

1 **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

2

3

4 **FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

5

6

7

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

8 **“DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES,**
9 **FIJOS Y VOLATILES DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA: UN ESTUDIO PARA**
10 **LA CONSERVACIÓN Y SALUD AMBIENTAL.”**

11

12

13

14

Realizado por:

15

JOSÉ ANTONIO MERA IZURIETA

16

17

Director del proyecto:

18

MSc. KATTY CORAL

19

20

21

Como requisito para la obtención del título de:

22

INGENIERO AMBIENTAL

23

24

25

Quito, julio de 2019

26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JOSÉ ANTONIO MERA IZURIETA, con cédula de identidad # 171671289-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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



JOSÉ ANTONIO MERA IZURIETA

171671289-6

54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, FIJOS Y VOLATILES DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA: UN ESTUDIO PARA LA CONSERVACIÓN Y SALUD AMBIENTAL.”

Realizado por:

JOSÉ ANTONIO MERA IZURIETA

como requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

KATTY CORAL

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Katty Coral', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

FIRMA

KATTY CORAL

76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

MIGUEL MARTINEZ FRESNEDA MESTRE

JOSÉ SALAZAR LOOR

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



FIRMA

JOSÉ SALAZAR LOOR



FIRMA

MIGUEL MARTINEZ FRESNEDA MESTRE

Quito, julio de 2019

96 El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado dentro del Programa de Investigación
97 de la Universidad Internacional SEK denominado:

98

99 **BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN**
100 **AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA**

101

102 Pertenece a la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

DEDICATORIA

119

Dedicado a todo el personal de la Universidad Internacional SEK.

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

AGRADECIMIENTO

133

A mi familia y amigos.

134

135

Para someter a:

To be submitted:

**DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN SÓLIDOS SUSPENDIDOS
TOTALES, FIJOS Y VOLATILES DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA: UN
ESTUDIO PARA LA CONSERVACIÓN Y SALUD AMBIENTAL.**

José Antonio Mera¹, José Salazar¹, Katty Coral¹, Miguel Martínez^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,

Ecuador. 14/08/2019 12:08:53

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA:

MSc. Katty Coral,

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono: 0983084617; email: katty.coral@uisek.edu.ec

Resumen

La Reserva Biológica de Limoncocha RBL se encuentra ubicada en la Provincia de Sucumbíos, cerca de actividades antropogénicas como la explotación hidrocarburífera y la producción agrícola. En la Reserva se encuentra la Laguna de Limococha, un sitio RAMSAR de extremado valor ecosistémico, usada por la población para la pesca, y como fuente de trabajo al ser un recurso turístico. La Universidad Internacional SEK, posee desde hace 23 años una Estación Científica en la que se realizan investigaciones para garantizar la sostenibilidad de la RBL; entre otros se han realizado estudios de concentración de metales pesados en aguas, suelos, sedimentos y en aire el material particulado sedimentable PMS, como complemento a estos estudios y para determinar las posibles interacciones de los metales en la matriz agua – sólidos suspendidos en la Laguna, se está realizando la presente investigación.

Palabras clave

Reserva natural, eutrofización, sedimentos, contaminación, sostenibilidad, antropogénico.

Abstract

The Limoncocha RBL Biological Reserve is located in the Province of Sucumbíos, close to anthropogenic activities such as hydrocarbon exploitation and agricultural production. In reserve is the Limococha Lagoon, a RAMSAR site of extreme ecosystem value, used by the population for fishing, and as a source of work as a tourist resource. The SEK International University has had a Scientific Station for 23 years in which research is carried out to ensure the sustainability of the RBL. Among others, studies have been carried out on the concentration of heavy metals in water, soils, sediments and in air the sedimentable particulate material PMS. As a complement to these studies and to determine the possible interactions of the metals in the water-solids matrix suspended from the metals in the Laguna, and its ecosystem is conducting this research.

Keywords

Nature reserve, eutrophication, sediments, pollution, sustainability, anthropogenic.

Introducción

Dentro de la provincia de Sucumbíos, desde los años 60, el proceso de colonización no ha sido planificado, no se pudo regular la invasión de la zona para explotar los recursos que, en su buen momento, generaban gran riqueza para el Ecuador; primero era el oro, después la cascarilla, el caucho, la madera y como uno de los más demandados el petróleo. Dicha explotación ha provocado serias transformaciones en la selva. Entre los daños más graves se encuentran la erosión de la tierra, contaminación del agua, destrucción de ecosistemas frágiles, áreas protegidas, etc. (Acosta, A, Alexandra A, Milton B, et al. , 2000).

La Reserva Biológica de Limoncocha (RBL) (ilustración 3), se encuentra ubicada dentro de límite provincial de Sucumbíos y Orellana (ilustración 1). Tal como la RBL, otras áreas protegidas como: la Reserva de producción Faunística Cuyabeno, el Bosque protector Pañacocha- Subcuenca del Río Panayacu y el Bosque Protector Sacha Lodge (ilustración 2) mantienen una delicada relación junto a actividades antropogénicas, como, por ejemplo: la explotación hidrocarburífera y la producción agrícola.

Dentro de la RBL podemos hallar la Laguna de Limococha, un sitio RAMSAR de extremado valor ecosistémico, usada por la población para la pesca, y como fuente de trabajo al ser un recurso turístico. (Acosta, A, Alexandra A, Milton B, et al. , 2000).



Ilustración 1 "Mapa Ecuador vs. Reserva Biológica Limoncocha". Autor: José Antonio Mera. 2019.

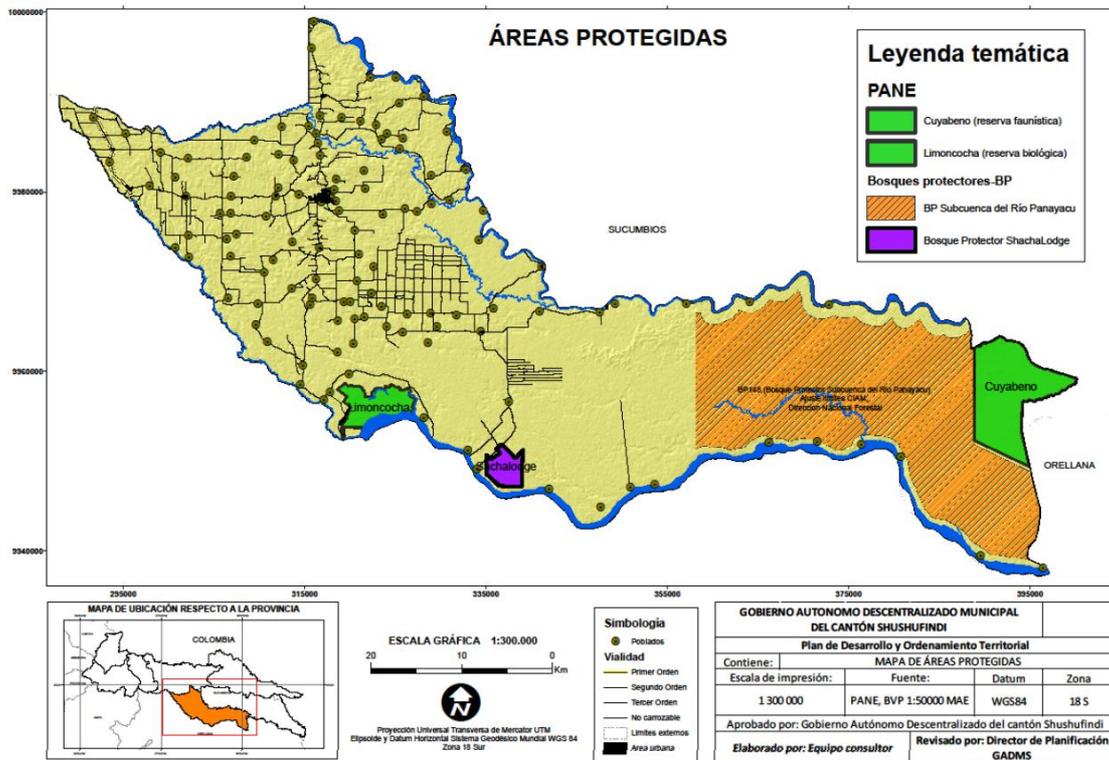


Ilustración 2 "Mapa áreas protegidas del cantón de Shushufindi". Fuente: MAE 2013.

La Laguna de Limoncocha:

La laguna se encuentra ubicada dentro de la Reserva Biológica, al Sur de la provincia de Sucumbíos, y al norte de la provincia de Orellana, exactamente en el límite provincial. Entre las coordenadas geográficas $0^{\circ}30''$ y $0^{\circ}20''$ Sur y $76^{\circ}45''$ y $76^{\circ}3''$. El clima del área corresponde al de bosque húmedo tropical con temperaturas promedio anuales de entre 25 y 28° C, con una humedad relativa del 90%. El régimen de precipitaciones anuales promedio es entre 3000 y 3500 mm. Se encuentra en una altitud de 230 m.s.n.m, y tiene una superficie aproximada de $2,7 \text{ km}^2$ y un espejo de agua de $2,3 \text{ km}^2$; la profundidad promedio es de 1,8 m y la máxima de 2,6 m, aunque en épocas de alta pluviosidad puede alcanzar profundidades de hasta 6,5 m (Espinoza, 2001).



Ilustración 3 “Mapa Reserva Biológica Limoncocha”. Autor: José Antonio Mera. 2019.

Según Villalba (2001) el tiempo de residencia calculado del agua es de 9,3 días, con un volumen total de 455.8 m³. La limnología de la laguna no es particularmente compleja, y su comportamiento es prácticamente estable, ya que en la zona tropical ecuatorial las estaciones no son muy marcadas. Esto incide directamente en que el comportamiento de la laguna no sufra cambios muy drásticos, así, el periodo de mayor pluviosidad va desde mayo hasta septiembre (8 meses al año).

Las principales características limnológicas de la laguna son (Villalba, 2001):

- La termoclina se encuentra ubicada a aproximadamente un metro de profundidad.
- La temperatura promedio del agua es 28° C,
- El pH promedio del agua de la laguna se encuentra en 8.
- Durante los meses de enero a junio hay una sobre-saturación de oxígeno disuelto, mientras que en los meses de marzo y abril hay una sub-saturación.
- La conductividad varía entre 100 y 105 μS/cm.

Todos los asentamientos aledaños a la laguna se encuentran en diferentes ecosistemas, esta es la razón por la cual se considera variable y muy vulnerable a la vez, principalmente por la acción antrópica. Fuentes de agua mantienen concentraciones de contaminación, y los diferentes tipos de bosque existentes en la zona, son amenazados por la explotación maderera e implementación de monocultivos, comúnmente de palma africana. Dichos ecosistemas, tomando en cuenta sus beneficios, proporcionan de

productos como madera, medicinas, alimentos, semillas; de igual manera aportan significativamente con servicios ambientales como agua, fijación de carbono, refugio de fauna, purificación del aire, valor paisajístico; este último aprovechado en ecoturismo (Acosta, A, Alexandra A, Milton B, et al. , 2000).

Dentro de los asentamientos aledaños a la laguna de Limoncocha se encuentran siete campos petroleros (tabla 1): Aguarico, Shushufindi, Limoncocha, Laguna, San Francisco, Jivino, Indilana y Quilla. El proceso de industrialización hidrocarburífera, que por lo general tiene como objetivo: la explotación, producción, transporte y almacenamiento e industrialización del crudo de petróleo, han perjudicado directa e indirectamente sobre aspectos socio-económicos y culturales de la zona. Cabe recalcar, que por el sector, atraviesa el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), con alrededor de 29,27 km de longitud (CONJUPAS, 2011).

Tabla 1 “Campos e infraestructura petrolera aledaña a la RBL” FUENTE: SIGAGRO, 2008 AUTOR: JOSE MERA

	Nombre	Superficie (ha)
Campos petroleros	Shushufindi-Aguarico	3683,600
	Shushufindi Este	3483,800
	Quilla	399,600
	Limoncocha	1291,690
	Jivino	316,320
	Laguna	674,680
	Indillana	403,290
	San Francisco	1419,720
Infraestructura	SOTE (29.27 km)	29.27 km LINEALES

Intervenciones y estudios.

Desde hace unos años se realizan estudios de investigación para garantizar la sostenibilidad de la RBL en la Universidad Internacional SEK y otros entes académicos. Entre estos, se han efectuado estudios de presencia de metales pesados en aguas, suelos, sedimentos, así como material particulado sedimentable (PMS) en el aire de la reserva. Como complemento a estos estudios y para determinar los posibles efectos e interacciones de los metales en la matriz agua-sólidos suspendidos de la Laguna, así como para establecer una línea base adecuada, se ha realizado la presente investigación.

Este estudio permitió determinar la concentración de metales pesados en los sólidos suspendidos totales, que por sus características son una fuente de alimento de las especies acuáticas de la laguna, para establecer la posible ingesta de concentraciones significativas de este tipo de sustancias. Estudios anteriores como: “Determinación de la concentración de metales pesados mediante la caracterización de material particulado sedimentable en la reserva biológica Limoncocha, noviembre de 2016 a junio 2017” (Valdivieso, J, Coral K. 2018), “Monitoreo de partículas totales suspendidas y metales pesados en el aire, de la parroquia de Limoncocha”. (Trujillo C, Ordoñez C 2006) y “Lixiviación de metales pesados de los sedimentos de la Laguna de Limoncocha en agua ultrapura para determinar su movilidad con fines de conservación”(Vazques E, Coral K, 2019) demuestran la presencia de metales en el agua, suelo, sedimentos y

material particulado en el aire de la RBL en diversas concentraciones, el presente estudio permite sentar la base para posteriores trabajos sobre la concentración de metales en las especies de animales consumidos por la población de la comunidad de Limoncocha.

Algunos de los parámetros de calidad de agua más representativos se encuentran las concentraciones en Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Usualmente, los resultados de calidad de aguas se derivan a partir de muestreos puntuales en campo, acompañados junto con análisis de laboratorio. Por lo general estos análisis se utilizan con frecuencia como una herramienta de gestión para la toma de decisiones y así mejorar la calidad de diversos ecosistemas acuáticos, esto mediante la implementación de acciones estructurales (sistemas de tratamiento al final del proceso y en la fuente, aliviaderos de sistemas de alcantarillado, etc) y no estructurales (políticas de limpieza urbana, gestión y mantenimiento de redes, etc). (Håkanson, 2004).

De igual manera, estos análisis se comparan con valores límites permisibles que se encuentran dentro de legislaciones, utilizadas por autoridades ambientales, para interpretar tendencias en las concentraciones de contaminantes, y así poder ser utilizados como datos para plantear modelos de transporte de contaminantes (Ghestem & Lachenal, 2008).

Los sólidos suspendidos totales (SST) son un parámetro de control de aguas naturales, así como de efluentes industriales, incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y microorganismos en el agua. Pueden provenir de varias fuentes alóctonas o autóctonas, de levantamiento de tierra o resuspensión y se dividen de acuerdo con la composición en orgánicos e inorgánicos (Håkanson, 2004).

De igual manera, estos se consideran indicadores ambientales, ayudan a determinar cambios geomorfológicos, contaminación y acciones del cambio climático. Los SST transportan cargas de nutrientes, restos de pesticidas, metales pesados, etc. En la superficie de agua, estos disminuyen la cantidad de luz que penetra, afectando la fotosíntesis y la temperatura del agua; fenómenos relacionados directamente con el cambio climático (Salama & Monbaliu, 2004; Noe & Harvey, 2007).

Según Escobedo Urias, D.C. (2010) la eutrofización es el proceso de enriquecimiento de las aguas por nutrientes que estimula un incremento en la producción primaria y frecuentemente está relacionado con la presencia de proliferaciones algales nocivas e hipoxia/anoxia en aguas de fondo, entre otras manifestaciones. Este fenómeno, asociado al incremento de la presión antropogénica, se ha convertido en un problema de proporciones globales por lo que se han realizado diversos esfuerzos para su detección y control. Dicho fenómeno ha contribuido en investigaciones tales como: “Estado trófico de la laguna de Limoncocha en base a los índices de Carlson y Lacat” (Wilchwez O, Beatriz J, 2012), y “Determinación del estado trófico de la laguna de limoncocha mediante el análisis de perfiles hidroquímicos en el periodo 2015-2017”. (Rodríguez P, Martínez M, 2017).

Los sólidos suspendidos (SS) son considerados aquellas partículas sedimentables que miden menos a 0.01 mm que no sedimentan rápidamente, son transportados gracias

a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua. No se consideran como índices absolutos de contaminación. Los sólidos suspendidos totales (SST) son la concentración medida de los sólidos suspendidos en aguas residuales, efluentes o cuerpos de agua mediante el uso de un medio filtrante. Dentro de estos podemos encontrar a los sólidos suspendidos totales fijos (SSTF) que son considerados como aquel residuo inorgánico filtrante que permanece después de incinerar los sólidos totales a más de 500 °C y los sólidos suspendidos totales volátiles (SSTV) son considerados como aquella materia orgánica que se la volatiliza al incinerar los sólidos totales a más de 120 grados Celsius (Coral K., 2013).

Acorde a Coral K, (2013), como parte de los sólidos inorgánicos en los SSTF, generalmente se obtienen materiales como el sílice y metales pesados.

Metales Pesados:

Según Agurto (2016), citado en Vasquez (2019), los metales pesados se consideran significantes para estudios ambientales debido a las consecuencias directas hacia los ecosistemas. Las distintas concentraciones de metales pesados tanto en sedimento como aguas superficiales, sirven para confirmar niveles de toxicidad y su capacidad de ingresar a la cadena trófica.

Los metales pesados son pertenecientes al grupo de los contaminantes más peligrosos que se encuentran en los ecosistemas, debido a sus niveles de toxicidad, este grupo lo conforman Hg, As, Cr, Pb, Cd, Ni y Zn. (Alcivar Mariana, Mosquera Jessica, 2011).

Cadmio:

El cadmio al tener una estructura de ion 2^+ , suele venir combinado con cloruros o sulfuros.

Por lo general, este metal es perjudicial para órganos como el riñón, el corazón, huesos, testículos, sistema nervioso y periférico (Vasquez E., 2019).

Níquel:

Este elemento suele encontrarse en disoluciones como también en ciertas proporciones mediante la absorción de ciertas partículas sólidas.

La exposición a este metal comprende un alto riesgo para la salud, principalmente causa enfermedades respiratorias, cáncer de cavidades nasales, de pulmón, rinitis, sinusitis (Vasquez E., 2019).

Plomo:

Se lo puede encontrar dentro de compuestos que conforman los pesticidas y gasolina. Los niveles altos de exposición de este elemento afectan la síntesis de hemoglobina, la función renal, tracto intestinal y sistema nervioso central (Rodríguez D., 2017).

Mercurio:

La explotación minera suele ser una de las características principales por la cual se encuentra este elemento. Las intoxicaciones por mercurio suelen causar temblores, gingivitis, alteraciones psicológicas y abortos espontáneos (Rodríguez D. ,2017).

Cromo:

Los efluentes industriales descargados por industrias químicas son por lo generales los causantes de que este elemento se encuentre en los ecosistemas. Un excedente de este elemento puede causar erupciones cutáneas (Jumbo, D. 2009).

Cobre:

Se lo relaciona con la oxidación de todo material proveniente de cables o tubería. La prolongada exposición a este elemento crea la denominada “fiebre del metal”. Causante de fuertes dolores de cabeza, mareos vómitos y diarreas (Jumbo, D. 2009).

Metodología;

Diseño muestral

Se tomaron muestras de agua en cinco puntos de la laguna, distribuidos estratégicamente alrededor de la misma para poder obtener datos espaciales representativos (tabla 2). Los puntos son los establecidos en la Ilustración N° 4

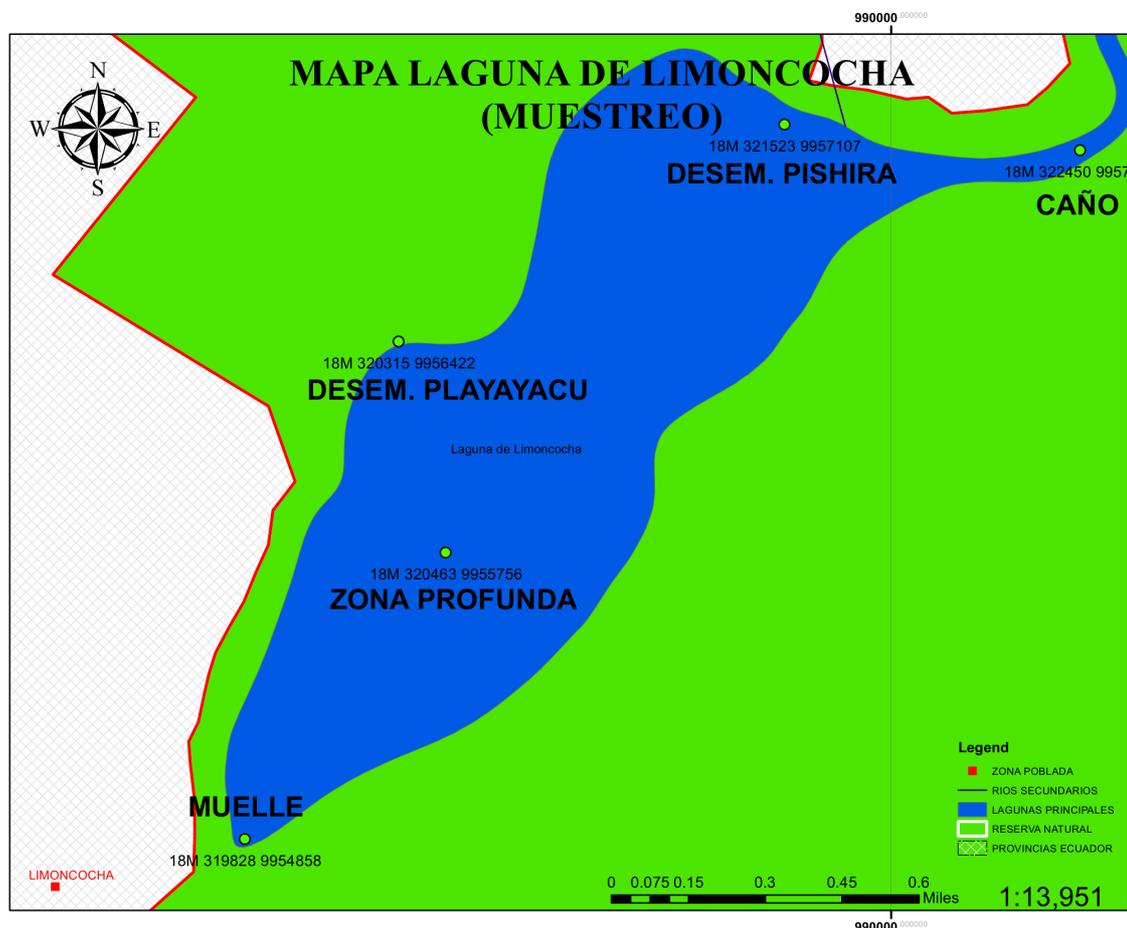


Ilustración 4 “Mapa Laguna de Limoncocha (Muestreo)”. Autor: José Antonio Mera. 2019.

Tabla 2 “Puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha”. Autor: José Antonio Mera. 2019.

Tabla #1 Puntos de Muestreo de Agua				
Nombre	# Punto	Coordenadas UTM		
		x(m)	y(m)	h(m.s. n.m.)
CAÑO	1	18MO322450	9957026	244 m.
DESEMBOCADURA PISHIRA	2	18M0321523	9957107	242 m.
DESEMBOCADURA PLAYAYACU	3	18M0320315	9956422	243 m.
ZONA PROFUNDA	4	18M0320464	9955756	240 m.
MUELLE	5	18M0319828	9954858	243 m.

Se realizó el diseño de muestreo para el periodo comprendido entre octubre del 2018 a marzo del 2019, en cinco puntos de la Laguna, dos puntos de las desembocaduras de los ríos afluentes: Pishira y Playayacu; tres puntos referentes a una distribución transversal de la laguna: Caño, Zona Profunda y Muelle. Cabe recalcar que los puntos mencionados anteriormente fueron seleccionados utilizando una metodología “a criterio” teniendo como base los estudios previos realizados en esta laguna.

Procedimiento de recolección de muestras

El muestreo se realizó desde junio de 2018 hasta marzo de 2019, en un total de seis procesos con base en la Estación Científica de la Universidad SEK.

Para la obtención de la muestra, se recolectó un volumen máximo de 3.78 litros por punto de muestreo. Las muestras fueron captadas con un equipo muestreador Van

Dorn, a una distancia aproximada de 15 cm por encima del fondo de la laguna, para poder obtener la mayor cantidad de sólidos suspendidos. La muestra se almacenaba en botellones de un galón de volumen, manteniendo los recipientes fuera de la influencia de la luz solar para evitar el proceso de fotosíntesis de microalgas dentro de la muestra. La base técnica operativa del muestreo tuvo como referencia la edición 23 del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017). Las muestras se sellaron y conservaron en refrigeración para su transporte hasta el laboratorio de la UISEK en la ciudad de Quito.

Procedimiento de laboratorio

Filtración

Se montan una serie de soportes universales, embudos y balones aforados de 1L (dependiendo del volumen de muestra obtenido) para la filtración de las muestras obtenidas utilizando papeles filtro cuantitativos previamente tarados y numerados.

Secado e Incineración

Se secan los papeles filtro con el material filtrado en estufa por 24 horas a 105°C y por gravimetría se establece la masa de sólidos suspendidos totales obtenidos. Posteriormente los sólidos secos se someten a un proceso de incineración por seis horas a 800°C, obteniéndose los sólidos suspendidos fijos y por diferencia de pesos los sólidos suspendidos volátiles. (EPA, 1996).

Digestión

Para la determinación de la concentración de metales en las muestras de sólidos suspendidos fijos obtenidas, se procede a la digestión de los sólidos fijos obtenidos utilizando el método EPA 3050B "Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils", en el cual se explica que se deben pesar de 1-2 gramos de muestra seca (en este caso, las cenizas obtenidas de los Sólidos suspendidos totales fijos) colocándolas individualmente en un Erlenmeyer de 250 mL de volumen. Se añaden 5 mL de agua destilada y 5mL de ácido nítrico al 70% y se los coloca en un sistema de reflujo abierto a una temperatura de 90 a 95 °C por 10 minutos, luego se adicionaron 5mL de peróxido de hidrógeno al 30% cada 5 minutos, hasta que el burbujeo deje de producirse, al mismo tiempo que el color de la muestra cambia de un café oscuro a un amarillo persistente; lo cual es un indicativo que el proceso ha sido exitoso. Por último, se dejó reposar el Erlenmeyer a temperatura ambiente para luego filtrar el contenido y aforarlo con agua destilada hasta un volumen de 20 mL, extracto en el cual se miden los metales a través de espectrofotómetro de absorción atómica. De no ser inmediata la medición de metales en el equipo de absorción atómica, es necesario refrigerar la muestra obtenida (EPA, 1996).

Cálculos:

Concentración de sólidos suspendidos totales (SST):

$$SST \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B)1000}{V}$$

*Ecuación 1. "Ecuación concentración de sólidos suspendidos totales".
IDEAM, 2007*

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales, en mg/L

A: Peso final del conjunto (disco + cápsula de aluminio) con el residuo seco, en mg.

B: Peso inicial del conjunto (disco + cápsula de aluminio), en mg.

V: Volumen de muestra filtrada, en mL.

Concentración de sólidos suspendidos volátiles:

$$SSV \left(\frac{mg}{L} \right) = SST \left(\frac{mg}{L} \right) - SSF \left(\frac{mg}{L} \right)$$

*Ecuación 2. "Ecuación concentración de sólidos suspendidos volátiles".
IDEAM, 2007*

Donde:

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles, en mg/L

SST: Sólidos Suspendidos Totales, en mg/L

SSF: Sólidos Suspendidos Fijos, en mg/L

Concentración de sólidos suspendidos fijos:

$$SSF \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{ceniza sedimento} \times 1000}{V}$$

*Ecuación 3. "Ecuación concentración de sólidos suspendidos fijos".
IDEAM, 2007*

Donde:

SSF: Sólidos Suspendidos Fijos, en mg/L

V: Volumen de muestra filtrada, en mL.

Concentración de metales pesados:

Para poder determinar la concentración de cadmio, níquel, plomo, mercurio, cromo y cobre en los sólidos suspendidos se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Concentracion} \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{\text{lectura} \left(\frac{mg}{L} \right) \times \frac{1L}{1000mL} \times \text{volumen de aforo} (mL)}{\text{Peso de la muestra} (g) \times \frac{1000(g)}{1kg}}$$

Ecuación 4. "Ecuación concentración de metales pesados en SST". IDEAM, 2007

Para poder validar los datos se realizaron hojas de datos en Excel introduciendo la ecuación #1 para poder comprobar los cálculos obtenidos. Se pueden observar los datos obtenidos en las ilustraciones de la 10 a la 15 anexadas al presente trabajo.

Resultados y Discusión

Con la finalidad de analizar en conjunto los datos obtenidos, en la Tabla # 3 se muestra un cuadro de resumen con los resultados de todas las concentraciones obtenidas, una vez que se realizaron cada uno de los análisis para encontrar las concentraciones de SST, SSV y SSF, acorde a cada ensayo realizado durante cada uno de los seis meses que se extendió la investigación.

De igual manera, para poder expresar los resultados de manera eficiente, se analizaron los resultados mediante ilustraciones Espacio/temporales. Es decir, las medias de las concentraciones obtenidas en los distintos puntos fueron relacionadas con el mes en el que fueron obtenidas para obtener distintas variables para sustentar los resultados.

Tabla 3 "Matriz general de concentraciones Vs. Puntos de Muestreo". Autor: José Antonio Mera. 2019.

	1er ensayo			2do ensayo			3er ensayo			4to ensayo			5to ensayo			6to ensayo		
UNIDADES (mg/L)	CSS	SSF	SSV															
Punto #1 Caño	11.6	2.9	8.7	12.8	1.7	11.1	21.2	1.7	19.5	10.7	1.7	9.1	21.2	1.7	19.5	17.6	1.7	15.9
Punto #2 Playayacu	29.6	3.5	26.1	17.7	1.9	15.8	21.1	1.9	19.2	21.3	1.9	19.4	21.7	1.9	19.8	23.9	1.9	22.0
Punto #3 Pishira	13.8	3.3	10.5	12.3	1.8	10.5	16.7	1.8	14.9	16.8	1.8	15.0	19.7	1.8	17.9	20.4	1.8	18.6
Punto #4 Zona Profunda	16.9	3.4	13.5	18.5	1.4	17.1	22.7	1.4	21.2	17.8	1.4	16.4	17.7	1.4	16.3	22.3	1.4	20.9
Punto #5 Muelle	11.2	1.2	10.0	17.1	1.1	16.0	21.6	1.1	20.5	10.7	1.1	9.6	10.3	1.1	9.3	22.5	1.1	21.3

CSS: CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)

SSF: SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/L)

SSV: SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (mg/L)

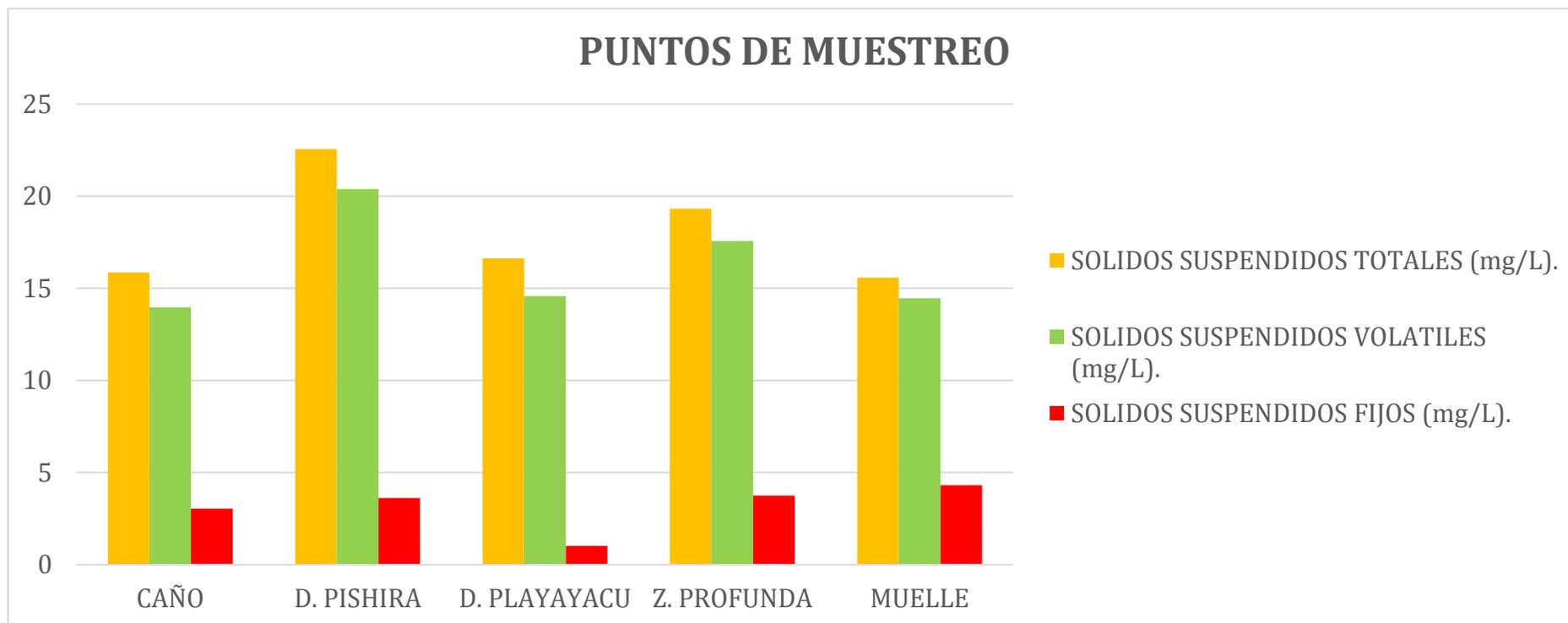


Ilustración 5 "Gráfico de concentración acorde a puntos de muestreo". Autor: José Antonio Mera. 2019.

En la ilustración #5, la tendencia es variable, no existiendo una relación directa entre los tres tipos de sólidos analizados. Del análisis de la concentración más significativa acorde al estado espacial de la laguna de Limoncocha, con base en los 5 puntos de muestreo, la zona con más SST es la desembocadura del Río Pishira, debido a una mayor turbulencia, lo que genera la resuspensión de los sólidos, así como una mayor concentración de nutrientes, permitiendo que exista una cantidad mayor de materia orgánica como algas o fitoplancton, lo que se confirma con la carga de SSV. Por otro lado, considerando la cantidad de SSF, se puede apreciar en la ilustración que la zona con mayor carga inorgánica es el muelle, esto es evidencia de que el atracado de botes en la zona puede crear un incremento de esta concentración por la resuspensión de sedimentos.

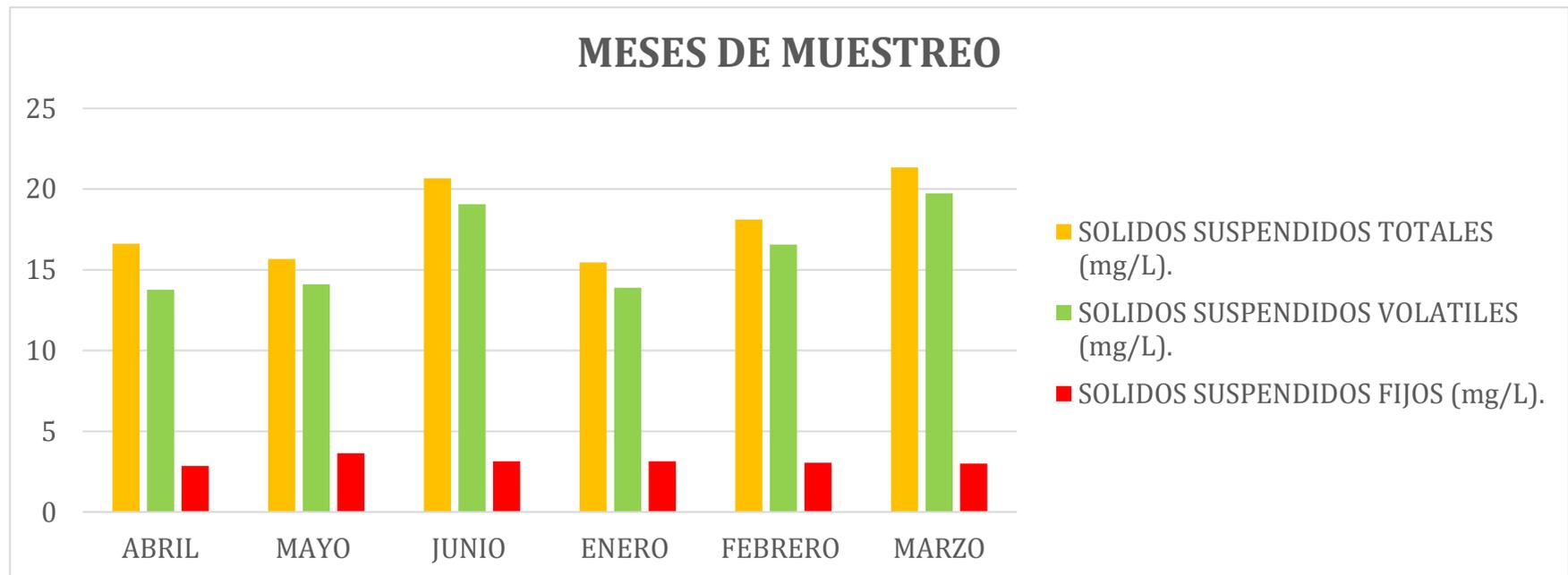


Ilustración 6 "Gráfico concentración acorde a meses de muestreo". Autor: José Antonio Mera. 2019.

En la ilustración #6, la tendencia es variable, sin embargo, se percibe una relación acorde a las estaciones climáticas de la zona. Es decir que, con relación a los meses de enero, abril y mayo las precipitaciones fueron mayores, lo que se verifica con la baja concentración de SST. Al contrario, en los meses de febrero, marzo y junio, las precipitaciones fueron menores, aumentando el nivel de eutrofización, y por lo tanto la concentración de SSV, manifestándose a través de un incremento en la materia orgánica. Por otro lado, la concentración de la materia inorgánica permanece relativamente constante, exceptuando el mes de mayo en el que existe un pico debido a la baja precipitación de ese mes y por lo tanto la escasa resuspensión de los sólidos de la laguna.

Tabla 4 "Porcentaje de SSF en SST". Autor: José Antonio Mera. 2019

	1ER ENSAYO	2DO ENSAYO	3ER ENSAYO	4TO ENSAYO	5TO ENSAYO	6TO ENSAYO
CAÑO	25%	13%	8%	16%	8%	10%
D. PISHIRA	12%	11%	9%	9%	9%	8%
D. PLAYAYACU	24%	15%	11%	11%	9%	9%
Z. PROFUNDA	20%	8%	6%	8%	8%	6%
MUELLE	11%	6%	5%	10%	11%	5%

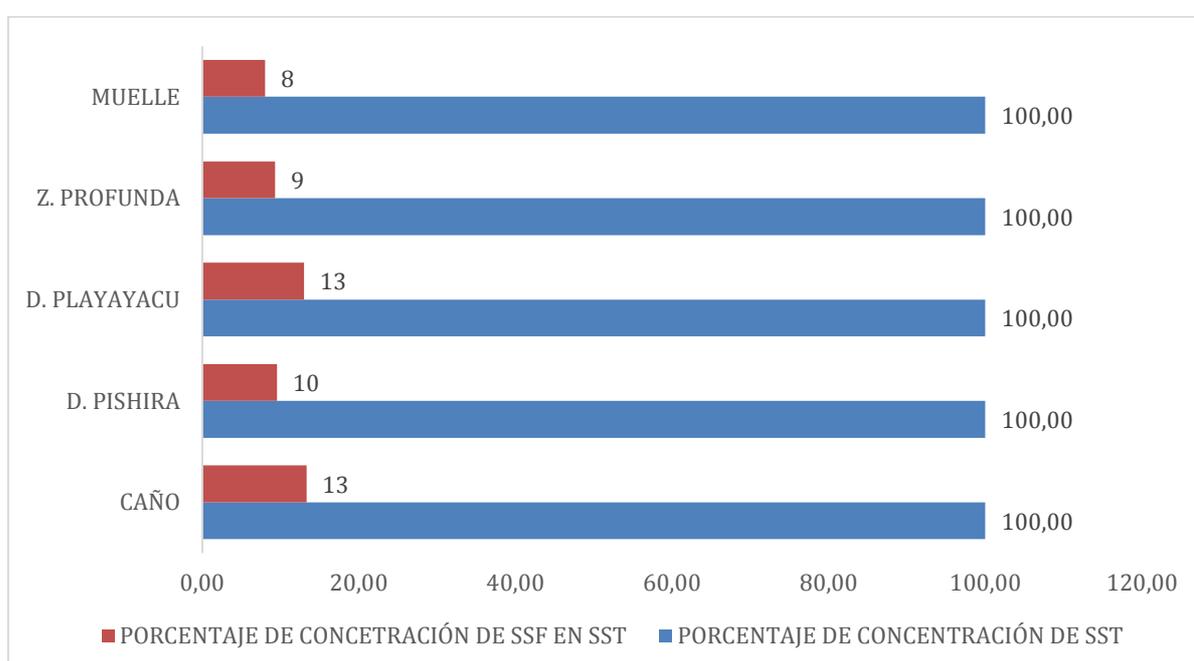


Ilustración 7 "Gráfico de porcentaje de SSF en SST". Autor: José Antonio Mera. 2019

Para poder interpretar la relación de SSF en SST se tomó en cuenta la tabla #4, muestra la cantidad de SSF que existe dentro de los SST. De esta manera en la ilustración #7 se puede analizar que la cantidad de SSF no es considerablemente alta. Por lo tanto, el aporte de estos SSF en el análisis de metales pesados tampoco será considerable.

Tabla 5 "Resultados de concentraciones de metales pesados". Autor: José Antonio Mera. 2019.

mg/kg	CAÑO	D. PISHIRA	D. PLAYAYACU	Z. PROFUNDA	MUELLE
CADMIO	ND	ND	0.72	ND	ND
COBRE	ND	0,02	ND	ND	ND
CROMO TOTAL	ND	0.18	0.38	0.62	1.88
MERCURIO	ND	ND	ND	ND	ND
NIQUEL	ND	ND	ND	ND	ND
PLOMO	ND	ND	ND	ND	ND

Estudios anteriores de sedimentos de la Laguna de Limoncocha, en lo que respecta al análisis de metales pesados, se puede observar que no existe conformidad en los metales encontrados en este estudio conforme la zona de muestreo. En lo que respecta al cromo (Bilbao 2017), se encontró valores en ppb de la columna de sedimentos estudiada, valores que en su máximo dato llegan a 20 ppb, consecuentemente se puede decir que los valores de cromo encontrados no corresponden a la resuspensión de los sedimentos sino a una causa antropogénica originada en el muelle de la Laguna.

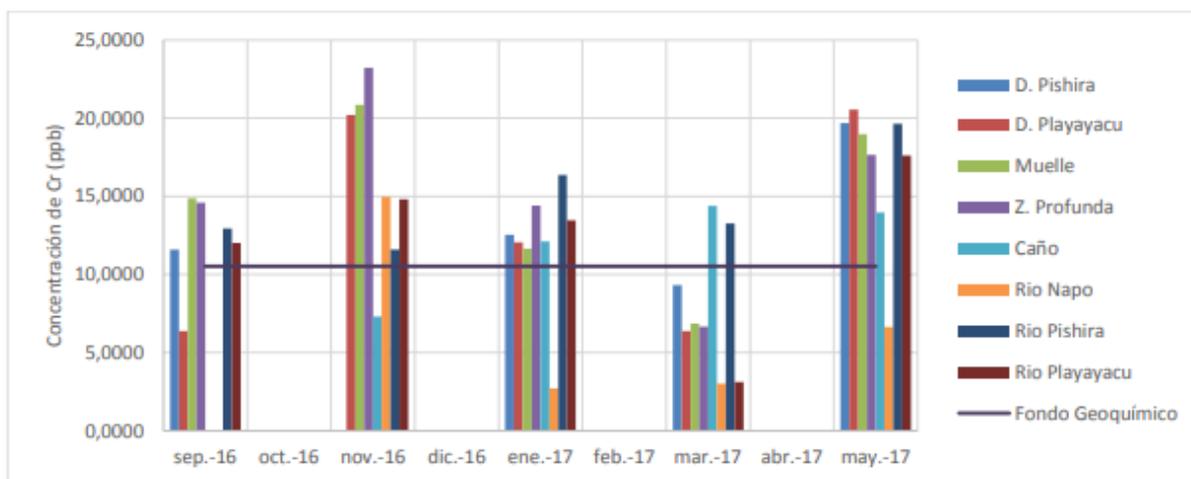


Ilustración 8 "Evolución de CR en sedimento". Bilbao 2017.

Sin embargo, la columna de sedimentos si reporta una mayor concentración de cromo en la zona del muelle. Es decir, que esta zona presenta impacto antropogénico debido al atraco de botes, una de las causas de la acumulación de cromo en el sitio es la presencia de aceite de motor que arrastra partículas metálicas, debido al desgaste de dichos motores. Acorde a (Neder,2003) dentro de un análisis de desgaste del aceite de motor se puede encontrar elementos como cobre, hierro y por lo general cromo. Esta contaminación está siendo esparcida por toda la laguna debido a la concentración del

mismo metal captada en diferentes puntos de muestreo como se puede verificar en la tabla #4.

Por otro lado, en lo que respecta a la concentración de cadmio encontrada en la desembocadura de Playayacu, y al tratarse de un valor puntual, se la puede relacionar a algún tipo de contaminación específica que haya arrastrado el cauce, como por ejemplo pesticidas, que ha llegado por escorrentía a la zona de la laguna, dato que habrá que verificar en posteriores estudios para establecer su persistencia. Estudios anteriores no presentan elevadas concentraciones de ese metal en los sedimentos, como se puede establecer en la tabla #6 de (Cerón, 2016).

Tabla 6 "Concentraciones de Cd sedimentos Laguna de Limoncocha".

Fuente: Cerón 2016

METAL	CONCENTRACIÓN PROMEDIO
CADMIO	0.012 mg/kg

Finalmente, la cantidad reportada de cobre en la desembocadura de Pishira se la puede relacionar a procesos naturales de la laguna, debido a que no es una concentración representativa y en estudios anteriores se ha comprobado que los sedimentos contienen concentraciones significativas de cobre, según (Ochoa, 2017) la concentración de cobre en el punto de muestreo se lo refleja en la tabla #7. Por lo tanto, se considera que la resuspensión de estos sedimentos sea la causa de la detección de este metal en el punto indicado.

Tabla 7 "Concentraciones de Cu sedimentos Laguna de Limoncocha".

Fuente: Cerón 2016

METAL	CONCENTRACIÓN PROMEDIO
COBRE	81.77 mg/kg

Considerando el resto de los resultados obtenidos, estos muestran concentraciones no detectables en la mayoría de los casos.

Según (Vásquez, 2019), al momento de realizar ensayos analíticos de metales pesados, pueden ocurrir interferencias analíticas, en este caso, los valores bajos obtenidos podrían deberse a la baja cantidad de muestra de SSF obtenida y analizada en el equipo de absorción atómica debe considerarse una fuente de error, sin embargo para minimizar el efecto de los reactivos utilizados y disminuir su interferencia se elaboró un blanco que fue sometido al análisis de los mismos metales que los SSF, y se lo utilizó para realizar las correcciones correspondientes.

Conclusiones

En relación con el análisis cuantitativo realizado, la presencia de metales pesados en sólidos suspendidos es prácticamente nula, existiendo presencia de cromo

principalmente en el muelle, lo que se puede asignar a la gran cantidad de botes que atracan en este lugar. La bibliografía indica que el cobre se genera del desgaste de los motores de este tipo de transporte. Aparentemente, las corrientes difunden los SST con este metal al resto de la Laguna. Se recomienda seguir monitoreando este parámetro, claramente generado por influencia antropogénica, a lo largo del tiempo, para evitar problemas posteriores en el área de la Laguna.

La concentración de sólidos suspendidos totales, en relación a la línea base establecida en el EIA de la Laguna de Limoncocha del año 2011, ha permanecido en una escala de 18 mg/L a 22 mg/L. Este estudio analizó que, en promedio, la concentración de SST en la laguna es de 17.98 mg/L, valor que se encuentra dentro de la normativa. La Legislación ecuatoriana en el Acuerdo Ministerial 097- A establece en el Art. 5.1.2 “Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en aguas marinas y de estuarios”. Tabla 2, que debe haber un “Max incremento de 10% de la condición natural” previamente establecida. Se ha demostrado que, dentro del perfil vertical de los cinco puntos de la laguna, este parámetro no presenta una variación significativa. El estudio demuestra que en los SST se encuentran compuestos mayoritariamente por materia orgánica, lo que se comprueba por la abundancia de sólidos suspendidos volátiles detectados, como se aprecia en la ilustración #5.

Los sólidos suspendidos volátiles son parte de la mayor carga dentro de los SST. Esto se debe al proceso de eutrofización en el que se encuentra la laguna. Cantidades elevadas de compuestos orgánicos como: algas, fitoplancton, etc., hacen que esta concentración se eleve acorde a los resultados que se obtuvo en este estudio.

Los sólidos suspendidos fijos se encontraron bajas concentraciones, como se observa en la tabla #4 “porcentajes de SSF en SST”, puntos como las desembocaduras y el Caño llevan las concentraciones más elevadas, en tanto que zonas como el muelle y la zona profunda tienen las concentraciones más bajas. Esto no tiene relación alguna con las concentraciones de metales que se obtuvo en los resultados, estas zonas con bajas concentraciones de SSF presentaron presencia de metales pesados a diferencia del resto de puntos, se considera que dichos metales, mediante el arrastre de las corrientes de la laguna, son dispersados al resto de puntos de la laguna.

Los sólidos suspendidos fijos, donde se encuentran los metales, reportan una baja concentración comparada con los sólidos totales, debido a que la presencia de sólidos suspendidos volátiles predomina a causa de la eutrofización natural de la laguna establecida en estudios anteriores realizados en la UISEK.

Considerando cada metal pesado, se pudo obtener que en primer lugar el Cadmio, se encuentra con mayor concentración en las cercanías de la desembocadura del río Playayacu, presencia que se ha considerado como un dato debido a alguna actividad antropogénica, como algún pesticida, que por escorrentía bajó por el cauce del río.

El Cobre se reportó en bajas concentraciones en desembocadura del Pishira, se considera que esta presencia se deba a la resuspensión de los sedimentos de la laguna, que se ha verificado (en estudios anteriores), contienen concentraciones de cobre.

El Cromo total tiene altas concentraciones en varios puntos de muestreo. Una explicación plausible de esta manifestación se ha atribuido a la presencia del aceite de motor que utilizan las embarcaciones que transitan por la laguna. Por lo general este metal es expuesto al ecosistema de la laguna por el desgaste de los motores y del mismo aceite que estos utilizan.

Metales como el Mercurio, Níquel y Plomo no se detectaron, esto debido a que sus concentraciones son muy bajas, por lo que el equipo analítico utilizado no soporta esos límites de detección.

Al ser los SST la fuente de alimento de la fauna acuática de la Laguna, y al no encontrarse concentraciones representativas de metales, se puede inferir que los peces que sirven de alimento a la población de la zona no ingieren metales pesados en cantidades que los hagan peligrosos para la salud de la población.

Recomendaciones

En próximos muestreos se considera tomar en cuenta obtener más muestra de agua y SST, se recomienda no tomar menor volumen que un galón. En el premuestreo del mes de abril, se tomó un litro de muestra, pero tomando en cuenta la cantidad de SST en el medio filtrante, se cambió de cantidad de muestra a 1 galón de muestra, obteniendo así más cantidad de SST en el medio filtrante, aun así, hubo complicaciones al realizar la detección de SSF. Es por eso que en estudios posteriores de SSF se debería tomar en cuenta obtener mayores cantidades de muestra para obtener resultados sin complicaciones y confiables.

Por otro lado, se recomienda realizar estudios en fauna acuática que sirva como alimento para la comunidad, para así poder saber con exactitud si el fitoplancton o el alimento en general que estos animales consumen están bioacumulando metales pesados y como resultado afectando a la salud humana.

Considerando la legislación ecuatoriana no existen parámetros que consideren la aportación de metales pesados por SST, por lo tanto, debería haber una continuidad en estudios de este tipo para considerar si es significativa el aporte de estos a la vida acuática y velar por crear legislación para este parámetro.

Se debería considerar el ampliar la red de puntos de muestreo para recabar más resultados y considerar si las actividades antropogénicas son las causantes de la eutrofización de la laguna o si aportan con metales a los SSF.

Por último, se debería considerar realizar un muestreo de la vegetación para poder conocer si algún tipo de vegetación funciona como bioacumuladora de metales que este aportando con la regulación de estos en toda la laguna.

Referencias y Bibliografía:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).
American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 20ed., New York.
- MAE. (2015). *Ministerio del Ambiente*. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de Sistema Nacional de Áreas Protegidas: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-biol%C3%B3gica-limoncocha>
- Quirós, R. (2000). La eutrofización de las aguas continentales de Argentina. *El Agua En Iberoamérica: Acuíferos Lagos Y Embalses. CYTED. Subprograma XVII. Aprovechamientos Y Gestión de Recursos Hídricos*, 12. Retrieved from <http://www.agro.uba.ar/users/quiros/Eutrofizacion/EutroArgentina.pdf>
- Rodríguez, P. (2017). *Determinación del estado trófico de la laguna de limoncocha mediante el análisis de perfiles hidroquímicos en el periodo 2015-2017*.
- Vásquez Z., G. L., Herrera O., L., Kantera K., J., Galvis C., A., Cardona Z., D., & Sanchez H., I. (2012). Metodología para determinar niveles de Eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(24), 112–128. Retrieved from <http://www.ojs.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/index.php/accb/article/view/81/81>.
- Consejería de Medio Ambiente (2010). "Libro de Registro de mediciones" Anexo V Instrucción Técnica 03.
- EPA (1996). "Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils" Revision 2.
- Acosta, A, Alexandra A, Milton B, et al. *El Ecuador post petrolero, Acción Ecológica / Oilwatch / Ildis*, Quito, 2000.
- Carrillo Paredes, E. I. (2016). *Caracterización y propuesta de funcionamiento hidrogeoquímico de la laguna de Limoncocha*.
- CONJUPAS. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia "Limoncocha"*. Sucumbíos: Consorcio de Juntas Parroquiales Rurales de la Provincia de Sucumbíos.
- VILLALBA-ANDRADE, (2001). *Limnología de la laguna de Limoncocha*.
- MAE. (2010). *Cuarto Informe Nacional para el Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. Quito

- Ecuador: Convenio sobre la Diversidad Biológica. Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- MAE. (2011). *Cuarto Informe Nacional para el Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. Quito - Ecuador: Convenio sobre la Diversidad Biológica. Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- MAE. (2013). *Amazonia, Limoncocha y civilizaciones*. Quito - Ecuador: Terra incógnita. Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Coral K. 2005. *Evaluación y control de la contaminación de aguas residuales*. Quito – Ecuador
- Rodriguez D. (2017) *intoxicación ocupacional por metales pesados*. Obtenido de : www.researchgate.net/3070953282_atun_albacora_thunnus_alalunga
- Jumbo, D. (2009). “*Metales Pesados En Sedimentos Riverinos De Cuencas Hidrográficas Impactadas Por Minería En La Región Sur Del Ecuador.*” Retrieved from [http://dspace.unl.edu.ec:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4343/ARELLANO WASHINGTON - JIMENEZ GALO.pdf](http://dspace.unl.edu.ec:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4343/ARELLANO%20WASHINGTON%20-%20JIMENEZ%20GALO.pdf)
- Neder C. (2003) “*Aplicaciones del análisis de aceite usado en motores a diesel de uso marino*” FIMCM ESPOL.

Anexos

ANEXO 1. INFORMES CESAQ – PUCE:

Tabla 7

MUESTRA #1 / PUNTO #1 OCT 2018.

ITEM	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
1	AGUAS Y SUELOS Bario	SM 3111 D / CP- PEE – A010	mg/kg	1.6
2	Cadmio	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.11
3	Cobre	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.54
4	Cromo Total	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3
5	Mercurio	SM 3111 B / CP- PEE – A009	mg/kg	<0.005
6	Níquel	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3
7	Plomo	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3

Tabla 8

MUESTRA #1 / PUNTO #2 OCT 2018.

ITEM	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
1	Cadmio	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.07
2	Cobre	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.55
3	Cromo Total	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.4
4	Mercurio	SM 3111 B / CP- PEE – A009	mg/kg	<0.005
5	Níquel	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3
6	Plomo	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3

Tabla 9

MUESTRA #1 / PUNTO #3 OCT 2018.

ITEM	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
1	Cadmio	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.03
2	Cobre	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.36
3	Cromo Total	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.4
4	Mercurio	SM 3111 B / CP- PEE –	mg/kg	<0.005

ITEM	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
		A009		
5	Níquel	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3
6	Plomo	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3

Tabla 10

MUESTRA #1 / PUNTO #4 OCT 2018.

ITEM	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
1	Cadmio	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.07
2	Cobre	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.46
3	Cromo Total	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.5
4	Mercurio	SM 3111 B / CP- PEE – A009	mg/kg	<0.005
5	Níquel	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3
6	Plomo	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3

Tabla 11

MUESTRA #1 / PUNTO #5 OCT 2018.

ITEM	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
1	Cadmio	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.05
2	Cobre	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.32
3	Cromo Total	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	0.7
4	Mercurio	SM 3111 B / CP- PEE – A009	mg/kg	<0.005
5	Níquel	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3
6	Plomo	SM 3111 B / CP- PEE – A010	mg/kg	<0.3

ANEXO 2. NORMATIVA VIGENTE ACUERDO MINISTERIAL 097

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Aguadulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ¹¹	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ²¹	NH3	mg/l	-	0,4
Arsénico	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	Hg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ³¹		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 monohidricos	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	0,05	0,05
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia 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 piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	M-g/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	Mg/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
Selenio	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
DBO ₅ ⁽⁴⁾	DBO ₅	mg/l	-	
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	no aplica

1 Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/L.

2 Aplicar la Tabla 3a 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 ug/L.

4 Aplicar la Tabla 3b como criterio de calidad para agua dulce

Ilustración 9 Tabla #3 Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestres en aguas dulces, marinas y de estuarios. (Acuerdo ministerial 097).

ANEXO 3. TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES

Fecha ensayo	Localizacion	# MUESTRA	Volumen Inicial de muestra (L)	Peso de papel filtro inicial (g)	Peso papel seco (g) = Papel Inicial - Humedad	Volumen filtrado (L)	Peso papel seco + muestra	Peso Ceramica (g)	Peso ceramica + ceniza (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Concentracion solidos suspendidos (mg/L)	masa ceniza (g)	ceniza sedimento (g)	Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Humedad papel	6,40892334
																	Pi (g)	Pf (g)
14/3/2018	PLAYAYACU	P1	3,8	0,993000	0,928900		0,931200			0,002300							1,0579	0,9901
				1,251700	1,187600	3,8	1,192300			0,0047								
				0,911400	0,847300		0,861300			0,014								
				0,996000	0,931900		0,935000			0,0031								
				0,930600	0,866500		0,886400	34,8766	34,8851	0,0199	0,0440	11,6	0,0085	0,0109	2,9	8,7		
	PISHIRA	P2	3,8	0,947200	0,883100		0,903800			0,0207								
				1,170600	1,106500		1,084500											
				0,858400	0,794300	3,8	0,828900			0,0346								
				0,946200	0,882100		0,917800			0,0357								
				0,901400	0,837300		0,858700	39,5688	39,5798	0,0214	0,1124	29,6	0,011	0,0134	3,5	26,1		
	CAÑO	P3	3,8	0,837500	0,773400		0,745800											
				1,072000	1,007900		1,002400											
				1,197000	1,132900	3,8	1,125600											
				1,021500	0,957400		0,954500											
				0,923800	0,859700		0,912200	35,1526	35,1627	0,0525	0,0525	13,8	0,0101	0,0125	3,3	10,5		
	ZONA PROFU	P4	3,8	0,992700	0,928600		0,922200											
				1,027400	0,963300		0,950200											
				0,886900	0,822800	3,8	0,825300			0,0025								
				0,971000	0,906900		0,907700			0,0008								
				0,947500	0,883400		0,944310	34,1757	34,1862	0,06091	0,0642	16,9	0,0105	0,0129	3,4	13,5		
	MUELLE	P5	3,8	0,962100	0,898000		0,892600											
				0,937000	0,872900		0,914600			0,0417								
				1,053000	0,988900	3,8	0,981400											
				0,920200	0,856100		0,856100			0								
				0,986300	0,922200		0,923000	38,0213	38,0235	0,0008	0,0425	11,2	0,0022	0,0046	1,2	10,0		
	Blanco							34,1865	34,1841				0,0					

Ilustración 10 "Datos experimentales ensayo #1"

Fecha ensayo	Localizacion	# MUESTRA	Volumen Inicial de muestra (L)	Peso de papel filtro inicial (g)	Peso papel seco (g) = Papel inicial - Humedad	Volumen filtrado (L)	Peso papel seco + muestra	Peso Ceramica (g)	Peso ceramica + ceniza (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Concentracion solidos suspendidos (mg/L)	masa ceniza (g)	ceniza sedimento (g)	Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Humedad papel	7,0522135
6/4/2018	PLAYAYACU	P1	3,8	1,065	0,994478	3,8	0,995	35,1464	35,1637	0,000522	0,0487	12,8	0,0173	0,0064	1,7	11,1	PI (g)	Pf (g)
				0,954	0,883478		0,903			0,019522							1,0323	0,9595
				1,1442	1,073678		1,0891			0,015422								
				1,1068	1,036278		1,0441			0,007822								
				1,1187	1,048178		1,0536			0,005422								
	PISHIRA	P2	3,8	1,0566	0,986078	3,8	0,999	39,5561	39,5742	0,012922	0,0673	17,7	0,0181	0,0072	1,9	15,8		
				1,0006	0,930078		0,9372			0,007122								
				1,0067	0,936178		0,9389			0,002722								
				0,8647	0,794178		0,8115			0,017322								
				0,9944	0,923878		0,9511			0,027222								
	CAÑO	P3	3,8	1,074	1,003478	3,8	1,0108	34,1798	34,1975	0,007322	0,0468	12,3	0,0177	0,0068	1,8	10,5		
				1,0975	1,026978		1,0271			0,000122								
				1,0386	0,968078		0,9714			0,003322								
				1,1348	1,064278		1,0705			0,006222								
				0,8025	0,731978		0,7618			0,029822								
	ZONA PROFU	P4	3,8	0,8013	0,730778	3,8	0,7416	34,8736	34,8899	0,010822	0,0704	18,5	0,0163	0,0054	1,4	17,1		
				0,8394	0,768878		0,7788			0,009922								
				0,8526	0,782078		0,7946			0,012522								
				0,8689	0,798378		0,8048			0,006422								
				0,8636	0,793078		0,8238			0,030722								
	MUELLE	P5	3,8	0,8257	0,755178	3,8	0,7754	39,0514	39,0664	0,020222	0,0648	17,1	0,015	0,0041	1,1	16,0		
				0,8241	0,753578		0,7647			0,011122								
				0,8491	0,778578		0,7821			0,003522								
				0,8329	0,762378		0,7677			0,005322								
				0,8421	0,771578		0,7962			0,024622								
	Blanco						34,1779	34,1888					0,011					

Ilustración 11 "Datos experimentales ensayo #2"

Fecha ensayo	Localizacion	# MUESTRA	Volumen Inicial de muestra (L)	Peso de papel filtro inicial (g)	Peso papel seco (g) = Papel inicial - Humedad	Volumen filtrado (L)	Peso papel seco + muestra	Peso Ceramica (g)	Peso ceramica + ceniza (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Concentracion solidos suspendidos (mg/L)	masa ceniza (g)	ceniza sedimentada (g)	Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Humedad papel	7,0522135
25/6/2018	PLAYAYACU	P1	3,8	0,9144	0,843878		0,837600			-0,006278							Pi (g)	Pf (g)
				0,914	0,843478	3,8	0,880100			0,036622							1,0323	0,9595
				0,8976	0,827078		0,826200			-0,000878								
				1,0311	0,960578		0,993900			0,033322								
				0,8586	0,788078		0,805900	35,1464	35,1637	0,017822	0,0806	21,2	0,0173	0,0064	1,7	19,5		
	PISHIRA	P2	3,8	1,0246	0,954078		0,993000			0,038922								
				0,985	0,914478		0,954200			0,039722								
				0,9143	0,843778	3,8	0,834200			-0,009578								
				0,9285	0,857978		0,833000			-0,024978								
				0,8956	0,825078		0,861300	39,5561	39,5742	0,036222	0,0803	21,1	0,0181	0,0072	1,9	19,2		
	CAÑO	P3	3,8	0,8848	0,814278		0,833300			0,019022								
				0,8745	0,803978		0,831800			0,027822								
				0,9076	0,837078	3,8	0,811200			-0,025878								
				0,8626	0,792078		0,823000			0,030922								
				0,9809	0,910378		0,922000	34,1798	34,1975	0,011622	0,0635	16,7	0,0177	0,0068	1,8	14,9		
	ZONA PROFU	P4	3,8	0,8985	0,827978		0,782200			-0,045778								
				0,8228	0,752278		0,771100			0,018822								
				0,8381	0,767578	3,8	0,801100			0,033522								
				0,8422	0,771678		0,821200			0,049522								
				0,8635	0,792978		0,823000	34,8736	34,8899	0,030022	0,0861	22,7	0,0163	0,0054	1,4	21,2		
	MUELLE	P5	3,8	0,8391	0,768578		0,798100			0,029522								
				0,8476	0,777078		0,889100			0,112022								
				0,8728	0,802278	3,8	0,781100			-0,021178								
				0,8628	0,792278		0,711100			-0,081178								
				0,8719	0,801378		0,844210	39,0514	39,0664	0,042832	0,0820	21,6	0,015	0,0041	1,1	20,5		
	Blanco							34,1779	34,1888				0,011					

Ilustración 12 "Datos experimentales ensayo #3"

Fecha ensayo	Localizacion	# MUESTRA	Volumen Inicial de muestra (L)	Peso de papel filtro inicial (g)	Peso papel seco (g) = Papel inicial - Humedad	Volumen filtrado (L)	Peso papel seco + muestra	Peso Ceramica (g)	Peso ceramica + ceniza (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Concentracion solidos suspendidos (mg/L)	masa ceniza (g)	ceniza sedimento (g)	Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Humedad papel	7,0522135	
																	Pi (g)	Pf (g)	0,070522
25/6/2018	PLAYAYACU	P1	3,8	1,0566	0,986078		1,010800			0,024722									
				1,0006	1,000600		1,027100			0,0265							1,0323	0,9595	
				1,0067	1,006700	3,8	1,023100			0,0164									
				0,8647	0,864700		1,070500			0,2058									
				0,9944	0,994400		0,761800	35,1464	35,1637	-0,2326	0,0408	10,7	0,0173	0,0064	1,7	9,1			
	PISHIRA	P2	3,8	0,8013	0,801300		0,893100			0,0918									
				0,8394	0,839400		0,991200			0,1518									
				0,8526	0,852600	3,8	0,791200			-0,0614									
				0,8689	0,868900		0,799100			-0,0698									
				0,8636	0,863600		0,832100	39,5561	39,5742	-0,0315	0,0809	21,3	0,0181	0,0072	1,9	19,4			
	CAÑO	P3	3,8	0,8013	0,801300		0,837600			0,0363									
				0,8394	0,839400		0,880100			0,0407									
				0,8526	0,852600	3,8	0,772100			-0,0805									
				0,8689	0,868900		0,993900			0,125									
				0,8636	0,863600		0,805900	34,1798	34,1975	-0,0577	0,0638	16,8	0,0177	0,0068	1,8	15,0			
	ZONA PROFU	P4	3,8	0,9621	0,962100		1,010800			0,0487									
				0,9370	0,937000		1,027100			0,0901									
				1,0530	1,053000	3,8	1,214300			0,1613									
				0,9202	0,920200		0,912200			-0,008									
				0,9863	0,986300		0,761800	34,8736	34,8899	-0,2245	0,0676	17,8	0,0163	0,0054	1,4	16,4			
	MUELLE	P5	3,8	1,0650	1,065000		1,242100			0,1771									
				0,9540	0,954000		1,214000			0,26									
				1,1442	1,144200	3,8	1,212400			0,0682									
				1,1068	1,106800		0,899500			-0,2073									
				1,1187	1,118700		0,861300	39,0514	39,0664	-0,2574	0,0406	10,7	0,015	0,0041	1,1	9,6			
	Blanco							34,1779	34,1888				0,011						

Ilustración 13 "Datos experimentales ensayo #4"

Fecha ensayo	Localización	# MUESTRA	Volumen Inicial de muestra (L)	Peso de papel filtro inicial (g)	Peso papel seco (g) = Papel Inicial - Humedad	Volumen filtrado (L)	Peso papel seco + muestra	Peso Ceramica (g)	Peso ceramica + ceniza (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Concentración solidos suspendidos (mg/L)	masa ceniza (g)	ceniza sedimento (g)	Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Humedad papel	7,0522135	
																	Pi (g)	Pf (g)	
25/6/2018	PLAYAYACU	P1	3,8	1,0566	0,986078		1,010800			0,024722									
				1,0006	1,000600	3,8	1,027100			0,0265							1,0323	0,9595	0,070522
				1,0067	1,006700		1,023100			0,0164									
				0,8647	0,864700		1,070500			0,2058									
				0,9944	0,994400		0,761800	35,1464	35,1637	-0,2326	0,0408	10,7	0,0173	0,0064	1,7	9,1			
	PISHIRA	P2	3,8	0,8013	0,801300		0,893100			0,0918									
				0,8394	0,839400	3,8	0,991200			0,1518									
				0,8526	0,852600		0,791200			-0,0614									
				0,8689	0,868900		0,799100			-0,0698									
				0,8636	0,863600		0,832100	39,5561	39,5742	-0,0315	0,0809	21,3	0,0181	0,0072	1,9	19,4			
	CAÑO	P3	3,8	0,8013	0,801300		0,837600			0,0363									
				0,8394	0,839400	3,8	0,880100			0,0407									
				0,8526	0,852600		0,772100			-0,0805									
				0,8689	0,868900		0,993900			0,125									
				0,8636	0,863600		0,805900	34,1798	34,1975	-0,0577	0,0638	16,8	0,0177	0,0068	1,8	15,0			
	ZONA PROFU	P4	3,8	0,9621	0,962100		1,010800			0,0487									
				0,9370	0,937000	3,8	1,027100			0,0901									
				1,0530	1,053000		1,214300			0,1613									
				0,9202	0,920200		0,912200			-0,008									
				0,9863	0,986300		0,761800	34,8736	34,8899	-0,2245	0,0676	17,8	0,0163	0,0054	1,4	16,4			
	MUELLE	P5	3,8	1,0650	1,065000		1,242100			0,1771									
				0,9540	0,954000	3,8	1,214000			0,26									
				1,1442	1,144200		1,212400			0,0682									
				1,1068	1,106800		0,899500			-0,2073									
				1,1187	1,118700		0,861300	39,0514	39,0664	-0,2574	0,0406	10,7	0,015	0,0041	1,1	9,6			
	Blanco							34,1779	34,1888				0,011						

Ilustración 14 "Datos experimentales ensayo #5"

Fecha ensayo	Localizacion	# MUESTRA	Volumen Inicial de muestra (L)	Peso de papel filtro inicial (g)	Peso papel seco (g) = Papel inicial - Humedad	Volumen filtrado (L)	Peso papel seco + muestra	Peso Ceramica (g)	Peso ceramica + ceniza (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Peso solidos suspendidos Totales (g)	Concentracion solidos suspendidos (mg/L)	masa ceniza (g)	ceniza sedimento (g)	Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Humedad papel	7,0522135
25/6/2018	PLAYAYACU	P1	3,8	0,9144	0,843878		0,837600			-0,006278							Pi (g)	Pf (g)
				0,914	0,843478	3,8	0,880100			0,036622							1,0323	0,9595
				0,8976	0,827078		0,812300			-0,014778								
				1,0311	0,960578		0,993900			0,033322								
				0,8586	0,788078		0,805900	35,1464	35,1637	0,017822	0,0667	17,6	0,0173	0,0064	1,7	15,9		
	PISHIRA	P2	3,8	1,0246	0,954078		0,993000			0,038922								
				0,985	0,914478	3,8	0,954200			0,039722								
				0,9143	0,843778		0,885500			0,041722								
				0,9285	0,857978		0,781200			-0,076778								
				0,8956	0,825078		0,872300	39,5561	39,5742	0,047222	0,0908	23,9	0,0181	0,0072	1,9	22,0		
	CAÑO	P3	3,8	0,8848	0,814278		0,833300			0,019022								
				0,8745	0,803978	3,8	0,831800			0,027822								
				0,9076	0,837078		0,865000			0,027922								
				0,8626	0,792078		0,812800			0,020722								
				0,9809	0,910378		0,922000	34,1798	34,1975	0,011622	0,1071	28,2	0,0177	0,0068	1,8	26,4		
	ZONA PROFU	P4	3,8	0,8985	0,827978		0,851500			0,023522								
				0,8228	0,752278	3,8	0,778000			0,025722								
				0,8381	0,767578		0,790300			0,022722								
				0,8422	0,771678		0,795200			0,023522								
				0,8635	0,792978		0,782300	34,8736	34,8899	-0,010678	0,0848	22,3	0,0163	0,0054	1,4	20,9		
	MUELLE	P5	3,8	0,8391	0,768578		0,828100			0,059522								
				0,8476	0,777078	3,8	0,811200			0,034122								
				0,8728	0,802278		0,801200			-0,001078								
				0,8628	0,792278		0,776300			-0,015978								
				0,8719	0,801378		0,833200	39,0514	39,0664	0,031822	0,1084	28,5	0,015	0,0041	1,1	27,4		
	Blanco							34,1779	34,1888				0,011					

Ilustración 15 "Datos experimentales ensayo #6"

ANEXO 4. Evidencia fotográfica

