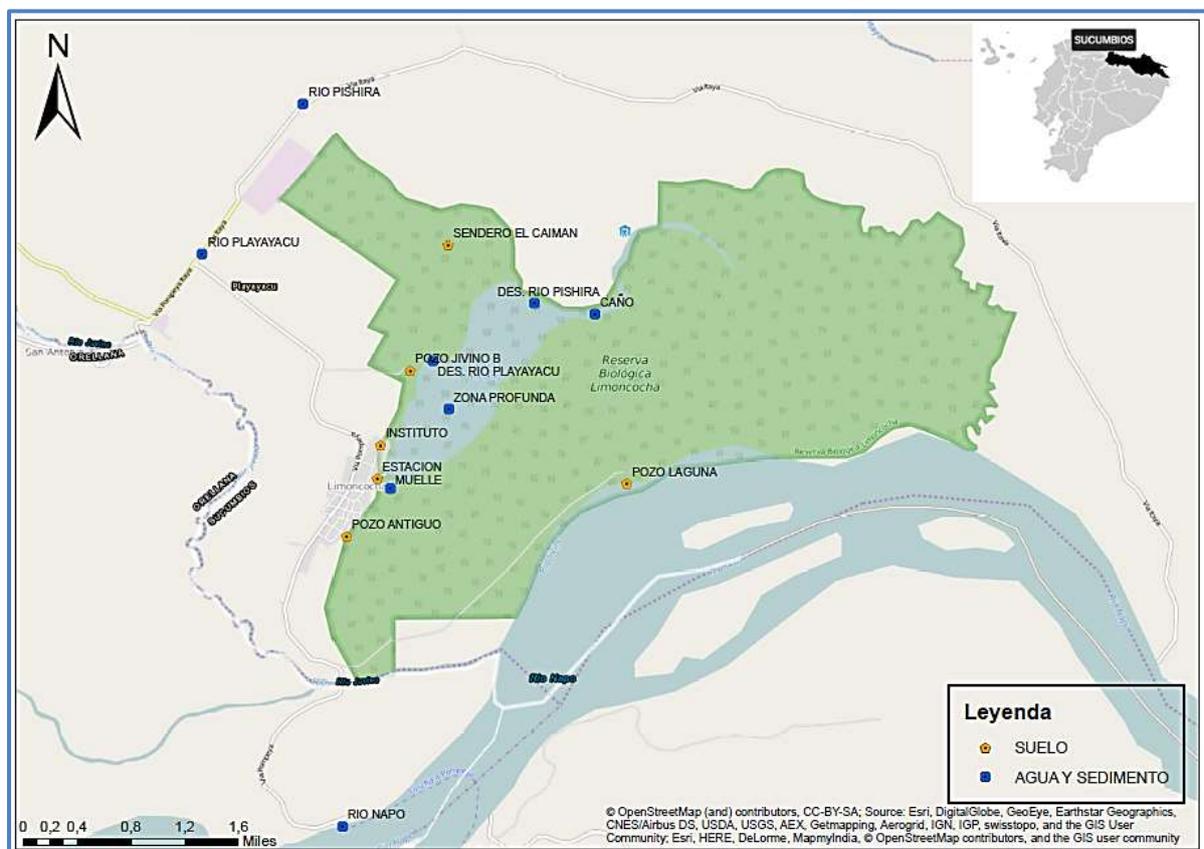


Figura 1 Ubicación Puntos de muestreo Agua, Suelos y Sedimentos

Tabla I Puntos de muestreo

Puntos agua y sedimento	Puntos suelo
1) Entrada al “caño” (zona norte de la laguna)	1) Pozo antiguo (zona sur en referencia a la laguna)
2) Desembocadura del río Pishira (zona norte de la laguna)	2) Pozo Laguna (zona suroeste en referencia a la laguna)
3) Desembocadura del río Playayacu (zona norte de la laguna)	3) Pozo Jivino B (zona noreste en referencia a la laguna)
4) Zona más profunda de la laguna (zona occidental de la laguna)	4) Instituto (zona noreste en referencia a la laguna)
5) El Muelle (zona sur oeste de la laguna)	5) La estación científica de la RBL (zona sur oeste en referencia a la laguna)
6) Río Napo (zona sur en referencia a la laguna)	6) El sendero “El Caimán” como punto blanco (zona norte en referencia a la laguna)
7) Río Pishira (zona norte en referencia a la laguna)	
8) Río Playayacu (zona norte en referencia a la laguna)	

CAPITULO II

2 Marco Teórico

2.1 Estudios previos

A nivel internacional, se han realizado varios estudios de los cuales destacan en el año del 2003 la determinación de metales pesados en aguas y sedimentos de Río Haina en la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana (Contreras et al, 2004).

El análisis tuvo lugar mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica, se compararon los resultados con los estándares nacionales e internacionales y se evaluaron tendencias de impactos ambientales. Determinando altos niveles de concentraciones de metales pesados en los sedimentos del Río Haina. Estos valores están en la mayoría de los casos por encima de los estándares internacionales, lo cual implica alta contaminación de dicho río por metales pesados (Contreras et al, 2004).

El estudio realizado en España en el año 2015 para determinar los niveles de fondo y evaluar la contaminación en sedimentos de siete metales pesados (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn) de la laguna Albufera situada en la costa mediterránea al sur de la ciudad de Valencia (Hernández et al, 2015).

En donde se aplicó un método integrado, incluyendo método directo, tomando muestras de sedimentos superficiales y perfiles verticales de la zona central del lago como sitio de referencia que se ve menos afectada por contaminación; e indirecta aplicando enfoques estadísticos y el uso del software FISATII para análisis de progresión. La determinación de los niveles de fondo dieron a conocer el grado de contaminación de los sedimentos siendo moderada para el Cd, Ni, Pb, Fe, Mn de hasta 30 cm de profundidad, y moderadamente severo para el cobre y el zinc en las capas superficiales (5 cm) de los sitios periféricos de la laguna (Hernández et al, 2015).

En el Ecuador gracias a la estación en la RBL de la Universidad Internacional SEK y el MAE, ha sido posible la realización de estudios de caracterización de metales en la Reserva

Biológica Limoncocha entre los más importantes se tiene la caracterización y evaluación de los suelos y sedimentos realizado en 1999 por Cordovez y Coral, pretendiendo establecer una línea base de las características físico-químicas de los suelos y sedimentos de la laguna y de los sectores aledaños, recopilando datos por un período de ocho meses determinando la problemática de falta de legislación, lo que dificultó tener resultados concretos de la contaminación presente en la RBL.

En relación a los metales pesados en la laguna de Limoncocha, se realizó en el 2001 por Irigoyen, la evaluación de la bioacumulación de bario, cromo, níquel y zinc en la macrofitas acuáticas, teniendo como resultado de estudio la bioacumulación por parte de las especies acuáticas de metales pesados, teniendo una concentración considerable de los mismos.

También se analizaron los sedimentos, en la tesis realizada por Ordoñez en el año 2013, sobre caracterización geoquímica de sedimentos en la Laguna de Limoncocha, determinando la caracterización química de crudos amazónicos ecuatorianos por la presencia de metales pesados tales como V, Cr, Ni, Cd, y Zn en sedimentos mediante el uso del método inductivo deductivo; analizando la presencia de actividad hidrocarburífera, ya que los sedimentos de la laguna proveen información importante para establecer una línea base que permita evaluar el grado y naturaleza del impacto de eventos pasados sobre el ecosistema de la laguna.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Red Hidrográfica

La parroquia Limoncocha, se encuentra localizada dentro del área de drenaje de la cuenca del río Napo e íntegramente en la subcuenca del río Aguarico y el río Jivino, a la cual pertenecen tramos parciales de las microcuencas de los ríos Capucuy (Blanco), Itaya, Mandi, Pañayacu, La Sur y Jivino; algunos drenajes menores de importancia poco significativa, que atraviesan la parroquia de oeste a este (Cerde et al., 2015).

El ecosistema agua, consta de una superficie de 2987 hectáreas amenazadas por un alto grado de contaminación con una prioridad de conservación muy alta. Las Microcuencas Hidrográficas sufren de contaminación de aguas superficiales y subterráneas por explotación

hidrocarburífera, aguas servidas, sedimentos y pescadores que arrojan veneno y explosivos (Cerda et al., 2015).

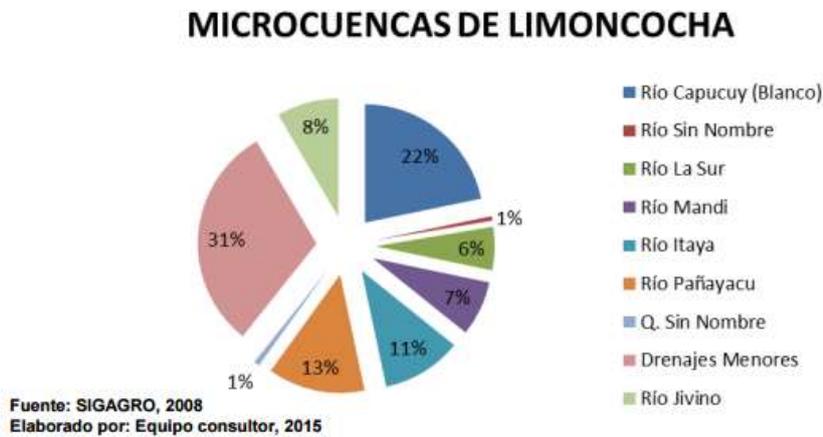


Figura 2 Microcuencas de Limoncocha (SIGAGRO, 2008)

2.2.2 Suelos

El suelo es un cuerpo natural que posee profundidad y extensión, siendo este un producto de la naturaleza resultante de fuerzas constructivas como destructivas, envolviendo la presencia de micro y macro nutrientes del mismo. A medida que el material de origen se moldea dentro de un suelo por medios bioquímicos se desarrollan estratos más o menos definidos. Las características del suelo varían dependiendo del lugar en donde el suelo superficial es la zona de máxima acumulación orgánica (Cordovez, 1999).

Los suelos del territorio de Limoncocha, se han formado en las partes ligeramente onduladas a manera de piedemonte existentes en la unidad denominada Cuenca Amazónica Colinada y específicamente en la Cuenca Amazónica Plana (Cerda et al. 2015).

2.2.3 Sedimentos

Los sedimentos son tomados casi siempre como un tipo de contaminantes debido al proceso natural de erosión. Al existir exceso de sedimentos producidos por una alteración de este proceso, se convierte en el más extenso agente contaminante en aguas superficiales (Gómez, 2005).

La formación de sedimentos en gran parte depende de acciones físicas y químicas presentes en la transición roca -atmósfera y roca - agua. Los depósitos de sedimentos en los lagos funcionan bien sea como fuente o como reserva de muchos de los nutrientes esenciales involucrados en el proceso de eutroficación, entendiéndose como la intensificación trófica de las aguas, como resultado de la disponibilidad y utilización acrecentada de nutrimentos (Gómez, 2005).

El intercambio de nutrientes entre los sedimentos y el agua sobreyacente depende de las características químicas del agua y de las del sedimento según Wetzel (1981), citado por Gómez (2005). Este compartimiento ecosistémico actúa como una reserva tampón de nutrientes para la columna de agua, pues por un lado amortigua los aumentos de nutrientes en el medio provenientes de los aportes directos y/o de la descomposición de materia orgánica, reteniendo una parte de los mismos. De otro lado, compensan los déficits de nutrientes en períodos de alta demanda biológica, liberando parte de estas formas retenidas según Carmouze (1994), citado por Gómez (2005).

Los sedimentos profundos de los lagos se encuentran formados por granos finos. Estos sedimentos contienen materia orgánica y minerales de dos tipos: alóctonos los cuales fueron transportados al ambiente que los contiene como depósitos terrígenos (limos, arenas, conglomerados, arcillas) y depósitos piroclásticos; y autóctonos que se forman dentro del ambiente que los contiene como precipitados químicos (carbonatos, evaporitas, cherts, fierro, fosfatos), depósitos orgánicos (carbón, petróleo, gas) y depósitos residuales (lateritas, bauxitas) (Gómez, 2005).

2.2.4 Parámetros Hidroquímicos

2.2.4.1 Temperatura

La temperatura, está determinada por la cantidad de energía calórica que un cuerpo de agua puede absorber. Es muy importante para todos los procesos biológicos e influye sobre la tasa de crecimiento biológico, en las reacciones químicas y en el desarrollo de la vida. Si la temperatura en el agua es mayor, la solubilidad de un sólido también lo es, mientras que la solubilidad de un gas será menor. Es por esto, que al existir contaminación térmica, la vida

dentro de un cuerpo de agua se encuentra en peligro ya que elimina el oxígeno disuelto vital para el desarrollo de la vida acuática (Granizo, 2011).

2.2.4.2 pH

El pH o potencial hidrógeno, indica la concentración de iones hidrógeno $[H^+]$ presentes en una solución acuosa y determina la naturaleza ácida o básica de dicha solución (Roldán, 2008). Matemáticamente el pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno: $pH = -\log [H^+]$, y la escala de medición va desde 0,0 siendo éste el valor más ácido y 14,0 el valor más básico. La neutralidad absoluta está representada por un pH de 7,0 a 25°C; valores menores a 7,0 significa que es ácida y mayores a 7,0 la solución es básica. (Granizo, 2011).

En aguas naturales los valores de pH oscilan entre 6,0 a 9,0. Los lagos de las partes bajas tropicales presentan una variación de pH que va desde 5,0 a 9,0 dependiendo del estado de eutroficación en el que se encuentre y del grado de alcalinidad que posee (Granizo, 2011).

2.2.4.3 Conductividad

La conductividad se denomina, a la capacidad que posee una solución de transmitir corriente eléctrica y varía según el tipo y la cantidad de iones que contiene la solución según Jiménez, 2001, citado por Granizo. Mediante este parámetro se mide la cantidad total de iones presentes en el agua. Entre la conductividad, la salinidad y los sólidos disueltos presentes en un cuerpo de agua existe una gran relación. La conductividad se expresa en micro siemens por centímetro ($\mu S/cm$) (Granizo, 2011).

El parámetro de conductividad permite conocer información acerca del ecosistema, como la concentración iónica, los iones responsables de conductividad más conocidos son: calcio, magnesio, potasio, carbonatos, cloruros y sulfatos, los cuales son conocidos también como macronutrientes y permiten detectar fuentes potenciales de contaminación, además, la conductividad puede proporcionar información sobre la variación de la productividad primaria y descomposición de materia orgánica (Granizo, 2011).

2.2.5 Metales pesados

Los metales pesados son conocidos como potencialmente contaminantes, devastadores ya que son éstos los que contaminan el aire, el agua y la tierra, son utilizados por las plantas y todos los demás eslabones de las cadenas tróficas (Toro, 2013).

Se considera metal pesado al elemento metálico que tiene una densidad igual o superior a 6 g/cm^3 cuando está en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos o alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos, arsénico, boro, bario y selenio que se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados (Yagnentkovsky, 2011).

En los metales pesados se pueden distinguir dos grupos; los oligoelementos, necesarios para el desarrollo de la vida de determinados organismos; son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza, pasando cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran: arsénico, boro, cobalto, cromo, cobre, molibdeno; manganeso, níquel; selenio y zinc (Yagnentkovsky, 2011).

El segundo grupo son los metales pesados sin función biológica conocida, metales cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi (Yagnentkovsky, 2011).

2.2.5.1 Cadmio

El cadmio es un micronutriente esencial para los humanos, animales y plantas. Sus propiedades tóxicas son similares a las del zinc. Es persistente en el ambiente y si es absorbido por el organismo humano puede persistir por décadas antes de ser excretado (Bravo, 2007).

Las vías naturales y antropogénicas de cadmio incluyen emisiones industriales; así como, la aplicación de fertilizantes y aguas negras en sembradíos. En general, la población está expuesta al cadmio principalmente por dos vías: la oral a través del agua e ingesta de comida contaminada con cadmio (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado); la segunda vía es a través de la inhalación de partículas de cadmio

durante las actividades industriales en personas laboralmente expuestas, mientras que en la población general, la inhalación es principalmente debida al humo de cigarro que contiene cadmio; la exposición es considerada altamente peligrosa ya que el cadmio se absorbe fácilmente por los pulmones (Nava et al. 2011).

En humanos y otros mamíferos la absorción del cadmio se lleva a cabo a través de un proceso similar al de la absorción de metales esenciales como el hierro y zinc; el cadmio es transportado por la sangre y distribuido inicialmente al hígado y al riñón y tiene una vida media de 17 a 30 años en humanos (Nava et al. 2011).

En humanos, la exposición prolongada se relaciona con la disfunción renal. También puede llevar a enfermedades pulmonares, se ha relacionado con el cáncer de pulmón y puede provocar osteoporosis en humanos y animales. El ingreso medio diario, para humanos se estima en 0,15 µg proveniente del aire y 1 µg del agua. Fumar unos 20 cigarrillos puede provocar la inhalación de unos 2 a 4 µg. Es un metal absorbido rápidamente por las plantas (Bravo, 2007).

El cadmio afecta diversos órganos y tejidos como son: riñón, corazón, huesos, testículos, placenta, y sistema nervioso central y periférico. El pulmón es un órgano muy susceptible a la exposición a cadmio, la inhalación crónica subaguda, puede producir bronquitis con daño progresivo alveolar, fibrosis secundaria y enfisema (Nava et al. 2011).

2.2.5.2 Níquel

El níquel (Ni) representa entre un 5 y un 50 % del peso de los meteoritos y se encuentra en forma de minerales, combinado con azufre, oxígeno, antimonio, arsénico y/o sílice. Los depósitos de minerales de importancia comercial están constituidos principalmente por óxidos (como minerales de laterita que contienen óxidos de níquel y hierro mezclados) y sulfuros (Gunnar, 2014).

La presencia de níquel en los ecosistemas acuáticos se debe a la meteorización de rocas y suelos o por aportes de origen antropogénico según la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina (Rodríguez, 2013).

En pequeñas cantidades el níquel es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades puede resultar peligroso para la salud de los animales y del ser humano (Rodríguez, 2013).

Entre las fuentes ambientales más importantes del níquel se encuentran las cenizas producidas en la combustión del carbón, los residuos de la fundición de este elemento, los fangos de depuradoras, y los residuos urbanos (Rodríguez, 2013).

Los riesgos para el hombre derivados de la exposición profesional a los compuestos de níquel pueden dividirse en tres categorías principales: alergias; rinitis, sinusitis y enfermedades respiratorias; cánceres de las cavidades nasales, de pulmón y de otros órganos (Gunnar, 2014).

La población general está expuesta a níquel principalmente por inhalación o contacto cutáneo con productos fabricados con aleaciones de níquel, lo que puede provocar reacciones alérgicas (Rodríguez, 2013).

En el organismo de los seres vivos este elemento preferentemente se acumula en los riñones y pulmones. Los efectos agudos por la ingestión de dosis elevadas de compuestos de níquel son irritación intestinal, convulsiones y asfixia; mientras que los efectos provocados por la inhalación aguda de partículas que contienen níquel causan irritación pulmonar, asma, neumoconiosis, fibrosis y edema pulmonar (Rodríguez, 2013).

2.2.6 Espectrofotómetro de absorción atómica simple

La técnica de absorción atómica en flama, en una forma concisa, consta de lo siguiente: la muestra en forma líquida es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido (Remache, 2013).

Las gotas formadas son conducidas a una flama, donde se produce una serie de eventos que originan la formación de átomos. Estos átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración (Remache, 2013).

La señal de la lámpara una vez que pasa por la flama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura (Remache, 2013).



Figura 3 Espectrofotómetro Perkin Elmer Analyst 200

2.2.7 Horno de Grafito

La técnica de atomización electro térmica u horno de grafito utiliza el calentamiento por resistencia, obteniéndose de esta forma una mejora en la sensibilidad del análisis respecto a la atomización por llama. Un atomizador electro térmico típico está formado por un tubo cilíndrico de grafito de 1-3 cm de longitud y 3-8 mm de diámetro (Buscio et. al, 2009).

La atomización se realiza en tres fases. En la primera, la muestra se seca usando una corriente que eleva la temperatura del tubo de grafito hasta unos 110°C, quedando un residuo sólido. En la segunda fase, la temperatura aumenta hasta 1200°C de forma que todo el material orgánico que pueda existir en la muestra se convierte en CO₂ y H₂O y los materiales inorgánicos volátiles se evaporan. En la fase final, los metales de la muestra se atomizan por un rápido aumento de la temperatura a 2000-3000°C (Buscio et. al, 2009).



Figura 4 Horno de grafito GBC Germin AA

2.3 Marco Legal

2.3.1 Constitución

Según la sección segunda acerca del ambiente sano 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.

Según la sección cuarta de recursos naturales Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico. Siendo los recursos naturales respetados independientemente del área en la que se encuentren, protegiendo la biota natural de los ecosistemas presentes en el Ecuador.

En cuanto al cuidado de los recursos agua y suelo, el Estado garantizará su protección según lo estipulado en la sección sexta acerca de agua art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Y gestión del mismo, art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua, será responsable de su 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. En cuanto al suelo la sección quinta art. 409 habla 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.

2.3.2 Acuerdo Ministerial 097

Enfocando en agua, suelo y sedimentos en cuanto al análisis del estudio se considera relevante el acuerdo ministerial 097-A vigente desde noviembre del 2015 reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria libro VI.

Referente al recurso agua se tiene la tabla I de las norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes anexo uno, tabla dos de los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario (Tabla II).

Tabla II Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario.

TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACION DE LA VIDA ACUATICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arséni co	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmí o	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01
Ci nc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Mangane s o	Mn	mg/l	0,1	0,1
Mate ri a flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	piretroides totales Organoclorados totale s	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Sel e ni o	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condicion natural	-

⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l
⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce
⁽³⁾ Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l

Cabe mencionar, que para sedimentos no existe una norma técnica ecuatoriana que permita comparar los resultados obtenidos del estudio.

En cuanto a suelo, se considera la tabla III de criterios de calidad de suelo de la tabla número uno de criterios de calidad de suelo vigente para parámetros inorgánicos.

Tabla III Criterios de calidad de suelo

Parámetros inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60

2.3.3 RAOH- Decreto Ejecutivo 1215

Según se decretó, la tabla 4 representa los 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 lavado y mantenimiento de tanques y vehículos. 4.a) límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas). 4.b) límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor (inmisión).

Tienen que cumplirse los límites establecidos en los dos puntos; quiere decir que si el efluente cumple con los límites establecidos pero en el punto de control se sobrepasan los límites, tienen que tomarse las respectivas medidas para disminuir los valores en el efluente hasta cumplir con la calidad exigida en el punto de control tabla IV.

Tabla IV Inmisión

b) INMISIÓN (punto de control en el cuerpo receptor)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible ¹⁾	Promedio anual ²⁾	Aplicación
Temperatura ⁴⁾		°C	+3°C		General
Potencial hidrógeno ⁵⁾	pH	---	6.0<pH<8.0	6.0<pH<8.0	General
Conductividad eléctrica ⁶⁾	CE	µS/cm	<170	<120	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<0.5	<0.3	General
Demanda química de oxígeno ⁷⁾	DQO	mg/l	<30	<20	General
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.0003	<0.0002	General

⁴⁾ A una distancia o en un radio de 300 metros, comparado con un punto representativo en el cuerpo receptor aguas arriba a la entrada del efluente

⁵⁾ De presentar el cuerpo receptor un pH natural menor a los límites establecidos, se pueden disminuir los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente.

⁶⁾ De presentar el cuerpo receptor una conductividad eléctrica natural superior a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente.

⁷⁾ De presentar el cuerpo receptor una DQO natural superior a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente.

2.3.4 Normas internacionales para sedimentos

Al no contar con normativa para sedimentos, se decidió comparar valores con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, para humedales naturales para Ni teniendo un límite máximo permisible de 4 mg/kg y con la normativa Canadiense del año 2001 (Canadian Sediment Quality Guidelines) con un límite máximo permisible para Cd de 0,6 mg/kg. Cabe mencionar que también se correlacionó el fondo geoquímico, tomado en el centro de la laguna con los resultados obtenidos de los metales según la tabla V.

Tabla V Fondo geoquímico centro de la laguna

Metal Pesado	Fondo geoquímico (mg/kg)
Cadmio	0,54
Níquel	2

CAPITULO III

3 Metodología

El estudio se basó en el desarrollo de una línea base, que permitió mediante el uso de métodos in situ y en laboratorio la evaluación de los metales pesados cadmio y níquel, que podrían traer afectación por actividad extractiva de petróleo y agrícola a la Reserva Biológica Limoncocha en cuanto agua, suelos y sedimentos de la misma; para lo cual, se llevó a cabo como base la investigación de campo y soporte de información específica para su evaluación (figura 1 y tabla I).

3.1 Metodología de campo

3.1.1 Recolección de muestras de agua y sedimentos

El procedimiento de recolección de las muestras superficiales, se realizó en primera instancia con el reconocimiento del lugar de estudio, con la finalidad de establecer posibles puntos de muestreo del 26 al 28 de marzo del 2015. En esta salida de campo se determinaron los puntos en base a criterios de mayor potencial de contaminación por influencia antropogénica como manifiesta la figura 5.

Los puntos a considerar en la laguna fueron cinco, de los cuales se tomó muestras de agua y sedimento en cada sitio de la laguna de Limoncocha seleccionados (anexo 2), estos se ubicaron en: 1) entrada al “caño” (zona norte de la laguna) , 2) desembocadura del río Pishira (zona norte de la laguna), 3) desembocadura del río Playayacu (zona norte de la laguna) , 4) zona más profunda de la laguna (zona occidental de la laguna) y 5) el Muelle (zona sur oeste de la laguna) .

En cuanto a los puntos de muestreo a considerar cerca de la laguna fueron tres ubicados en: 6) Río Napo (zona sur en referencia a la laguna), 7) Pishira (zona norte en referencia a

laguna) y 8) Playayacu (zona norte en referencia a laguna). Cabe mencionar que estos sitios fueron geo posicionados mediante un GPS marca Garmin.

El muestreo dio inicio en el mes de abril del 2015 al mes de abril del 2016, con un total de recolección de 160 muestras en diez salidas de campo realizadas.

En los ocho puntos de agua seleccionados, se midió in situ pH, conductividad eléctrica y temperatura. En cuanto a la recolección de agua se utilizaron envases de plástico de un Litro, se homogenizó el envase con el agua de la laguna y se procedió a tomar la muestra hasta el tope, sin dejar burbujas de aire en el envase. Para la recolección de las muestras de sedimento, se utilizó un nucleador de acero inoxidable tipo “core sampler” de 350 mm de longitud y un diámetro de 50 mm, dichas muestras colectadas fueron almacenadas individualmente en fundas ziploc (fundas de polietileno con cierre hermético) de mediano tamaño.

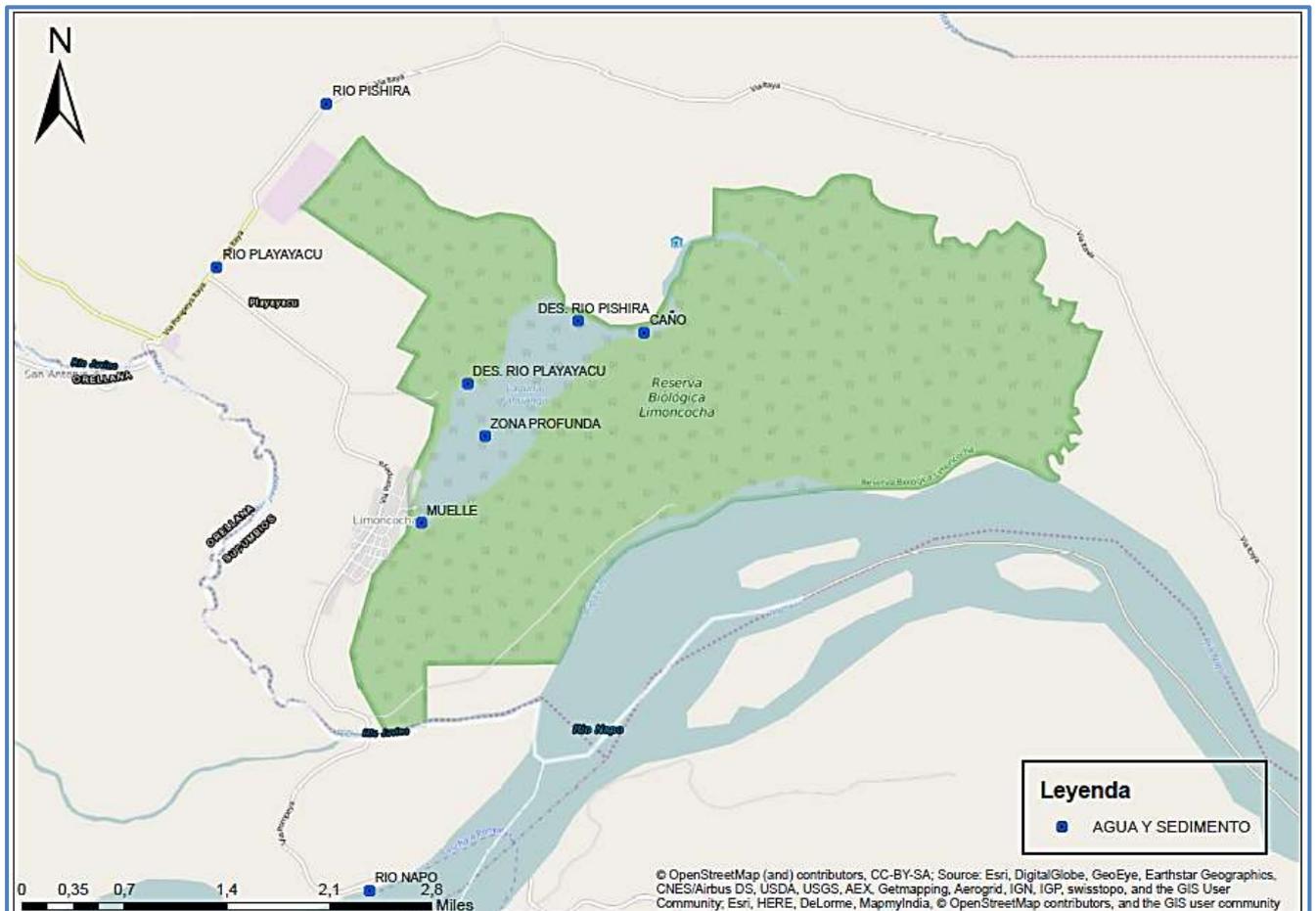


Figura 5 Ubicación Puntos de muestreo aguas y sedimentos



Figura 6 Recolección de muestra de agua



Figura 7 Toma de parámetros hidroquímicos in-situ

3.1.2 Recolección de muestras suelo

Para el procedimiento de recolección de las muestras de suelo, al igual que de aguas y sedimentos, se realizó en primera instancia el reconocimiento del lugar de estudio, con la finalidad de establecer posibles puntos de muestreo del 26 al 28 de marzo del 2015, con el criterio de mayor y menor potencial de contaminación por influencia antropogénica.

Los puntos escogidos según la figura 8 para el muestreo de suelos (anexo 2) fueron seis: 1) Pozo antiguo (zona sur en referencia a la laguna), 2) Pozo Laguna (zona suroeste en referencia a la laguna), 3) Pozo Jivino B (zona noreste en referencia a la laguna), 4) Instituto (zona noreste en referencia a la laguna), 5) la estación científica de la RBL (zona sur oeste en referencia a la laguna) y 6) el sendero “El Caimán” como punto blanco (zona norte en referencia a la laguna).

El muestreo dio inicio en la misma fecha que se tomó las muestras de aguas y sedimento, con un total de recolección de 60 muestras en diez salidas de campo realizadas. En su recolección se utilizó un barreno y el material recolectado se almacenó en fundas ziploc (fundas de polietileno con cierre hermético).

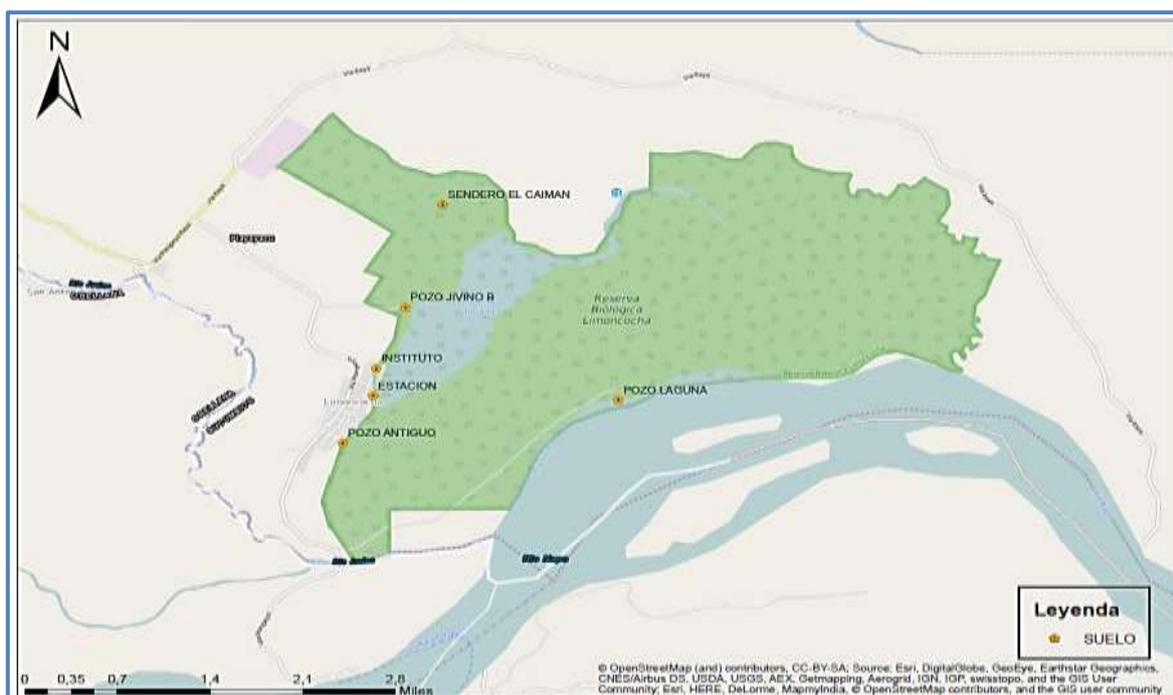


Figura 8 Ubicación Puntos de muestreo Suelos



Figura 9 Recolección muestra de sedimento



Figura 10 Recolección muestra de suelo

3.2 Metodología de laboratorio

3.2.1 Pre-tratamiento de las muestras

Para la conservación de las muestras de agua, se añadió 5 mL de Ácido Nítrico y se refrigeró hasta la realización del ensayo de digestión de metales por Ácido Nítrico.

Las muestras de suelo y sedimentos fueron secadas a 105 °C en una estufa eléctrica, durante 24 horas, luego fueron pulverizadas en un mortero de porcelana y pesados 1g de muestra para su utilización en el ensayo de digestión.

3.2.2 Procedimiento de Digestión de las muestras

3.2.2.1 Digestión Aguas

Para la determinación de metales pesados en aguas muestreadas en la laguna de Limoncocha, se seleccionó el método: APHA AWWA WEF STANDARD METHOD 3030 E “Digestión de metales por Ácido Nítrico en aguas”.

El procedimiento seguido consistió, en tomar 100 mL de muestra de agua y colocarla en un vaso de precipitación de 500 mL, se añadió 5 mL de Ácido Nítrico y se dejó en el plato de calentamiento a 105 °C, hasta que se evapore obteniendo un volumen final de aproximadamente 10 a 20 mL. A continuación, se aforó a 100 ml con agua destilada en un matraz aforado y se refrigeró la muestra obtenida de la digestión hasta su posterior lectura de los metales pesados en el horno de Grafito.



Figura 11 Digestión de aguas

3.2.2.2 Digestión Suelos y Sedimentos

Para la determinación de metales pesados en suelos y sedimentos muestreados en la RBL, se seleccionó el método: EPA 3050B “Acid Digestion Of Sediments, Sludges, And Soils”.

El procedimiento seguido consistió en pesar un gramo de suelo o sedimento seco, el mismo se colocó en un erlenmeyer de 250 mL al cual se añadió 5 mL de agua destilada y 5mL de ácido nítrico. Se procedió a realizar un sistema de reflujo abierto, calentándolo a ebullición por 10 minutos, luego se adicionó 5 mL de peróxido de hidrógeno al 30 % cada 5 minutos hasta que la muestra no cambie de color y cese el “burbujeo”.

Utilizando un embudo y papel filtro, se procedió a filtrar la muestra y aforó a 100 mL con agua destilada en un matraz aforado de 100 mL. La muestra obtenida de la digestión se refrigeró hasta su posterior lectura de los metales deseados en el espectrofotómetro de Absorción Atómica con horno de Grafito para concentraciones en ppb, o bien en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama, para determinaciones de concentraciones en ppm; cabe mencionar que previo al análisis se debe realizar estándares que permitan determinar la absorbancia directamente proporcional a su concentración, independientemente de cada metal (anexo 3) .Estos datos permitieron establecer índices de contaminación de la laguna, utilizando los valores máximos establecidos por la ley ecuatoriana vigente.

Las concentraciones obtenidas, se compararon con el acuerdo ministerial 097, anexo 1 en cuanto a suelo con la tabla 1 de criterios de calidad de suelo de parámetros inorgánicos y para aguas la tabla 2 de criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios .

Al no contar con normativa para sedimentos, se decidió comparar valores con la Normativa Oficial Mexicana de 1996 para humedales naturales y con la normativa Canadiense del año 2001 (Canadian Sediment Quality Guidelines). Cabe mencionar que también se analizó el fondo geoquímico de la laguna, tomando la muestra en el centro de la misma, este resultado se relacionó con los datos obtenidos de los metales.

El diseño experimental estadístico utilizado para aguas, fue la matriz de correlación entre temperatura, pH, conductividad eléctrica y los metales de forma individual. En cuanto a los parámetros hidroquímicos, al ser multivariantes, se realizó análisis factoriales de tipo clúster con el fin de agrupar y reducir variables.

Los resultados obtenidos de los metales en las muestras de agua, suelo y sedimento fueron analizados con la ayuda del programa PAST (2001) utilizando ANOVA, análisis estadístico y diagrama de caja y bigotes.

El análisis de variación multitemporal y la correlación con el límite máximo permitido por ley, se realizó mediante el uso de gráficas de barras inteligentes en Excel con línea de tendencia para comparar las variaciones existentes entre los meses y la concentración en cada punto de muestreo en agua, suelo y sedimentos con respecto a las muestras tomadas en abril del 2015 hasta abril del 2016.



Figura 12 Secado en estufa de sedimentos y suelos



Figura 13 Digestión de sedimentos y suelos

3.3 Cálculos

Para determinar la concentración de los metales bario, cadmio, cobalto, cromo y níquel en agua se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración (mg/ kg)} = \text{Lectura} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \times \frac{1\text{mL}}{1\text{g}} \times \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}}$$

Ecuación N^o1

Para determinar la concentración de los metales bario, cadmio, cobalto, cromo y níquel en suelos y sedimentos se partió de la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración (mg/ kg)} = \frac{\text{Lectura} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \times \text{Volumen de aforo (mL)}}{\text{Peso de la muestra (g)} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}}$$

Ecuación N^o2.

Obteniendo por simplificación la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración (mg/ kg)} = \frac{\text{Lectura } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \text{Volumen de aforo (mL)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Ecuación N^o3.

Para validar las hojas de cálculo con dicha ecuación se realizaron tres hojas diferentes con los mismos valores, comprobando así los cálculos obtenidos.

Los datos obtenidos de las muestras de aguas, suelos y sedimentos, se clasifican en tres hojas diferentes de Microsoft Excel correspondientes a cada parámetro medido; luego se clasificaron y se agruparon de acuerdo al punto de muestreo y finalmente se registraron en tablas.

En cuanto al peso de la muestra y su análisis en el horno de grafito, de igual forma se tabula según el metal a analizar de las diferentes muestras, para proceder con el cálculo mediante el uso de las ecuaciones planteadas anteriormente, con el fin de evaluar los cálculos obtenidos con normativa vigente.

A partir de estos datos tabulados, se generaron gráficos que permitan visualizar tendencias, comportamientos o correlaciones entre los parámetros medidos y también en relación con los sitios de la laguna donde fueron recolectadas las muestras.

CAPÍTULO IV

4 Resultados y discusión de resultados.

4.1 Datos obtenidos

In situ se obtuvieron los datos de diez salidas de campo de los parámetros hidroquímicos muestreados en cada punto de agua, permitiendo conocer la variación multitemporal de los mismos.

Los datos primarios de los equipos utilizados dieron como resultado valores en ppm y ppb respectivamente del equipo usado para analizar. Los datos obtenidos de los metales, fueron transformados a ppm para su estudio. Cabe mencionar que los valores obtenidos para suelo y sedimento se transformaron a mg/kg y se usó ppm en aguas para la realización de los respectivos análisis (Tabla VI).

Además, se utilizaron valores de precipitación tomados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en la estación Nuevo Rocafuerte, siendo esta la más cercana a la RBL; para realizar su respectiva correlación con los valores obtenidos de los metales (anexo 4).

Tabla VI Resultados analíticos de los parámetros hidroquímicos y metales analizados

Recurso	Punto	Mes Muestreo	Temperatura °C	pH	Conductividad µs/cm	Cd (ppm)	Ni (ppm)
AGUAS	Caño	Abril	28,6	6,71	83,5	0,001	0,012
		Junio	27,5	8,22	85,2	0,005	0,021
		Septiembre	28,9	7,13	113,7	0,002	0,044
		Octubre	29,4	7,18	113,1	0,011	0,022
		Noviembre	29,7	7,5	104,9	0,012	0,028
		Diciembre	29,8	9,02	112,9	0,014	0,012
		Enero	31,4	9,05	165,9	0,013	0,012
		Febrero	28,9	8,84	186,9	0,012	0,048
		Marzo	27,6	8,06		0,004	0,013
		Abril	29,4	7,97	190,7	0,006	0,118
	Desemboca dura	Abril	30,1	9,39	91,5	0,002	0,054
		Junio	27,7	8,44	90	0,004	0,012
		Septiembre	28,5	4,52	125,4	0,002	0,068

Pishira	Octubre	30	8,94	115,3	0,009	0,007
	Noviembre	30	8,5	111,5	0,011	0,021
	Diciembre	29,1	9,14	116	0,014	0,021
	Enero	31,8	9,24	171,9	0,013	0,016
	Febrero	27,7	8,73	180,5	0,013	0,031
	Marzo	27,6	8,51		0,004	0,063
	Abril	30,1	8,94	206,3	0,004	0,109
Desemboca dura Playa Yacu	Abril	30,1	9,3	90,4	0,001	0,057
	Junio	27,9	8,61	87,4	0,008	0,018
	Septiembre	28,9	5,06	126,9	0,002	0,022
	Octubre	29,6	9	128,9	0,009	0,034
	Noviembre	32	9,11	126,9	0,012	0,023
	Diciembre	29,4	8,99	119	0,013	0,023
	Enero	31,2	9,04	218	0,012	0,044
	Febrero	27,6	8,29	215	0,013	0,054
	Marzo	28,05	7,67		0,004	0,061
	Abril	30	8,31	261	0,003	0,066
Zona más profunda laguna	Abril	31,3	9,5	89,6	0,002	0,059
	Junio	27,7	8,53	86	0,007	0,015
	Septiembre	29,4	5,28	113,7	0,001	0,029
	Octubre	28,3	8,57	120,4	0,009	0,044
	Noviembre	31,6	9,15	112,8	0,012	0,010
	Diciembre	29,6	9,07	116,9	0,014	0,015
	Enero	32	9,27	201,7	0,013	0,000
	Febrero	28,6	9,18	209,9	0,013	0,022
	Marzo	29,1	7,54		0,004	0,046
	Abril	31,5	9,31	210	0,003	0,046
Muelle	Abril	30,8	9,6	91,7	0,001	0,042
	Junio	26,5	8,04	84	0,006	0,005
	Septiembre	28,3	4,46	107,8	0,001	0,044
	Octubre	30,3	8,7	119,1	0,009	0,053
	Noviembre	32,3	8,94	109,7	0,012	0,029
	Diciembre	32	9,02	116,4	0,014	0,020
	Enero	32	8,75	180,2	0,014	0,037
	Febrero	28,8	8,09	218	0,012	0,011
	Marzo	30,8	8,46		0,004	0,067
	Abril	32,1	9,18	200,3	0,006	0,044
Río Napo	Abril	29,4	9,6	93,8	0,001	0,080
	Junio	20,2	7,23	79,2	0,003	0,026
	Septiembre	25,5	5,24	89,9	0,001	0,043
	Octubre	24,8	7,55	92,2	0,009	0,075
	Noviembre	26,9	7,52	100,8	0,011	0,007

SEDIMENTOS		Diciembre	25,2	7,11	93,1	0,013	0,028	
		Enero	29,5	7,09	100,7	0,012	0,025	
		Febrero	23,2	7,01	100,7	0,012	0,022	
		Marzo	24,4	6,89		0,005	0,150	
		Abril	25,4	6,78	83,6	0,003	0,04	
	Río Pishira	Abril	25,1	7,2	102,9	0,002	0,083	
		Junio	25,1	6,88	87,7	0,004	0,026	
		Septiembre	26,7	5,23	131,8	0,002	0,071	
		Octubre	25,4	7,26	125,1	0,003	0,068	
		Noviembre	26,7	7,52	94,2	0,017	0,02	
		Diciembre	24,9	6,93	125,4	0,013	0,025	
		Enero	26,3	7,1	142,6	0,013	0,065	
		Febrero	24,6	6,84	117,5	0,008	0,011	
		Marzo	25	6,64		0,004	0,061	
		Abril	17,3	6,75	132	0,004	0,047	
		Playa Yacu	Abril	23,3	7,44	71,8	0,001	0,03
			Junio	24,6	6,82	108,4	0,005	0,04
			Septiembre	24,4	4,78	132,1	0,005	0,073
	Octubre		27	6,96	124,9	0,011	0,021	
	Noviembre		27,1	7,18	116	0,024	0,017	
	Diciembre		25,5	6,85	136,4	0,013	0,022	
	Enero		28	6,73	140,1	0,013	0,031	
	Febrero		27	6,79	131,4	0,012	0,013	
	Marzo		25,7	6,33		0,004	0,045	
	Abril		23,5	6,65	139	0,004	0,068	
	Caño		Abril				N.D.	0,080
		Junio				0,001	0,103	
		Septiembre				0,007	0,066	
		Octubre				0,005	0,106	
		Noviembre				0,015	0,124	
		Diciembre				0,011	0,104	
		Enero				0,014	0,096	
Febrero					0,018	0,085		
Marzo					0,013	0,203		
Abril					0,004	0,120		
Desemboca dura Pishira		Abril				0,001	0,098	
		Junio				0,001	0,055	
		Septiembre				0,006	0,128	
		Octubre				0,009	0,073	
		Noviembre				0,017	0,163	
		Diciembre				0,017	0,156	
		Enero				0,014	0,147	

	Febrero				0,018	0,142	
	Marzo				0,012	0,181	
	Abril				0,01	0,142	
Desemboca dura Playa Yacu	Abril				N.D.	0,061	
	Junio				0,001	0,010	
	Septiembre				0,012	0,055	
	Octubre				0,005	0,067	
	Noviembre				0,018	0,050	
	Diciembre				0,023	0,093	
	Enero				0,013	0,132	
	Febrero				0,019	0,103	
	Marzo				0,011	0,198	
	Abril				0,008	0,121	
	Zona más profunda laguna	Abril				*	*
		Junio				*	*
Septiembre					0,002	0,131	
Octubre					*	*	
Noviembre					0,003	0,013	
Diciembre					0,014	0,111	
Enero					0,02	0,153	
Febrero					0,012	0,137	
Marzo					0,021	0,221	
Abril					0,016	0,149	
Muelle		Abril				0,009	0,093
		Junio				*	*
	Septiembre				0,007	0,037	
	Octubre				0,006	0,009	
	Noviembre				0,017	0,083	
	Diciembre				0,021	0,101	
	Enero				0,021	0,124	
	Febrero				0,017	0,118	
	Marzo				0,015	0,150	
	Abril				0,008	0,073	
	Río Napo	Abril				N.D.	0,015
		Junio				0,001	0,064
Septiembre					0,002	0,063	
Octubre					0,002	0,086	
Noviembre					0,015	0,059	
Diciembre					0,005	0,083	
Enero					0,022	0,083	
Febrero					0,01	0,083	
Marzo					0,014	0,177	

SUELOS	Río Pishira	Abril				0,011	0,076
		Abril				N.D.	0,031
		Junio				0,002	0,076
		Septiembre				0,004	0,026
		Octubre				0,001	0,033
		Noviembre				0,011	0,052
		Diciembre				0,02	0,053
		Enero				0,016	0,114
		Febrero				0,009	0,086
		Marzo				0,012	0,248
		Abril				0,008	0,125
		Abril				N.D.	0,053
	Junio				0,01	0,084	
	Septiembre				0,003	0,088	
	Octubre				0,001	0,074	
	Noviembre				0,006	0,073	
	Diciembre				0,015	0,051	
	Enero				0,016	0,024	
	Febrero				0,005	0,051	
	Marzo				0,006	0,114	
	Abril				0,004	0,116	
	Pozo Antiguo	Abril				*	*
		Junio				0,01	0,077
		Septiembre				0,011	0,194
		Octubre				0,004	0,034
		Noviembre				0,003	0,026
		Diciembre				0,004	0,083
		Enero				0,02	0,074
Febrero					0,007	0,131	
Marzo					0,007	0,072	
Abril					N.D.	0,194	
Pozo Laguna		Abril				*	*
		Junio				0,011	0,016
		Septiembre				0,006	0,082
		Octubre				0,003	0,045
		Noviembre				0,012	0,182
		Diciembre				0,004	0,081
	Enero				0,016	0,144	
	Febrero				0,012	0,091	
	Marzo				0,011	0,182	
	Abril				0,006	0,139	

Pozo Jivino B	Abril				*	*
	Junio				0,008	0,069
	Septiembre				0,003	0,059
	Octubre				0,001	0,025
	Noviembre				0,006	0,011
	Diciembre				0,003	0,042
	Enero				0,018	0,084
	Febrero				0,013	0,063
	Marzo				0,01	+
	Abril				0,006	+
	Instituto	Abril				*
Junio					0,008	0,070
Septiembre					0,012	0,076
Octubre					0,008	0,022
Noviembre					0,002	0,015
Diciembre					0,003	0,057
Enero					0,022	0,073
Febrero					0,011	0,052
Marzo					0,004	0,129
Abril					N.D.	0,201
Estación		Abril				*
	Junio				0,009	0,097
	Septiembre				0,006	0,086
	Octubre				0,007	0,054
	Noviembre				0,001	0,015
	Diciembre				0,006	0,040
	Enero				0,019	0,088
	Febrero				0,018	0,079
	Marzo				0,014	0,116
	Abril				0,013	0,152
	Sendero "El Caimán" Blanco	Abril				0,004
Junio					0,005	0,062
Septiembre					0,005	0,079
Octubre					0,003	0,028
Noviembre					0,002	0,060
Diciembre					0,005	0,059
Enero					0,018	0,067
Febrero					0,012	0,056
Marzo					0,011	0,128
Abril					0,01	0,104

* Mes no tomado. + Punto cerrado.

N.D. no detectable por el método utilizado

4.2 Cálculos de concentración en mg/kg

La comparación con la normativa y los datos obtenidos en agua, no necesitan transformación de unidades ya que se encuentra en ppm, en cuanto a suelos y sedimentos se realiza el siguiente cálculo para transformar de ppm (mg/L) a mg/ kg.

$$\text{Concentración (mg/ kg)} = \frac{\text{Lectura } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \text{Volumen de aforo (mL)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Ecuación N^o3.

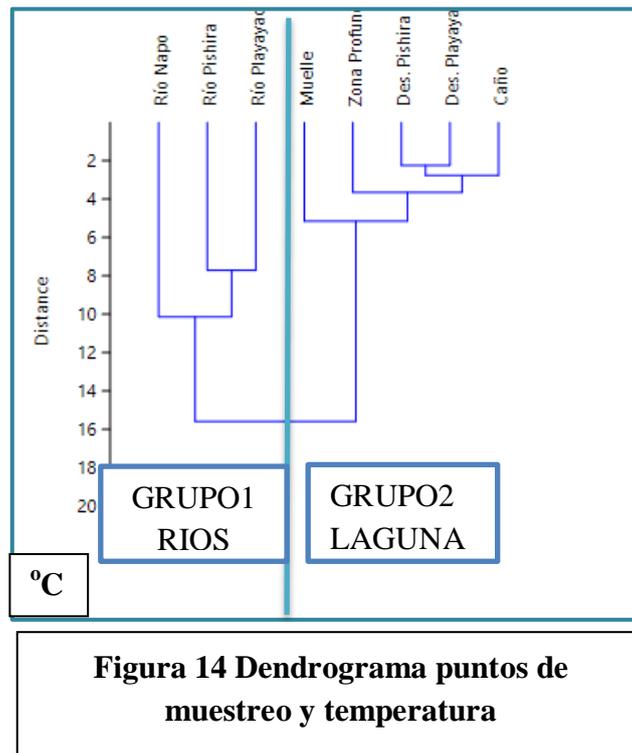
$$\text{Concentración Blanco Cd Junio (mg/ kg)} = \frac{\text{Lectura } \left(0,005\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \text{Volumen de aforo (100mL)}}{\text{Peso de la muestra (1g)}}$$

Concentración Blanco Cd Junio = 0,5 (mg/ kg)

4.3 Presentación y análisis de resultados

3.3.1 Análisis multivariado clúster de parámetros hidroquímicos.

En las figuras 14, 15 y 16, se puede notar claramente la relación que tienen los ríos y los puntos de la laguna, ya que se agrupan los datos de los parámetros hidroquímicos conforme a estos dos grandes grupos.



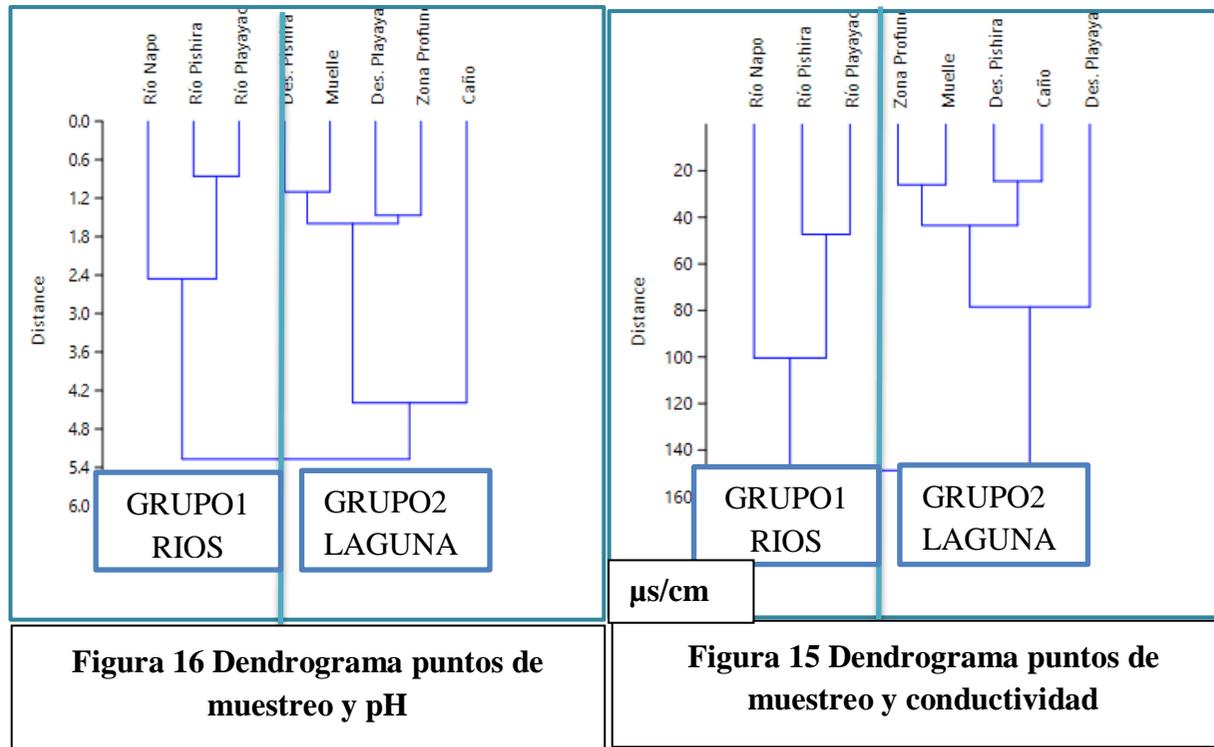


Figura 16 Dendrograma puntos de muestreo y pH

Figura 15 Dendrograma puntos de muestreo y conductividad

Como ejemplo de relación entre grupos, en la figura 14 se representa el dendrograma obtenido cuando se consideran solamente como variables los puntos de muestreo del agua. En él, se puede observar que aparecen dos grupos de variables claramente diferenciados. El grupo 1, señalado, engloba los ríos Napo, Pishira y Playayacu presenta dos subgrupos: el primero de ellos está formado por el río Napo y el segundo subgrupo está determinado por el río Pishira y Playayacu. El grupo 2, está constituido por los puntos de la laguna que se distribuyen a su vez en cuatro subgrupos, las desembocaduras que luego se unen a otro subgrupo con caño, que pasa a relacionarse en otro con zona profunda por un lado y finalizando con el subgrupo muelle. Estas relaciones varían con respecto al parámetro analizado, cabe mencionar que existe una gran similitud entre los grupos jerárquicos de los tres dendrogramas.

4.3.2 Análisis y Resultados del Cadmio.

4.3.2.1 ANOVA Cd (aguas, suelos y sedimentos)

Tabla VII Análisis de varianza Cd

ANOVA						
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p (significativo)
Agua	Inter-grupos	0,0018	9	0,0002	55,19	2,81E-28
	intra-grupos	0,0002	70	3,57E-06		
	Total	0,0020	79			
Sedimento		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p (significativo)
	Inter-grupos	28,30	9	3,14	21,47	6,97E-17
	intra-grupos	10,25	70	0,15		
	Total	38,55	79			
Suelo		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p (significativo)
	Inter-grupos	15,91	9	1,77	17,36	1,47E-12
	intra-grupos	5,09	50	0,10		
	Total	21,01	59			

La hipótesis establecida para aplicar el análisis estadístico, es aceptar o rechazar la variabilidad de los datos obtenidos de Cd que implica la variación multitemporal. De acuerdo con el análisis de varianza, ANOVA (Tabla VII) de las concentraciones encontradas en agua, suelo y sedimentos, se presentaron diferencias significativas bajas $p < 0,05$ entre los datos estudiados del Cd lo que significa que la hipótesis nula, referente a los valores obtenidos se rechaza ya que las medias en todos los grupos son diferentes, por lo tanto, existe una variación multitemporal de los valores analizados en los diferentes puntos de muestreo.

4.3.2.2 Análisis de coeficiente de variación en Cd por puntos de muestreo

Los grados de dispersión según el coeficiente de variación de la tabla VIII, que determina el grado de dispersión de un conjunto de datos en función de los valores obtenidos de las medias, del conjunto de los datos resultantes tomados en los diez meses en los puntos de muestreo de agua, suelo y sedimentos, dieron como resultado porcentajes altos de variabilidad lo que significa que los valores de cada punto analizado no son homogéneos (anexo 5).

Tabla VIII Análisis coeficiente de variación datos Cd

Recurso	Coefficiente de	Caño	Des. Pishira	Des. Playayacu	Zona Profunda	Muelle	Río Napo	Río Pishira	Río Playa-yacu
	Variación								
Agua	CV	59,79	65,31	62,15	65,03		69,26	77,32	75,01
Sedimento	CV	73,81	61,28	68,95	68,37	67,91	91,52	80,48	82,43
		Pozo Anti-guo	Pozo Laguna	Pozo Jivino B	Instituto	Estación	Blanco		
Suelo	CV	83,08	67,87	91,8	96,42	69,88	74,8		

3.3.2.3 Diagrama de Caja y bigotes en puntos de muestreo (Cd).

Los diagramas de las figura 17,18 y 19 ayudan a ver la variabilidad de los datos y valores atípicos que se tienen en cada punto de muestreo en aguas, sedimentos y suelos. En el diagrama de agua, se puede notar que las medianas de los puntos en su mayoría se encuentran en un mismo intervalo de aproximadamente de 0,009 ppm, también existe una clara dispersión de los valores en especial del río Playayacu, con un valor máximo en su intervalo de normalidad de 0,024 ppm. En cuanto al sedimento se denota la dispersión de los datos en cada punto, con una mayor presencia del Cd en la desembocadura Playayacu. En la figura 19 de suelos se puede observar que las medianas se encuentran en un intervalo parecido entre ellas con una mayor presencia del metal en el pozo laguna e instituto, también existe la presencia de un valor atípico en el pozo antiguo, que sobrepasa el intervalo de normalidad establecido para ese punto. Cabe mencionar que los cambios por punto se pueden ser por la realización de alguna actividad antropogénica en el punto de muestreo.

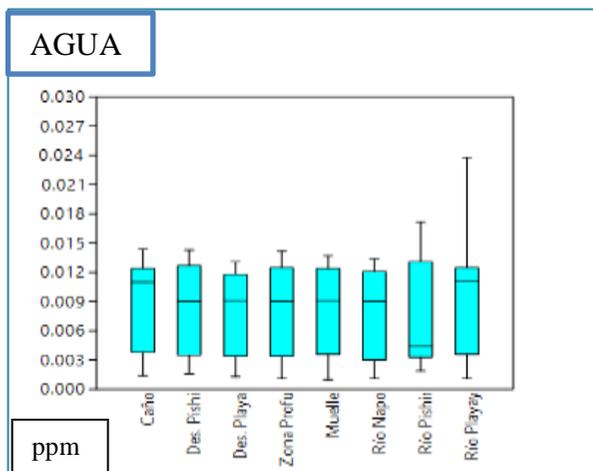


Figura 19 Diagrama de caja y bigotes de agua (Cd)

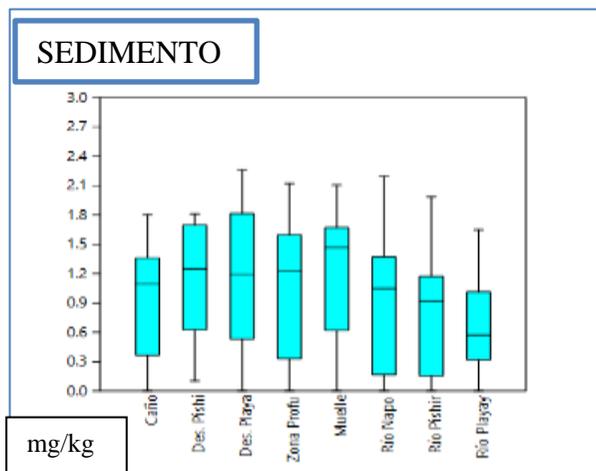


Figura 18 Diagrama de caja y bigotes de sedimento (Cd)

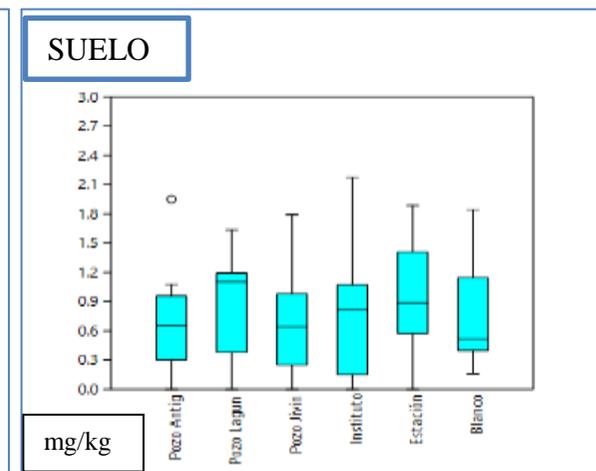
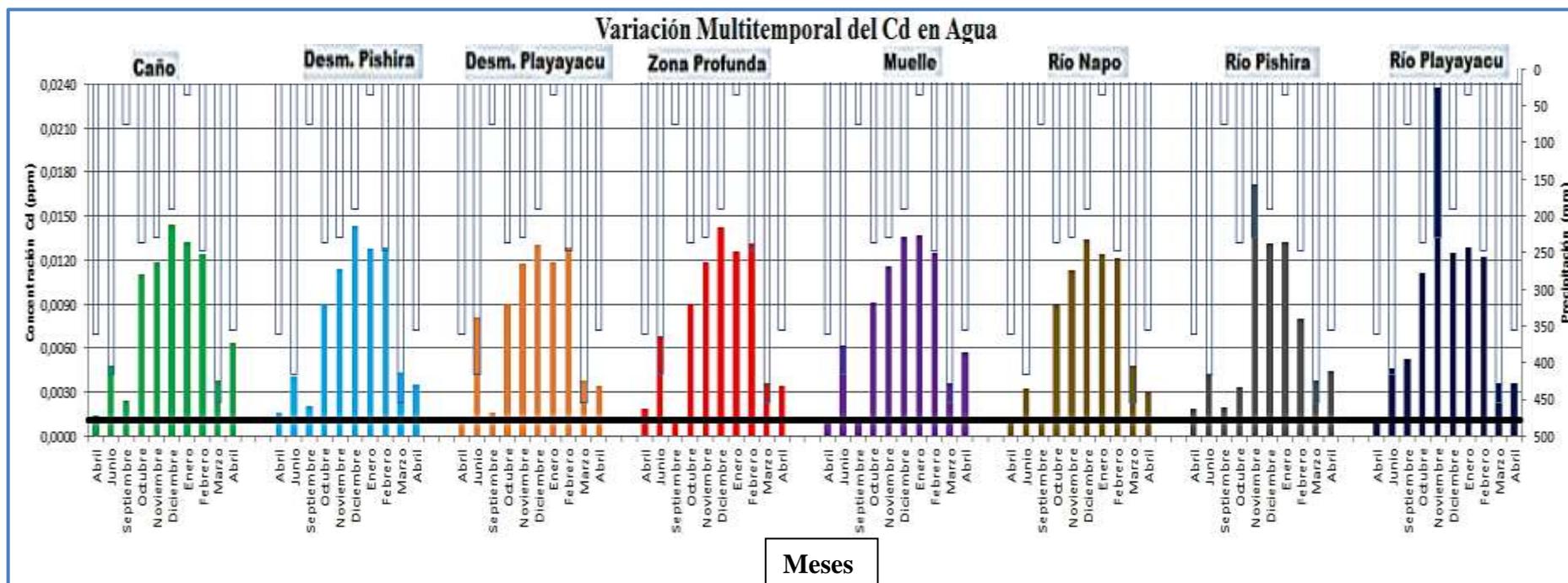


Figura 17 Diagrama de caja y bigotes de suelo (Cd)

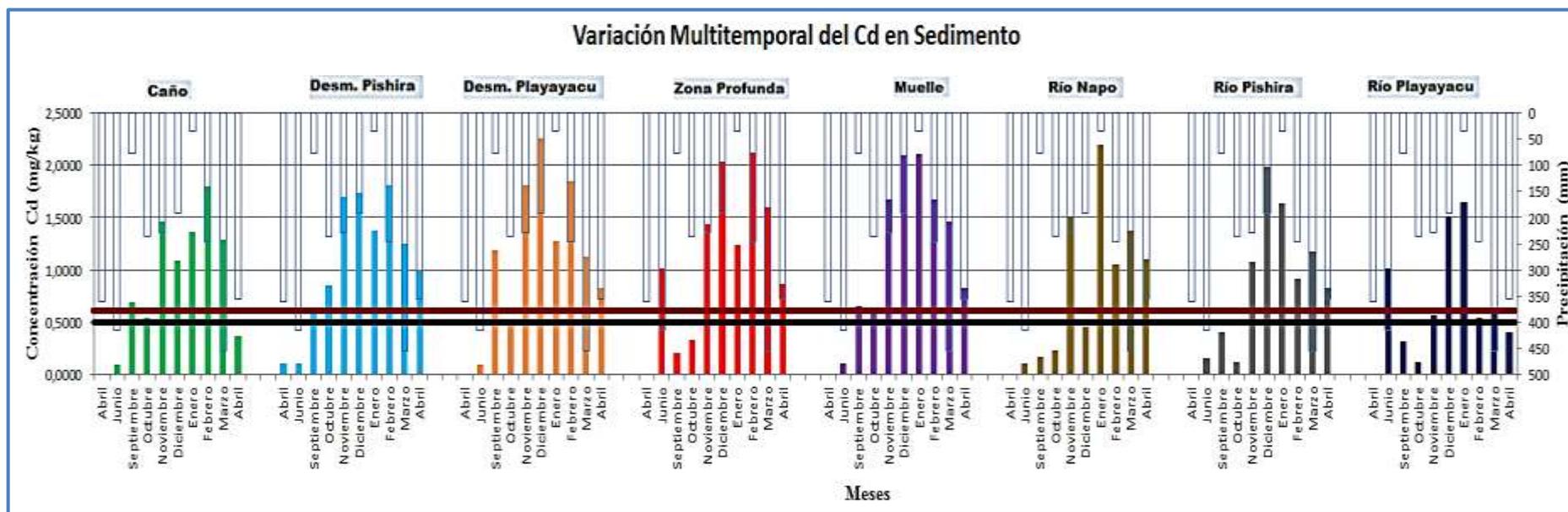
4.3.2.4 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de agua.



Límite Máximo Permisible = 0,001 ppm

Figura 20 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de agua.

4.3.2.5 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de sedimento.

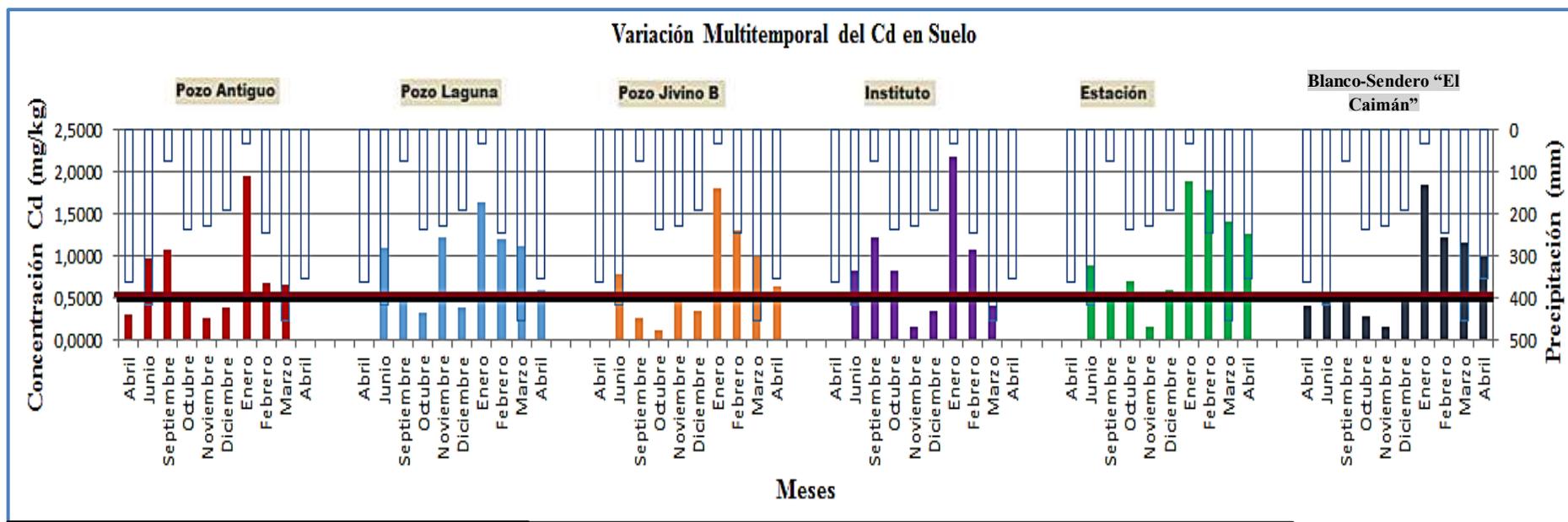


Límite Máximo Permissible (Fondo geoquímico) = 0,5 mg/kg

Límite Máximo Permissible (Canadian) = 0,6 mg/kg

Figura 21 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de sedimento.

4.3.2.6 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de suelo.



Límite Máximo Permisible = 0,5 mg/kg **Límite Máximo Permisible (Fondo geoquímico) = 0,5 mg/kg**

Figura 22 Variación multitemporal del Cd vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de suelo.

En las figuras 20, 21 y 22 sobre la variación multitemporal de los datos obtenidos del Cd por punto de muestreo y el límite máximo permitido sobrepasan los datos en la mayoría de las áreas muestreadas teniendo valores que varían temporalmente, esto se puede deber a actividades antropogénicas y a la variación de precipitación mostradas en las figuras ; en donde se tiene que en los meses de marzo y abril del 2016, según datos tomados del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en la estación Nuevo Rocafuerte siendo esta la más cercana a la RBL, se denota alta presencia de lluvias, por lo cual los valores obtenidos del metal en estos meses son menores en comparación con el mes de enero, ya que la lluvia permitió la movilidad del cadmio.

4.3.3 Análisis y Resultados del Níquel.

4.3.3.1 ANOVA Ni (aguas, suelos y sedimentos)

Tabla IX Análisis de varianza Ni

ANOVA						
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p (significativo)
Agua	Inter-grupos	0,02	9	0,0027	5,46	1,15E-05
	intra-grupos	0,03	70	0,0005		
	Total	0,06	79			
Sedimento		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p (significativo)
	Inter-grupos	1197,32	9	133,04	9,24	4,37E-09
	intra-grupos	1008,09	70	14,40		
	Total	2205,41	79			
Suelo		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p (significativo)
	Inter-grupos	691,30	9	76,81	3,94	0,0007663
	intra-grupos	974,50	50	19,49		
	Total	1665,81	59			

La hipótesis establecida para aplicar el análisis estadístico es aceptar o rechazar la variabilidad de los datos obtenidos de Ni que implica la variación multitemporal. De acuerdo con el análisis de varianza ANOVA (Tabla IX), de las concentraciones encontradas en agua, suelo y sedimentos, se presentaron diferencias significativas bajas $p < 0,05$ entre los datos estudiados del Ni, lo que significa que la hipótesis nula se rechaza, ya que las medias en todos los grupos son diferentes, por lo tanto, existe la variación multitemporal de los valores analizados. Cabe mencionar que si el valor F resultado de la división de las dos medias cuadráticas de los inter e intra grupos es grande y el nivel de significancia es pequeño $< 0,05$, se puede determinar también el rechazo de la hipótesis nula.

4.3.3.2 Análisis de coeficiente de variación en Ni por puntos de muestreo

Tabla X Análisis coeficiente de variación datos Ni

Recurso	Coeficiente de variación	Caño	Des. Pishira	Des. Playayacu	Zona Profunda	Muelle	Río Napo	Río Pishira	Río Playayacu
Agua	CV	98,89	80,91	45,72	67,4	54,4	84,98	53,12	57,54
Sedimento	CV	34,56	31,6	59,37	88,62	63,01	51,22	79,33	40,01
		Pozo Antiguo	Pozo Laguna	Pozo Jívino B	Instituto	Estación	Blanco		
Suelo	CV	74,69	67,21	91,3	85,19	63,74	40,51		

Los grados de dispersión del conjunto de los datos resultantes tomados en los diez meses en los puntos de muestreo de agua, suelo y sedimentos (Tabla X), dieron como resultado en su mayoría porcentajes altos de variabilidad, por lo tanto, los valores independientemente de cada punto analizado, no son homogéneos (anexo 6).

4.3.3.3 Diagrama de Caja y bigotes en puntos de muestreo (Ni).

Si observamos las figuras 23,24 y 25 en los diagramas de agua, suelo y sedimento analizados por puntos de muestreo, se denota claramente diferencias moderadas entre sus medianas. En el agua, existe una gran dispersión de valores por puntos, con gran cantidad de níquel en el Río Napo cuya mediana es de 0,034 ppm; los valores mínimo y máximo, son 0,007 y 0,15 ppm; como los datos experimentales de las muestras se hallan dentro de los límites, podemos afirmar que no existen datos con valores atípicos.

En sedimentos, los puntos que tiene más presencia de Ni son la desembocadura Pishira y Zona Profunda, con valor máximo de 22,1 mg/kg. Sin embargo, se puede observar valores que sobrepasan los máximos y mínimos de cada punto, los cuales son Caño, dos en Río Napo y Río Pishira con valores atípicos de 20; 1,17 y 25 mg/kg.

En suelo, la dispersión de los valores es variada teniendo la mayor cantidad de Ni en Pozo Laguna. Sin embargo, se puede observar valores que sobrepasan los intervalos de normalidad de cada punto, estos son Instituto y Blanco con valores atípicos de 20 y 12,8 mg/kg.

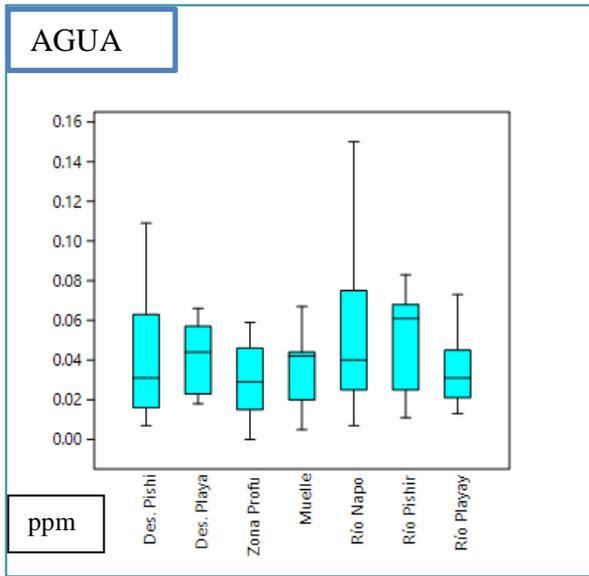


Figura 23 Diagrama de caja y bigotes de agua (Ni)

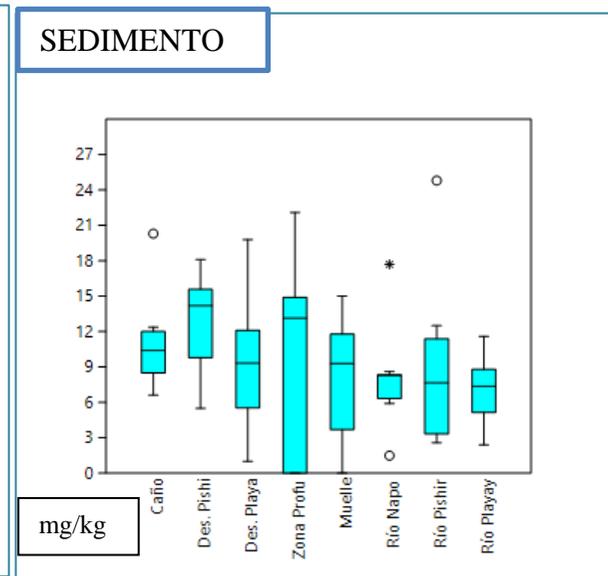


Figura 25 Diagrama de caja y bigotes de sedimento (Ni)

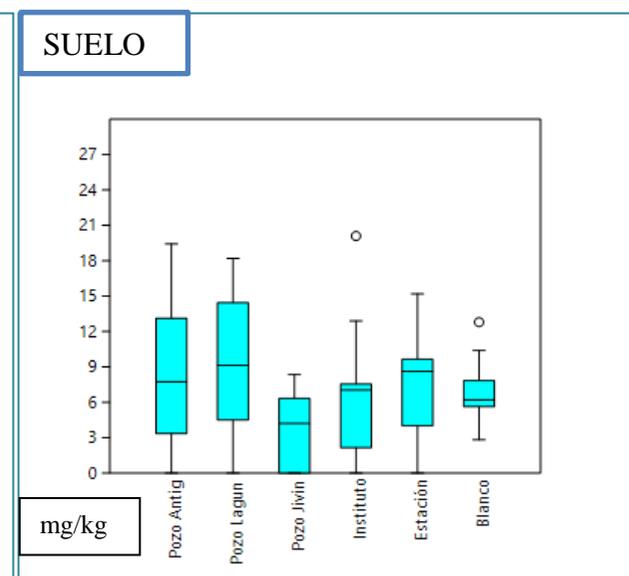
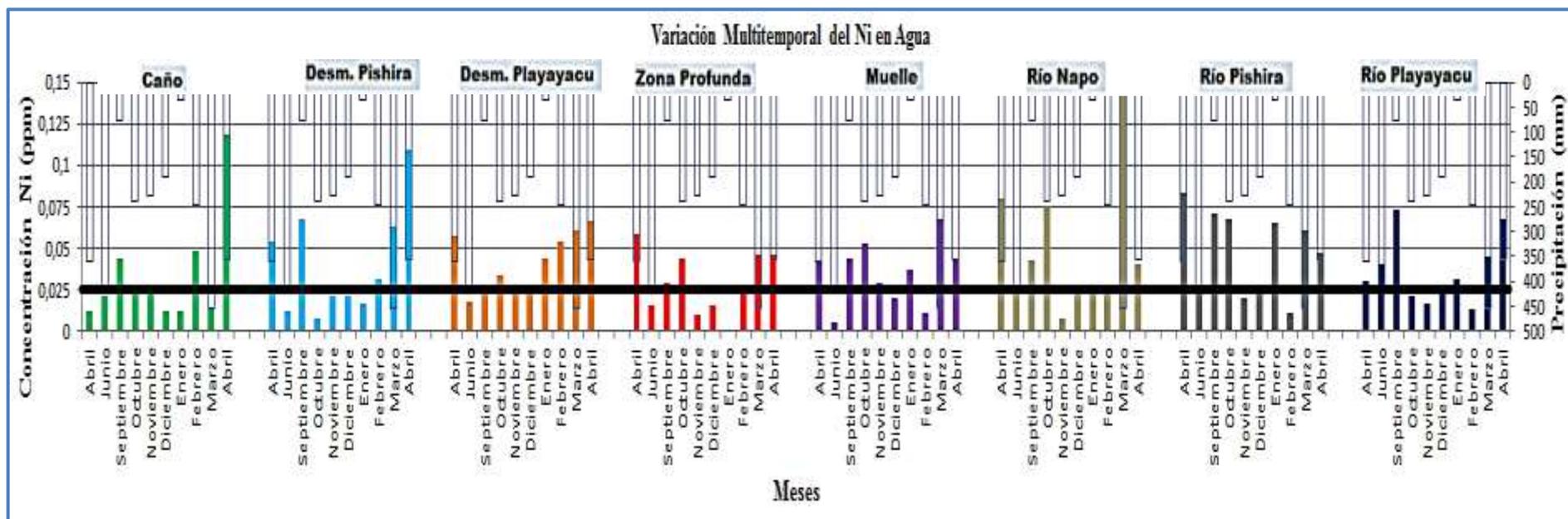


Figura 24 Diagrama de caja y bigotes de suelo (Ni)

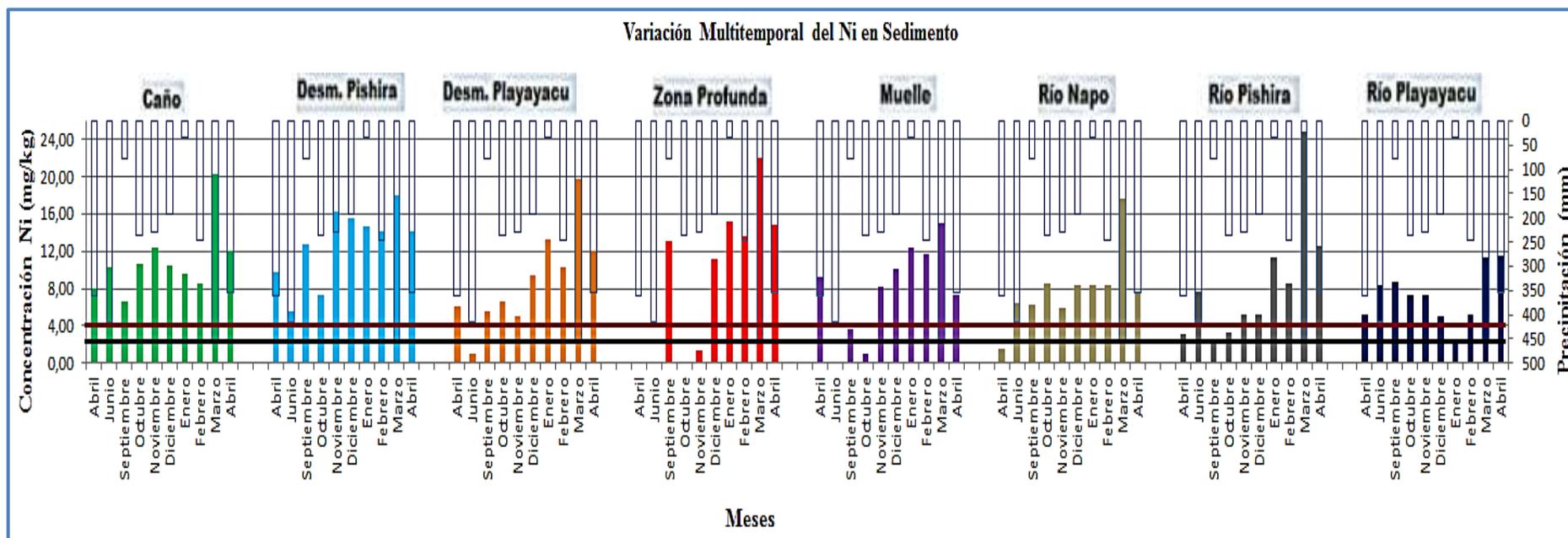
4.3.3.4 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de agua.



Límite Máximo Permissible = 0,025 ppm

Figura 26 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de agua

4.3.3.5 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de sedimento.

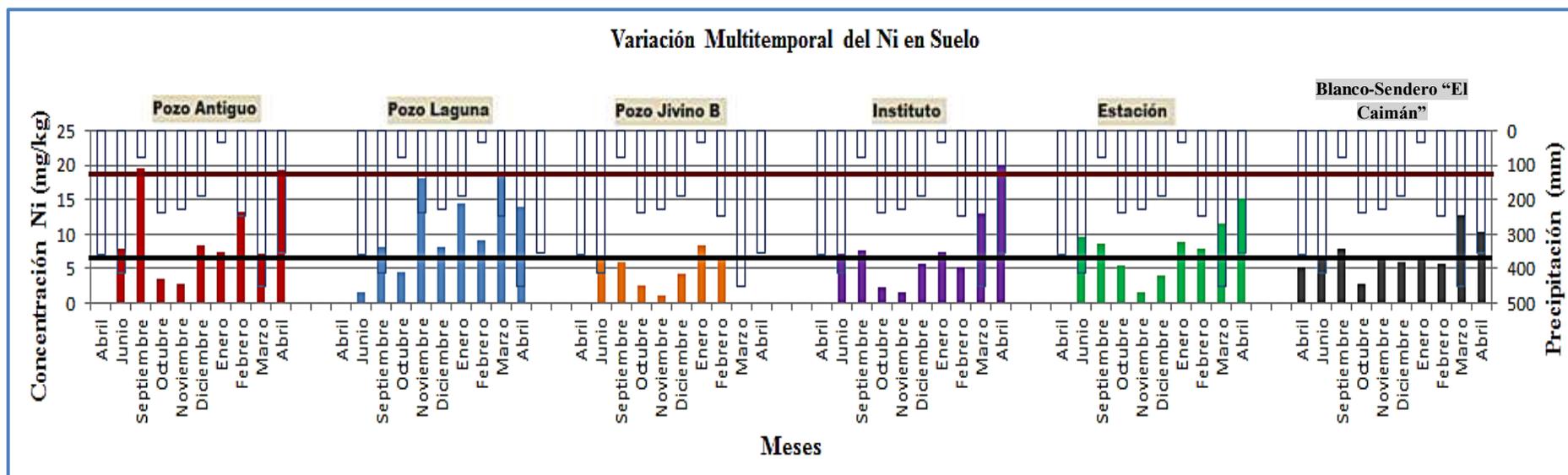


Límite Máximo Permissible NOM (1996) = 4 mg/kg

Límite Máximo Permissible (fondo geoquímico) = 2 mg/kg

Figura 27 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de sedimento.

4.3.3.6 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de suelo.



Límite Máximo Permisible = 19 mg/kg

Límite Máximo Permisible (fondo geoquímico) = 6,13 mg/kg

Figura 28 Variación multitemporal del Ni vs precipitación y comparación con el límite máximo permisible en los puntos de muestreo de suelo

En las figuras 26, 27 de aguas y sedimentos, la correlación con los datos obtenidos del Ni por punto de muestreo y el límite máximo permitido, sobrepasan los datos en la mayoría de las áreas muestreadas, existiendo una gran variación temporal, esto se puede deber a actividades antropogénicas y a la variación de precipitación mostradas en las figuras respectivamente; en donde se tiene que en los meses de marzo y abril del 2016 según datos tomados de la estación Nuevo Rocafuerte siendo esta la más cercana a la reserva, se denota alta presencia de lluvias, por lo cual, los valores obtenidos del metal en estos meses son mayores en comparación con los meses pasados, ya que la lluvia puede haber permitido aumentar la concentración del níquel por arrastre, debido a las emisiones antropogénicas presentes alrededor de la Reserva. Sin embargo, en la figura 28 de suelos, se observa que no sobrepasa los límites máximos permitidos por ley a excepción de un valor en el mes de abril del 2016 del instituto y en cuanto a la relación con la precipitación, se tiene una correlación diferenciada por punto tomado en donde varia notablemente la cantidad del Ni, conforme aumenta y disminuye la precipitación.

CAPÍTULO V

5 Conclusiones y recomendaciones.

5.1 Conclusiones

- La metodología desarrollada para monitorear y muestrear aguas, suelos y sedimentos en la RBL, resultó eficaz, ya que se pudo determinar la concentración de cadmio y níquel presente en los recursos de la Reserva. Por lo cual, estos datos servirán como aporte para la elaboración de una línea base que contribuya al proyecto de investigación de “Caracterización ambiental de la Laguna de Limoncocha: calidad y contaminación en aguas, suelos y sedimentos” de la Universidad Internacional SEK.
- El comportamiento de la laguna y los ríos es diferenciado significativamente según el método clúster analizado en los puntos de muestreo tomados en las 10 salidas de campo en función de los parámetros hidroquímicos tomados in situ.
- Los parámetros hidroquímicos analizados temporalmente en las muestras de agua superficial, dieron como resultado un cambio considerable en cuanto a temperatura en el mes de diciembre con 30 °C, en conductividad eléctrica se detectó un incremento en los meses de enero y febrero de 2016 con valores de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximadamente; y en pH en el mes de abril del 2015 y 2016 con valores de 8 a 9 tomados en las diez salidas de campo.
- Los parámetros hidroquímicos y las concentraciones del cadmio y níquel en agua, suelos y sedimentos, varían con el tiempo según el estudio realizado en los diez meses de análisis de datos obtenidos in situ y en las muestras de los puntos elegidos para la investigación.

- La variación notable de la presencia de los metales cadmio y níquel a lo largo del periodo de tiempo estudiado puede deberse al cambio existente de temperatura y precipitación en los meses analizados.
- El sendero “El Caimán” considerado como punto blanco para suelo se localiza en la zona de amortiguamiento de la reserva, pero cabe mencionar que las actividades antropogénicas se encuentra relativamente cerca del mismo, por lo cual este punto puede resultar influenciado por las mismas.
- La investigación demuestra que en la RBL, existe presencia de cadmio y níquel en concentraciones variables por lo cual por su alta toxicidad puede traer riesgo para la salud, no solo de los seres humanos, sino en general a la biodiversidad de este ecosistema.

5.2 Recomendaciones

- Ampliar el estudio, abarcando mayor temporalidad para poder establecer modelos que ayuden a predecir el comportamiento de los factores abióticos de la RBL.
- Continuar con el proyecto, tomando en cuenta como parámetro hidroquímico, el potencial redox, para comprobar si el estado de oxidación de los metales pesados analizados pueden influir en la toxicidad del mismo.
- Manejar los equipos utilizados para el estudio, con el debido conocimiento y práctica previa, para evitar cualquier falla en el momento del análisis de los metales pesados. Cabe mencionar la necesidad de que estos equipos se encuentren en perfecto estado y su respectivo mantenimiento.
- Realizar análisis para el proyecto de investigación de los metales Bario, Cobalto y Cromo, con el fin de analizar la presencia de los mismos por contaminación antropogénica.

- La falta de información sobre fondo geoquímico de la Amazonía ecuatoriana, permite recomendar un análisis mensual del mismo, con el fin de contribuir con datos reales para una posible creación de una normativa de límites máximos permitidos para sedimentos.
- Tomar en consideración la selección de otro punto blanco para comparación de datos con el sendero “El Caimán” punto blanco ya analizado de suelo, puesto que este se puede encontrar afectado por actividad antropogénica.
- La Reserva Biológica Limoncocha, al encontrarse expuesta a un potencial de contaminación, necesita de un análisis continuo, con una línea base como herramienta que permita ubicar la situación hidroquímica de la Reserva en términos de espacio, tiempo y afectación. Es por ello, que el estudio se debe complementar con el análisis de los mismos metales ya estudiados y otros metales bajo la misma metodología establecida.

CAPÍTULO VI

4 Referencias y bibliografía.

- Andrade, S. (2001). “Caracterización Limnológica de la laguna de Limoncocha. Tesis (Ingeniería Ambiental). Facultad de Ciencias Ambientales .Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Armas, María & Lasso, Sergio. (2011). “Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha”. SUIA. Ministerio del Ambiente.
- Ayala, Pamela. (2003). “Caracterización limnológica de la laguna de Limoncocha e identificación de las características hidrológicas básicas de la zona de Limoncocha. Facultad de Ciencias Ambientales .Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Bravo, Elizabeth. (2007). “Los Impactos De La Explotación Petrolera En Ecosistemas Tropicales Y La Biodiversidad”. Acción Ecológica. Pg. 11, 18, 19, 20. Recopilado el 3 de Marzo del 2015 de http://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- Buscio, V; Álvarez, M.D. & Gutiérrez M.C. (2009). “Determinación de metales pesados en tejidos mediante espectroscopia de absorción atómica con atomización electrotérmica”. Recopilado el 6 de Marzo del 2016 de <http://upcommons.upc.edu/>.
- Canadian Council of Ministers of de Environment. (2001). “Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables”.

- Cerda, David; Cerda, Sucre; Cerda, Jorge; Grefa, Jorge & Awak, Edwin. (2015). “Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial”. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Limoncocha. Administración 2014-2019. Recopilado el 3 de marzo del 2016 de <http://app.sni.gob.ec/>.
- Constitución de la República del Ecuador. Asamblea Constituyente.
- Contreras Pérez, José B.; Mendoza, Carmen Leticia; Gómez, Arismendis. (2004). “Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina”. Ciencia y Sociedad, Vol. 29, núm. 1. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Santo Domingo, República Dominicana.
- Cordovez, Beatriz. (1999). “Caracterización y evaluación de los suelos y sedimentos del sector y de la laguna de Limoncocha”. Facultad de Ciencias Ambientales .Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- De La Cruz-Landero, Nancy; Alderete, Ángel & Laffón Sandra. (2013). “Acumulación de metales pesados en sedimentos del ecosistema manglar en laguna de términos, Campeche, México”. Foresta Veracruzana . Recursos Genéticos Forestales Vol. 15, pp. 25-30 . Xalapa, México.
- Decreto Ejecutivo RAOH 1215, Registro Oficial No. 1 del 11 de Agosto de 1998.
- Gómez, Guillermina. (2005). “Estudio de los sedimentos de la laguna de Limoncocha”.
- Granizo, Fernando. (2011). “El estado trófico de la laguna de Limoncocha en el período (febrero 2010 – enero 2011)”. Facultad de Ciencias Ambientales .Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Gunnar, Nordberg. (2014). “Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad”. Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Parte IX. Productos químicos. Capítulo 63. Cuarta Edición. Pg. 2569- 2614.

- Hernández, C, 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”. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2016). “Series mensuales de datos meteorológicos estación Nuevo Rocafuerte”.
- Madera, Roberto. (2011). “Área de Estudio”. Monitoreo De Caimanes (Alligatorinae): Aplicación En Estudios Poblacionales En La Laguna De Limoncocha, Provincia De Sucumbíos. Trabajo de Fin de Carrera previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental. UISEK. Pg. 21-24.
- Ministerio del Ambiente. (2015). “Acuerdo Ministerial 097-A”. Edición especial.
- Montenegro, María Belén. (2015). “Valoración y gestión económico ambiental para la conservación de la reserva biológica Limoncocha, Shushufindi, Sucumbíos- Ecuador”. Facultad de Ciencias Ambientales .Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Mosquera, Mireya. (2014). “Desarrollo de un modelo de balance hídrico de la laguna de Limoncocha”. Facultad de Ciencias Ambientales .Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Nava, Concepción & Méndez Marisela. (2011). “Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)”. Arch Neurocién (Mex) INNN. Volumen 16. No.3. Pp 140-142. Méjico.
- Neira, Francisco; Gómez, Santiago & Pérez, Gloria. (2006). “Sostenibilidad de los usos de subsistencia de la biodiversidad en un área protegida de la Amazonia ecuatoriana: un análisis biofísico”. Ecuador Debate. Debate Agrario. Pg. 156, 157 y 158.

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996.
- Ordoñez, Carlos. (2013). “Caracterización Geoquímica De Sedimentos De La Laguna Limoncocha”. ”. Facultad de Ciencias Ambientales .Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Remache, Ana. (2013). “Validación de métodos para el análisis de metales en diferentes matrices por espectrofotometría de absorción atómica”. Tesis de grado para la obtención del título de ingeniera química. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Rodríguez, Florencia. (2013). “Cuantificación de cadmio, plomo y níquel en agua superficial, sedimento y organismo (*mytella guyanensis*) en los puentes portete y 5 de junio del estero salado (Guayaquil)”. Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del Título de Biólogo. Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias naturales, escuela de biología. Guayaquil, Ecuador.
- Toro, Patricia. (2013). “Determinación de los metales pesados Cobalto, Mercurio y Plomo en la represa Daule Peripa por medio de Espectrómetro de emisión atómica con fuente de Plasma de argón con Acoplamiento Inductivo”. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Yagnentkovsky, Nadia. (2011). “Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados”. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.

Anexo 2. Fotografías puntos de muestreo agua, suelo y sedimentos.



Figura 29 Punto 1 entrada al “Caño” de agua y sedimento.

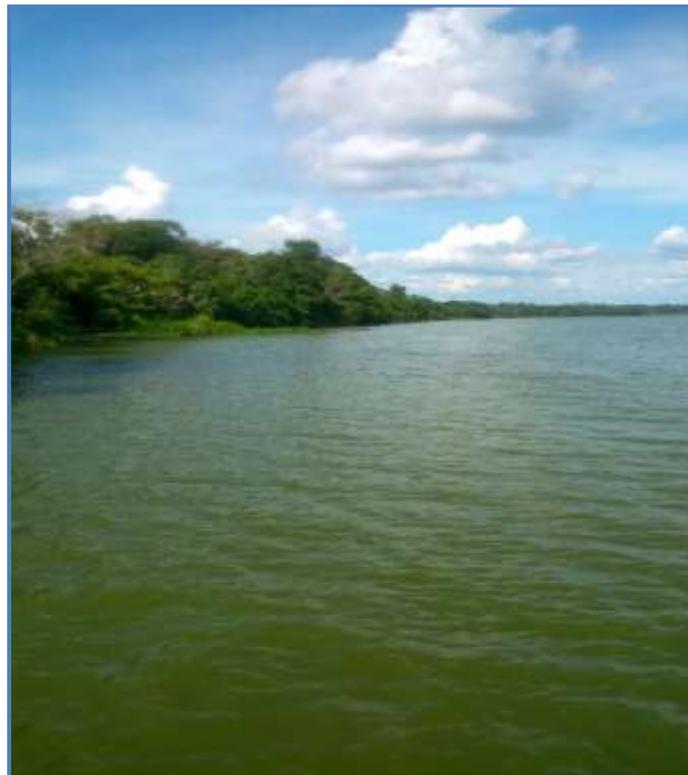


Figura 30 Punto 2 desembocadura del río Pishira de agua y sedimento.

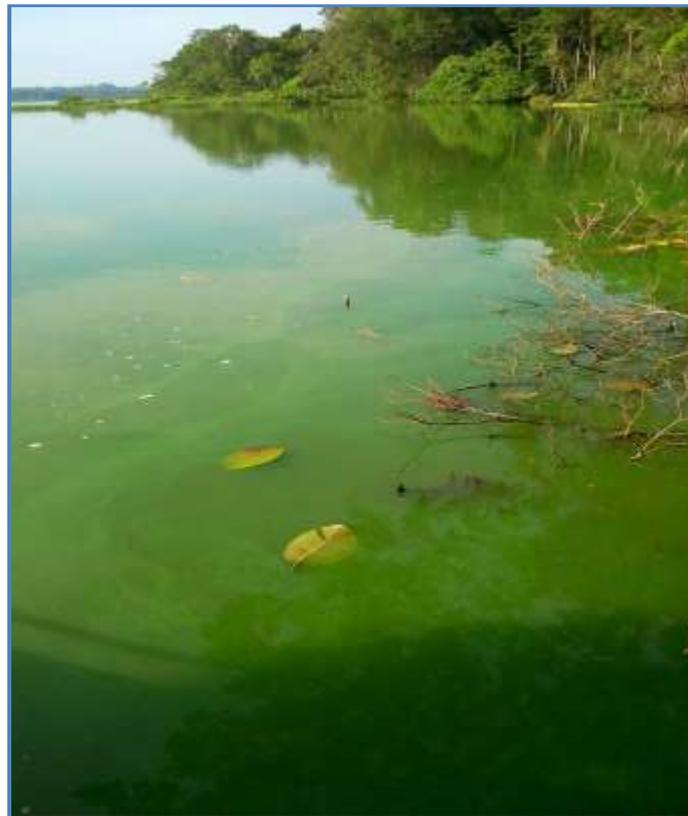


Figura 31 Punto 3 desembocadura del río Playayacu de agua y sedimento.



Figura 32 Punto 4 zona más profunda de la laguna de agua y sedimento.



Figura 33 Punto 5 el Muelle de agua y sedimento.



Figura 34 Punto 6 río Napo de agua y sedimento.



Figura 35 Punto 7 río Pishira de agua y sedimento.



Figura 36 Punto 8 río Playayacu de agua y sedimento.



Figura 37 Punto 1 pozo antiguo de suelo.





Figura 38 Punto 2 pozo Laguna de suelo.



Figura 39 Punto 3 pozo Jivino B de suelo.



Figura 40 Punto 4 Instituto de suelo



Figura 41 Punto 5 la estación científica de la RBL de suelo.



Figura 42 Punto 6 el sendero “El Caimán” como punto blanco de suelo.

Anexo 3. Información analítica.

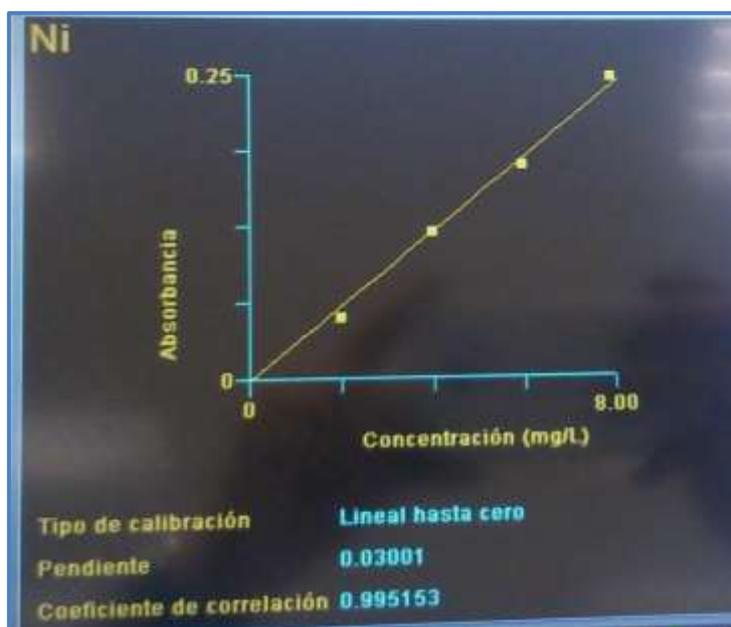


Figura 43 Gráfica de absorción de Ni en espectrofotómetro de absorción atómica de llama.

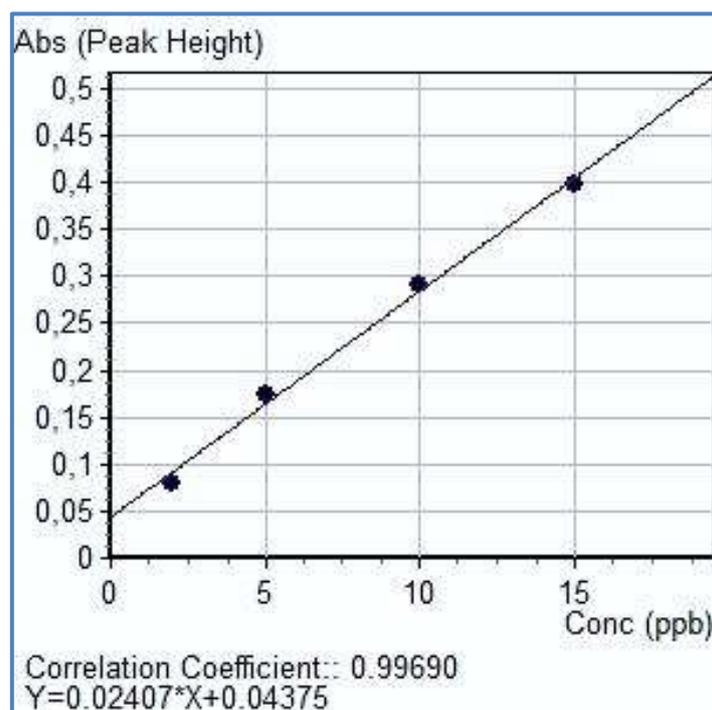
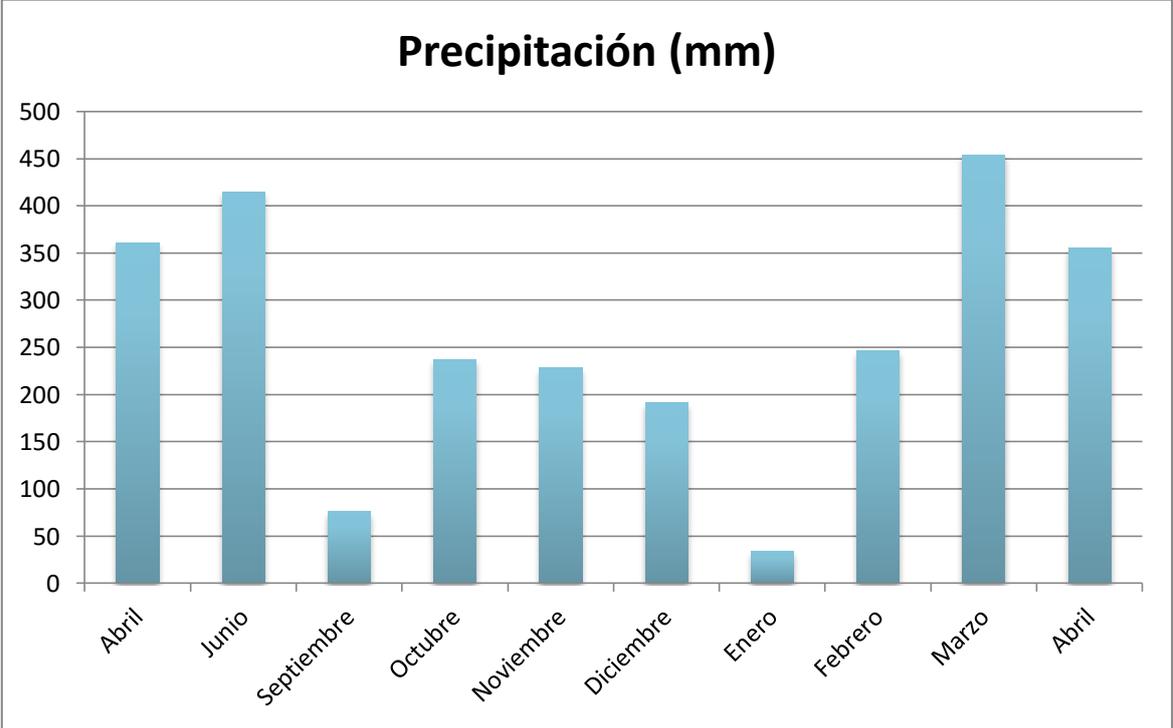


Figura 44 Gráfica de absorción de Cd en horno de grafito.

Anexo 4. Gráfica de precipitaciones de los meses muestreados (INAMHI) (2015-2016).



Anexo 5. Reporte estadísticos por punto de muestreo de las concentraciones de Cd

Recurso	Análisis	Caño	Des. Pishira	Des. Playayacu	Zona Profunda	Muelle	Río Napo	Río Pishira	Río Playayacu
Agua	Media	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Varianza	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00003	0,00005
	Desviación Estándar	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007
	Coeficiente de Variación	59,79	65,31	62,15	65,03	63,19	69,26	77,32	75,01
Sedimento	Media	0,92	1,10	1,18	1,16	1,03	0,83	0,83	0,67
	Varianza	0,46	0,46	0,66	0,63	0,49	0,58	0,44	0,31
	Desviación Estándar	0,68	0,68	0,81	0,79	0,70	0,76	0,67	0,55
	Coeficiente de Variación	73,81	61,28	68,95	68,37	67,91	91,52	80,48	82,43
		Pozo Antiguo	Pozo Laguna	Pozo Jivino B	Instituto	Estación	Blanco		
Suelo	Media	0,67	0,84	0,72	0,70	0,92	0,77		
	Varianza	0,31	0,33	0,44	0,46	0,42	0,33		
	Desviación Estándar	0,56	0,57	0,66	0,68	0,65	0,58		
	Coeficiente de Variación	83,08	67,87	91,80	96,42	69,88	74,80		

Anexo 6. Reporte estadísticos por punto de muestreo de las concentraciones de Ni

Recurso	Análisis	Caño	Des. Pishira	Des. Playayacu	Zona Profunda	Muelle	Río Napo	Río Pishira	Río Playayacu
Agua	Media	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04
	Varianza	0,0011	0,0011	0,0003	0,0004	0,0004	0,0018	0,0006	0,0004
	Desviación Estándar	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02
	Coefficiente de variación	98,89	80,91	45,72	67,40	54,40	84,98	53,12	57,54
Sedimento	Media	10,87	12,85	8,91	9,15	7,88	7,89	8,44	7,28
	Varianza	14,10	16,49	27,95	65,71	24,63	16,34	44,78	8,49
	Desviación Estándar	3,75	4,06	5,29	8,11	4,96	4,04	6,69	2,91
	Coefficiente de variación	34,56	31,60	59,37	88,62	63,01	51,22	79,33	40,01
		Pozo Antiguo	Pozo Laguna	Pozo Jivino B	Instituto	Estación	Blanco		
Suelo	Media	8,87	9,62	3,53	6,94	7,26	6,95		
	Varianza	43,84	41,84	10,38	34,97	21,39	7,93		
	Desviación Estándar	6,62	6,47	3,22	5,91	4,63	2,82		
	Coefficiente de variación	74,69	67,21	91,30	85,19	63,74	40,51		