

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

**“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS
DE LA LAGUNA LIMONCOCHA”**

CARLOS GILBERTO ORDOÑEZ CAMPAIN

Director de la Tesis:

ING. FABIO VILLALBA M.Sc

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

Quito, 30 de Agosto del 2013



DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE SEDIEMNTO DE LA
LAGUNA LIMONCOCHA”**

Realizado por:

CARLOS GILBERTO ORDOÑEZ CAMPAIN

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

ha sido dirigido por el Profesor

ING. FABIO VILLALBA M.Sc

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

FABIO VILLALBA

DIRECTOR



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK

DECLARATORIA PROFESORES TRIBUNALES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

DIRECTOR: Ing. Fabio Villalba

TRIBUNAL 1: Ing. Katty Coral

TRIBUNAL 2: Ing. Alonso Moreta

Después de revisar el trabajo presentado, por el alumno: **CARLOS GILBERTO
ORDOÑEZ CAMPAIN**

lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

DIRECTOR

FIRMA TRIBUNAL 1

FIRMA TRIBUNAL 2

Quito, 11 de Septiembre del 2013

DEDICATORIA.

A mi esposa Lourdes y mis hijas, María Isabel y Andrea, que durante todo este tiempo entendieron lo importante que este desafío significaba para mí. Su amor y paciencia me fortalecieron día a día.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Internacional SEK por auspiciar mi participación en la Maestría.

A Fabio Villalba, director del presente trabajo, por sus acertados consejos y sugerencias durante la elaboración de esta Tesis.

A Katty Coral y Alonso Moreta, compañeros de labores y miembros del tribunal que durante todo este tiempo han motivado la culminación de este emprendimiento.

A mis alumnos/as de Quinto Semestre de Ingeniería Ambiental durante el período 2012-2013, por su entusiasta participación en algunos de los ensayos desarrollados.

Especial reconocimiento para Jendry Moya, por su valiosa colaboración en todos los requerimientos logísticos que este trabajo demandó y, su incondicional apoyo para llevarlo a feliz término.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
Portada.....	i
Declaración juramentada de autores.....	ii
Declaración firmada Director y lectores.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	iv
Índice general de contenidos.....	vi
Índice de tablas y figuras.....	vii
Resumen.....	1
Abstract.....	1
Introducción.....	2
1.1 Problema a investigar.....	2
1.1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.1.1.1 Diagnóstico.....	4
1.1.1.2 Pronóstico.....	4
1.1.1.3 Control del pronóstico.....	5
1.1.2 Formulación del problema.....	5
1.1.3 Sistematización.....	5
1.1.4 Objetivo General.....	5
1.1.5 Objetivos específicos.....	6

1.1.6 Justificación.....	6
1.2 Marco Teórico.....	7
1.2.1 Estado actual del conocimiento.....	16
1.2.2 Adopción de una perspectiva teórica.....	22
1.2.3 Marco conceptual.....	23
1.2.4 Hipótesis.....	23
1.2.5 Identificación y caracterización de variables.....	23
CAPITULO II : Método	24
2.1 Tipo de estudio.....	24
2.2 Modalidad de la Investigación.....	24
2.3 Método.....	24
2.4 Población y muestra.....	24
2.5 Instrumentos de Investigación.....	25
2.5.1 Recolección de muestras.....	25
2.5.2 Métodos de caracterización y análisis geoquímicos.....	35
2.5.2.1 Pre tratamiento de las muestras.....	35
2.5.2.2 Análisis granulométrico.....	36
2.5.2.3 Determinación de la densidad.....	37
2.5.2.4 Análisis mineralógico.....	38
2.5.2.5 Contenido de sólidos.....	39
2.5.2.6 Medición del pH.....	40
2.5.2.7 Contenido de materia orgánica.....	41
2.5.2.8 Hidrocarburos totales de petróleo.....	42

2.5.2.9 Fósforo total.....	43
2.5.2.10 Nitrógeno total.....	45
2.5.2.11 Análisis de metales.....	47
2.6 Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	48
2.7 Procesamiento de datos.....	48
CAPITULO III: Resultados	50
3.1 Levantamiento de datos.....	50
3.2 Presentación y análisis de resultados.....	50
3.2.1 Medición de la profundidad.....	50
3.2.2 Análisis granulométrico.....	51
3.2.3 Determinación de la Densidad.....	54
3.2.4 Análisis mineralógico.....	56
3.2.5 Contenido de sólidos.....	60
3.2.6 Medición del pH.....	62
3.2.7 Contenido de materia orgánica.....	64
3.2.8 Hidrocarburos totales de petróleo.....	68
3.2.9 Fósforo total.....	69
3.2.10 Nitrógeno total.....	70
3.2.11 Análisis de metales.....	73
CAPITULO IV: Discusión	76
4.1 Conclusiones.....	76
4.2 Recomendaciones.....	79
REFERENCIAS.....	81

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas	página
Tabla 1: valores de algunos parámetros de la laguna Limoncocha.....	25
Tabla 2: Ensayo de tamizado: (%) retenido.....	55
Tabla 3: Ensayo de tamizado: (%) retenido acumulado.....	55
Tabla 4: Equivalencia de diámetro de partícula a fracción identificable.....	55
Tabla 5: Composición en fracciones (granulométricas) de los sedimentos.....	56
Tabla 6: densidad relativa de los sedimentos.....	58
Tabla 7: especies minerales encontradas mediante Difracción de Rayos X.....	60
Tabla 8: datos experimentales del contenido de sólidos en los sedimentos.....	64
Tabla 9: valores experimentales del pH de los sedimentos.....	66
Tabla 10: Materia orgánica en los sedimentos.....	68
Tabla 11: Contenido de TPH en los sedimentos.....	72
Tabla 12: Concentración de Fósforo en los sedimentos.....	73
Tabla 13: Concentración de Nitrógeno en los sedimentos.....	74
Tabla 14: valores para la relación de concentración (mg/kg).....	75
Nitrógeno / Fósforo, (N/P).	
Tabla 15: Concentración de elementos en el sedimento.....	77
Tabla 16: valores estadísticos de la concentración de elementos existentes en el sedimento, (mg/kg).....	77

Figuras	página
Figura 1: zonas principales de un lago (Roldán, G. 2008).....	15
Figura 2: contornos y perfiles de la laguna.....	26
Figura 3: Mapa Batimétrico de la laguna Limoncocha, 2012.....	26
Figura 4: estaciones de muestreo ubicadas en la laguna Limoncocha.....	30
Figura 5: muestreador de núcleos.....	31
Figura 6: dispositivo acoplado para recolección de sedimentos superficiales.....	32
Figura 7: muestra de sedimento en “cartucho” del nucleador.....	32
Figura 8: almacenamiento de muestras de sedimentos en fundas de polietileno.....	33
Figura 9: almacenamiento de muestras de sedimentos en recipientes plásticos.....	33
Figura 10: punto de muestreo 1, frente al muelle.....	34
Figura 11: muestra de sedimento punto N° 1.....	34
Figura 12: punto de muestreo 2, frente a la antena (oeste).....	35
Figura 13: muestra de sedimento punto N° 2.....	35
Figura 14: punto de muestreo 3, desembocadura rio Pishira.....	36
Figura 15: muestra de sedimento punto N° 3.....	36
Figura 16: punto de muestreo 4, entrada al “caño”.....	37
Figura 17: muestra de sedimento punto N° 4.....	37
Figura 18: punto de muestreo 5, frente a la antena (este).....	38
Figura 19: muestra de sedimento punto N° 5.....	38
Figura 20: sonda portátil de profundidad DEPTHMATE®.....	39
Figura 21: secado y almacenamiento de muestras.....	40

Figura 22: juego de tamices COLE PARMER®	41
Figura 23: picnómetro de vidrio, (25 mL de capacidad).....	42
Figura 24: Difractómetro de Rayos X, Siemens D5000 (INIGEMM, 2013).....	43
Figura 25: Estufa eléctrica MEMMET.....	44
Figura 26: Medidor de pH, HACH 280.....	45
Figura 27: mufla eléctrica WISE THERM.....	46
Figura 28: Analizador de TPH, BUCK SCIENTIFIC 101.....	47
Figura 29: Espectrofotómetro HACH 5000 y digestor.....	48
Figura 30: Equipo de digestión INKJEL M.....	50
Figura 31: Equipo de destilación micro Kjeldhal BEHR S1.....	50
Figura 32: Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AA 200...	52
Figura 33: profundidad registrada para cada estación de muestreo.....	54
Figura 34: Curva granulométrica de los sedimentos.....	56
Figura 35: Diagrama de textura.....	57
Figura 36: diagrama de “caja” para la densidad de los sedimentos de la laguna.....	58
Figura 37: Correlación entre la profundidad y densidad del sedimento.....	59
Figura 38: Difractogramas de las muestras 1,2 y 3 de sedimentos.....	61
Figura 39: Difractogramas de las muestras 4 y 5 de sedimento.....	62
Figura 40: Composición porcentual de especies minerales en los sedimentos.....	63
Figura 41: diagrama de “caja” para el contenido de sólidos de los sedimentos.....	65
Figura 42: diagrama de “caja” para el pH de los sedimentos.....	66

Figura 43: isoclinas de pH en el agua de la laguna Limoncocha registradas durante el año 2012.....	67
Figura 44: diagrama de “caja” para la materia orgánica de los sedimentos.....	68
Figura 45: Muestras de sedimento calcinadas.....	69
Figura 46: distribución espacial del contenido de materia orgánica en los sectores muestreados de la Laguna Limoncocha.....	70
Figura 47: isoclinas de oxígeno disuelto en el agua de la laguna Limoncocha registradas durante el año 2012.....	71
Figura 48: diagrama de “caja” para la concentración de TPH.....	72
Figura 49: diagrama de “caja” para la concentración de Fósforo total.....	73
Figura 50: diagrama de “caja” para la concentración de nitrógeno total.....	74
Figura 51: Relación N / P para los sedimentos.....	75
Figura 52: correlación entre N total y P total.....	76
Figura 53: clasificación de los elementos en base a su concentración promedio en el sedimento de la laguna.....	78

RESUMEN

La laguna Limoncocha se halla ubicada en la Amazonía ecuatoriana al norte del río Napo, en la Reserva Biológica Limoncocha (RBL). Está incluida, en el marco de la convención RAMSAR, como un humedal continental con categoría "O" (lagos permanentes de agua dulce, de más de 8 ha). El presente trabajo, abordó la Caracterización Geoquímica de los sedimentos de la laguna mediante la realización de ensayos físicos, análisis químicos y mineralógicos de cinco muestras recolectadas en distintas estaciones. Los resultados muestran que se trata de sedimentos poco consolidados con tamaño de partícula que corresponde a una textura arcillosa con predominio de minerales tipo plagioclasas, moscovita, dickita y pequeñas cantidades de cuarzo y óxido de hierro. El contenido de materia orgánica puede considerarse normal tratándose de un sistema lagunar tropical poco profundo. Su origen puede atribuirse a un aporte alóctono de los afluentes y autóctono por degradación de la biomasa vegetal presente en el lecho de la laguna. Los valores de pH se ubican en el rango "ligeramente ácido". La concentración de Hidrocarburos totales de petróleo (TPH), es baja tomando como referencia los valores de concentración de fondo en suelos cercanos a la laguna. En general, las concentraciones de fósforo y nitrógeno total fueron poco homogéneas, con valores de fósforo relativamente altas y valores de nitrógeno muy bajos. Respecto a los metales analizados, su distribución es heterogénea sin identificarse ningún patrón de acumulación en ninguna zona de la laguna. Se registra la presencia de elementos agrupados por su nivel de concentración en tres asociaciones: Cr, Co, Ni y Pb menores a 0,6 mg/kg; Zn y Cu entre 0,7 y 1,4 mg/kg; Mn, Ba y Ti entre 4 y 16 mg/kg.

ABSTRACT

The Lake Limoncocha is located in the Ecuadorian Amazon North of the Napo River, in the Limoncocha biological reserve (RBL). It is included in the framework of the Convention of RAMSAR, as a continental wetland with category "O" (freshwater, permanent Lakes over 8 ha). This work addressed the geochemical characterization of sediments of the lagoon through physical tests, chemical and mineralogical analysis of five samples collected in different seasons. The results show that it is sediment little consolidated with particle size which corresponds to a clayey texture with a predominance of type minerals plagioclase, Muscovite, dickite, and small amounts of quartz and iron oxide. The content of organic matter can be considered normal in the case of a system shallow tropical lagoon. So origin can be attributed to a contribution of autochthonous and allochthonous of the tributaries by degradation of plant biomass present in the bed of the lagoon. pH values are in the range slightly acid. The concentration of total petroleum (TPH) hydrocarbons is low with reference to the values of background concentration in soils near the lagoon. In general, the concentrations of total nitrogen and phosphorus were little homogenous, with very low values of relatively high phosphorus and nitrogen. Regarding the analyzed metal, its distribution is heterogeneous without identifying any patterns of accumulation in any area of the lagoon. Register the presence of elements grouped by their level of concentration in three associations: Cr, Co, Ni and Pb less than 0.6 mg/kg; Zn and Cu between 0.7 and 1.4 mg/kg; MN, Ba and Ti 4-16 mg/kg.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.1 Planteamiento del problema

Investigar sobre la geoquímica de los sedimentos lacustres es una tarea que permite recabar información sobre los componentes primordiales y características de índole física, química y mineralógica del ecosistema acuático.

Comprender el comportamiento de las sustancias químicas en el ambiente es de gran importancia para conocer los procesos que influyen en su flujo a través de los ecosistemas, la especiación, disponibilidad, tiempo de residencia, distribución vertical en el agua, concentración en los sedimentos entre otros (Libes, 1992).

“El estudio de los sedimentos da información acerca de las formas químicas de los elementos traza, su concentración y las condiciones fisicoquímicas que prevalecen al momento de ser depositados” (Boggs, 2001).

Adicionalmente, permite evaluar las concentraciones de ciertas especies químicas que están directamente relacionadas con el estado trófico del cuerpo de agua al producirse un intercambio bidireccional entre el sedimento y la columna de agua. También posibilita establecer el origen de estas especies (geológico o antropogénico).

Uno de los aspectos más importantes en la caracterización de los sedimentos es conocer el tamaño de partícula, el cual está relacionado con el tamaño en el área superficial debido a que las partículas de grano fino tienen mayor razón del área de superficie a su radio, tienden a formar láminas, con una mayor área y más compactas, propiciando la acumulación de materia orgánica y contaminantes (De Groot *et al.*, 1982).

Se puede afirmar que, el estudio de los sedimentos lacustres constituye una importante fuente de información para entender el comportamiento del lago o laguna en el cual están depositados.

Los lagos son elementos singulares del paisaje, efímeros a escala geológica, pero testigos e incluso agentes activos de la evolución del clima en la Tierra desde sus orígenes (Valero Garcés & Moreno, 2011).

La gran variedad de ambientes de depósito y los múltiples ecosistemas que generan los lagos hacen que proporcionen valiosa información para estudios en Paleoclimatología. Además, los lagos o lagunas son sistemas que intervienen activamente en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos globales que reaccionan rápidamente a los cambios de condiciones climatológicas que se generan en la atmósfera.

El presente estudio, investigó la composición de los sedimentos de la laguna de Limoncocha a través del análisis de muestras tomadas en diferentes puntos de la laguna; el resultado fue un conjunto de datos sobre las características físico-química y mineralógica de los sedimentos.

1.1.1.1 Diagnóstico

En general, la disponibilidad de información sobre lagos amazónicos es escasa; en tal virtud, el presente estudio se origina 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. Además, forma parte del proyecto de investigación “Generación de una línea base limnológica en la laguna Limoncocha, con miras a modelizar la incidencia del cambio climático en el área” que la Dirección de Investigación e Innovación de la Universidad Internacional SEK, lleva a cabo desde el año pasado.

El cambio climático tiene una incidencia global, y sus efectos se están evidenciando a nivel general, aunque no están plenamente identificados y cuantificados. De todos modos, existe el consenso de que algunas áreas serán especialmente sensibles a estos cambios, entre ellas, la Amazonía. En esta región, hay ciertos ecosistemas que por sus características particulares y fragilidad, pueden ser afectados en mayor medida; tal sería el caso de la Reserva Biológica Limoncocha, ubicada en la Amazonía ecuatoriana (Villalba, 2012) y otros trabajos en curso del mismo autor.

1.1.1.2 Pronóstico

La falta de información respecto a las características geoquímicas de los sedimentos de la laguna de Limoncocha no permitía conocer con alguna certidumbre, posibles escenarios sobre el origen y comportamiento del ecosistema de la laguna y, en consecuencia, poder aportar con datos de campo de carácter limnológico para a futuro, establecer un modelo de comportamiento de la laguna frente al evento de cambio climático en la zona.

1.1.1.3 Control del Pronóstico

La caracterización físico-química y mineralógica de los sedimentos superficiales de la laguna y su posterior correlación con otros factores analizados en otros trabajos afines en el ecosistema de la reserva Biológica de Limoncocha, permite resolver en parte, el problema de falta de información fidedigna en relación a las incógnitas de carácter científico que se tenían respecto al ecosistema planteado.

1.1.2 Formulación

¿Cuáles son las características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la laguna de Limoncocha?

1.1.3 Sistematización

¿Las muestras superficiales de sedimentos de la laguna de Limoncocha son fuente de información suficiente y confiable respecto a sus características geoquímicas?

¿La caracterización geoquímica de las muestras recolectadas aporta una información fiable de la estructura, composición química y mineralógica de los sedimentos de la laguna?

¿Los datos obtenidos pueden incorporarse a la línea base limnológica que pretendemos establecer para el ecosistema de la laguna de Limoncocha?

1.1.4 Objetivo General

Obtener las características geoquímicas fundamentales de los sedimentos superficiales recolectados en la laguna de Limoncocha.

1.1.5 Objetivo Específicos

1.1.5.1 Recolectar núcleos de sedimentos en cinco estaciones de muestreo en la laguna.

1.1.5.2 Analizar la composición físico-químico de las muestras (contenido de sólidos, densidad, contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno totales).

1.1.5.3 Analizar la granulometría y mineralogía de los sedimentos.

1.1.5.4 Analizar el contenido de metales pesados en los sedimentos.

1.1.6 Justificación

La presente investigación sirvió para generar datos de campo que a su vez se incorporan al conjunto de datos de la línea base limnológica de la laguna de Limoncocha, con miras a establecer un modelo que posibilite predecir la incidencia del cambio climático en el área de estudio.

La determinación de las características geoquímica de los sedimentos superficiales de la laguna, permitió resolver el problema de la falta de información al respecto.

El trabajo realizado, dispuso de suficiente información bibliográfica, elementos materiales, equipos, y requerimientos logísticos en la zona de estudio.

La justificación para la ejecución de este proyecto de investigación es de carácter teórico, pues generó nuevos conocimientos además, solucionó en gran medida el problema planteado por el interés práctico del autor.

El estudio no produjo impactos ambientales o socio-económicos visibles y sus resultados sirvieron para la presente y futuras investigaciones.

1.2 MARCO TEORICO

Lagos y lagunas.

Pertenece a la categoría de aguas quietas o leníticas. Una definición aparentemente práctica, define al lago como una extensión de agua rodeada de tierra por todas partes, y una laguna como algo similar, pero más pequeño.

Formación de lagunas.

Las lagunas se forman donde hay un suministro de agua o una depresión en la superficie de la tierra. Se sustentan principalmente por los ríos y pérdida de agua por el flujo hacia un río y/ o evaporación de la superficie; además, debe considerarse aportes subterráneos que alimentan el cuerpo de agua. El equilibrio entre el ingreso, salida y la velocidad a la que la evaporación se produce regulan el nivel de agua en el lago y la química del agua (Roldán, 2008).

En condiciones de alta afluencia el nivel del agua en la laguna puede permanecer constante, este nivel se regula por el punto de derrame de la salida, el agua en estas condiciones permanece renovada. El resultado de la entrada de agua a baja velocidad junto con la alta evaporación en una cuenca cerrada genera la concentración de iones disueltos, que pueden precipitar y formar depósitos. Las lagunas son entonces muy sensibles al clima y el cambio climático (Barona, 2005).

Lagunas originadas por acción de los ríos.

Roldán (2008), hace un extenso análisis sobre las características de los cuerpos lacustres y, de este trabajo se ha recabado la información presentada a continuación.

La acción de las corrientes de los ríos forma cuencas mediante deposición de sedimentos y por erosión. Son varias las maneras en que los ríos pueden constituir lagunas así, las

denominadas “lagunas de inundación” corresponde a un tipo de lagunas que se hallan en depresiones de la planicie amazónica de aguas blancas donde reciben el nombre de lagos de *várzeas*. Una de las características de este tipo de lagunas es la gran variación del nivel del agua dependiendo de las precipitaciones.

Zonación en un lago.

La región riparia: es un humedal típico que cubre no solo la zona eulitoral, (orilla o ribera) sino también una sector considerable del área litoral. Es una zona productora de detritos de origen tanto alóctono como autóctono.

Los detritos alóctonos se originan en la fina capa que cae transportada por el aire. La zona riparia puede ser una importante fuente de elementos para la zona litoral, donde estos se acumulan.

El detrito autóctono, originado en las macrofitas flotantes y sumergidas, se acumula en las orillas e incrementa la reserva de detritos provenientes de la acción del oleaje. Este oleaje, fracciona inicialmente la biomasa muerta tanto de las macrofitas flotantes como de las sumergidas.

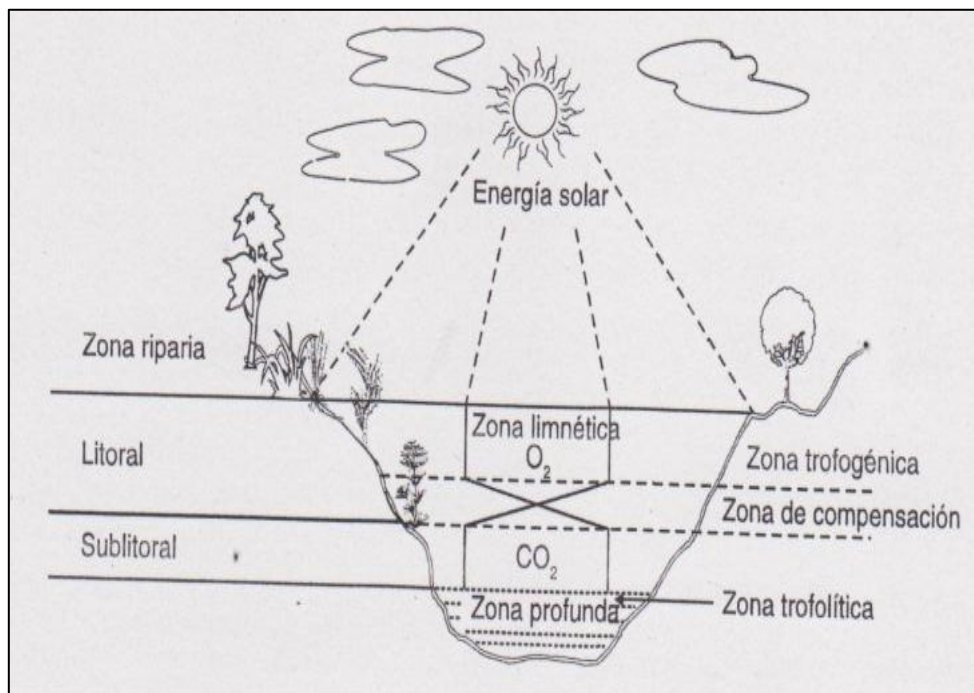


Figura 1: zonas principales de un lago (Roldán, G. 2008)

La región litoral: Es una región ecotónica; por tanto, es un compartimento autónomo con todos los niveles tróficos, gran cantidad de nichos ecológicos y de cadenas alimenticias de herbivoría y de detritos.

La fuente de energía de la cadena alimenticia de detritos es la biomasa muerta, originada en macrofitas y en hojas provenientes de la zona costera.

Constituye la principal fuente de energía en esta región del ecosistema acuático y es realizada fundamentalmente por los macro invertebrados acuáticos. Es además la principal fuente de detritos disueltos (Carbono orgánico disuelto). Esta fuente de COD puede ser igual o mayor a la producida por el fitoplancton.

Región limnética o pelágica: Está presente en casi todos los ecosistemas acuáticos. Sus comunidades características son el plancton (bacterias, algas, hongos e invertebrados) y necton (peces principalmente).

Está conformada por:

La zona trofogénica, dividida a su vez en fótica o eufótica, donde se lleva a cabo la producción primaria; la zona de compensación, donde la producción es igual al consumo y la zona trofolítica o afótica, en la que ocurre consumo y mineralización de la materia orgánica.

La estratificación de un lago significa la formación de “capas” de agua de distintas características que pueden ser físicas o químicas. La estratificación térmica ocurre cuando existen diferencias de densidad en las aguas del lago que a su vez, resultan del gradiente térmico, e influyen sobre la circulación vertical de las aguas a lo largo de cierto período de tiempo, (Manaham, 2002).

Con base a una estratificación simple, Carmouze (1994) divide esta zona en los siguientes compartimentos:

1. El de C, N y P orgánicos disueltos, simbolizados por COD, NOD y POD. Incluye bacterioplancton, moléculas complejas (sustancias húmicas) que representan material coloidal, así como moléculas simples disueltas (carbohidratos, aminoácidos).
2. El comportamiento del C, N y P inorgánicos disueltos, simbolizado por CID, NID y PID. El CID está constituido por CO_2 libre, HCO_3^- y CO_3^{2-} ; el NID por NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y N_2 disuelto. Aunque el N_2 es la forma más importante cuantitativamente, no se tiene en cuenta porque no participa en los procesos biológicos. El PID está conformado por H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} .

El del C, N y P orgánicos particulados (COP, NOP, POP). Corresponde a la biomasa de los organismos y los detritos en suspensión. En estos compartimentos, el material recogido depende de la técnica de muestreo.

Para ello, las botellas muestreadoras son inapropiadas, ya que no recogen organismos que posean mayor capacidad de fuga (por ejemplo, algunos organismos de zooplancton).

Esta división, basada en el fraccionamiento simple, consiste en separar dos partes: una mayor que 0,45 μm que corresponde al material *particulado*. Una menor que 0,45 μm , que es el material conocido como *disuelto*. Ambos pueden determinarse usando filtros Whatman GF/C o equivalentes con poros de 0,45 μm .

Región profunda o bental: Se caracteriza por la ausencia de organismos fototróficos, por lo que es una zona totalmente dependiente de la producción de materia orgánica en las regiones litoral y limnética.

Sus comunidades principales son los macro invertebrados acuáticos, cuya diversidad y densidad dependen de la concentración de alimento disponible y de la concentración de oxígeno. Predominan entonces los consumidores (producción secundaria) y descomponedores (producción primaria).

Los consumidores transforman materia orgánica utilizando la energía de los enlaces químicos de las macromoléculas. Los descomponedores, principalmente bacterias, reciclan nutrientes transformándolos en una forma aprovechable para los productores. La concentración de bacteria dependerá de la concentración de alimentos.

División del sedimento superficial. Según Carmouze (1994), en la capa de sedimento superficial se diferencian comúnmente:

1. Los compartimentos del C, N y P orgánicos e inorgánicos disueltos en las aguas intersticiales, similares a los de la columna de agua libre.
2. Los compartimentos de C, N y P orgánicos particulados, representados por la biomasa de organismos bentónicos y el material detrítico sedimentado. El contenido de este

compartimento, así como el del correspondiente en la columna de agua, dependen del método de muestreo. En general, el muestreo se realiza de tal manera que la biomasa se limita al de las algas y microorganismos, excluyendo los organismos bentónicos de tamaños inferiores.

Cuando el sedimento es colonizado por macrofitas o macroalgas se deben prever compartimentos adicionales de C, N y P relacionados con esta biomasa.

La definición de compartimentos representando las formas inorgánicas de N y P asociadas al material arcillo-orgánico (en el orden de NH_4^+ y PO_4^{3-}), presenta un interés evidente, en la medida en que estos compartimentos actúan como una reserva tampón de nutriente para la columna de agua. Por un lado, amortiguando los incrementos de nutrientes en el medio, originados por los aportes directos o la descomposición de la materia orgánica, secuestrando una parte de ellos; y por el otro, compensando el déficit de nutrientes en periodos de alta demanda biológica, liberando parte de estas formas secuestradas. Todos los compartimientos analíticos anteriores, según Carmouze (1994), son una representación desde el punto de vista biogeoquímico.

El *material inorgánico intercambiable* (MIT) está constituido por formas iónicas como el amonio y el fósforo soluble reactivo que pueden sustituir a otros iones en el material arcillo-orgánico.

La capa nefeloide está en contacto con el propio sedimento superficial. Los dos últimos compartimientos pueden tener una gran participación en los ciclos biogeoquímicos, principalmente en los sistemas poco profundos.

Estratificación térmica de lagos.

Las regiones ecuatoriales, por la inclinación del eje de la Tierra con relación al del Sol, recibe una cantidad de radiación más o menos constante a lo largo de todo el año, variando esta con la altura sobre el nivel del mar. De acuerdo con lo anterior, en la región tropical se originan pisos térmicos que varían de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar y el promedio de temperatura en cada piso, (Roldan, 2008).

Por lo expuesto, los lagos en los trópicos están sometidos a un régimen de temperaturas que varían muy poco en promedio a lo largo del año, pero sí con la altitud, por lo que se habla de lagos de aguas cálidas, templadas y frías.

La mayoría de las ciénagas de regiones tropicales presentan profundidades reducidas, apenas de unos pocos metros. Además, las variaciones diarias de temperatura ambiente son mayores que las del agua, por lo que es común observar estratificaciones y desestratificaciones diarias en la columna de agua. Estas estratificaciones se desarrollan durante el día por la entrada de energía calórica, pero en la noche, ocurre la desestratificación, por pérdida convectiva de calor a la atmósfera. Este proceso de desestratificación térmica en estos cuerpos de agua se debe básicamente a sus características morfométricas que facilitan el trabajo del viento y a las fuerzas conveccionales.

Esteves (1998) menciona el hecho de que en lagos tropicales poco profundos se observa frecuentemente extensas zonas invadidas por densas comunidades de macrofitas acuáticas. En estas condiciones, se pueden observar grandes diferencias en la estructura térmica del lago por la reducción de la acción del viento y por la conservación de calor en el agua debida a la masa de vegetación.

Características generales de los depósitos lacustres, (Wetzel, 2000)

- Litologías: areniscas, arcillas de grano fino, calizas y evaporitas.
- Mineralogía: variable, pero en su mayoría son de granulometría fina.
- Textura: arenas moderadamente bien clasificadas
- Geometría del lecho: a menudo muy delgada.
- Estructuras sedimentarias: laminación muy fina y paralela.
- Paleo corrientes: pocos de significado paleo ambiental; fósiles de algas y moluscos de microbios.
- Color: variable, pero puede ser de color gris oscuro en la profundidad del lago y más amarillas o blancas en las orillas o bordes del lago.
- Asociaciones de facies: comúnmente ocurren con depósitos fluviales, evaporitas y asociado con facies eólicas.

Aunque no son abundantes en el registro geológico, los sedimentos del lago son importantes. Ya que son sensibles a las condiciones climáticas, haciendo a los sedimentos lacustres indicadores útiles de los climas del pasado. Por ejemplo varios estudios han demostrado que los episodios antiguos de clima húmedo y seco pueden ser descifrados en base de la química de los sedimentos del lago y la mineralogía. (Hakanson, 2002).

Las características de los depósitos de ambientes lacustres son definidas por factores como la profundidad y el tamaño de la cuenca así como el suministro de sedimentos al lago y, el equilibrio entre el suministro de agua y la pérdida a través de la evaporación (que se relaciona principalmente con el clima).

Si el clima es húmedo será un lago hidrológicamente abierto, con agua que fluye dentro y fuera de él. Estos lagos se pueden considerar que se llene en exceso y sus depósitos son caracterizados por la acumulación, tanto en los márgenes donde los sedimentos se suministra

a los deltas y las playas, y en las aguas profundas de la suspensión y las corrientes de turbidez (Barona, 2005).

La caracterización geoquímica de sedimentos lacustres o marinos representa la base de información práctica para lograr obtener datos sobre la naturaleza físico-química y mineralógica que conducen a determinar la composición de los sedimentos (Last, 2011).

El sedimento analizado, guarda relación con el cuerpo de agua (laguna) al que pertenece por lo que, las características del mismo determinan ciertamente su composición química y mineral.

“Varios estudios han demostrado que los episodios antiguos de clima húmedo y seco pueden ser descifrados en base de la química de los sedimentos del lago y la Mineralogía. Muchos sedimentos lacustres también contienen abundantes materiales orgánicos finos que pueden actuar después del enterramiento como materia prima del petróleo” (Hakanson, 2002).

Las características de los sedimentos lacustres son reguladas por factores que tienen que ver con la profundidad y el tamaño de la cuenca. En esto, el ambiente tectónico es relevante.

El acarreo de sedimentos hacia la laguna y, el equilibrio entre el ingreso de agua (afluencia) y la pérdida mediante la evaporación que a su vez, está ligada a las condiciones climáticas, determina la dinámica del cuerpo de agua y la acumulación de sedimentos. “si el clima es húmedo será un lago hidrológicamente abierto, con agua que fluye dentro y fuera de él” (Barona, 2005).

1.2.1 Estado actual del conocimiento

El trabajo más antiguo relacionado con el presente estudio es el realizado por Colinvaux P.A, en 1985; en este, se informa sobre el descubrimiento de lagos permanentes en la cuenca alta del Amazonas, entre estos, la laguna de Limoncocha.

En él, se realizaron mediciones para determinar profundidad, área de la laguna, estructura de los sedimentos y datación con ^{14}C , la composición físico-química de las aguas y variedad de algas presentes.

Un registro sedimentario del Holoceno de la laguna de Añangucocha situada en la Amazonía ecuatoriana a 25 km de la laguna Limoncocha y que fue realizado por Frost. I, en 1988, define tres episodios ambientales durante los últimos 3100 años, Un episodio de pantano (3100-1300 años) fue seguido por inundación regional (1300-800 años) y un período de Lago abierto (desde 800 años). El registro de Añangucocha indica que la Amazonia ha experimentado fluctuaciones climáticas durante el Holoceno tardío. Zavala (2002) ha determinado las características geológicas, sedimentológicas y químicas de los sedimentos del fondo de un pequeño cuerpo de agua superficial, denominado “jagüey”, en el noreste de México. El “jagüey” es una depresión costera recién cubierta por una delgada lámina de agua dulce de forma circular, de poca circulación, con predominancia de arena-arcillosa en el fondo, lo que permite el contacto con el manto freático del que se alimenta a través de filtraciones.

Una delgada capa de sedimentos superficiales es ácida y el resto son sedimentos alcalinos, debido a la presencia de carbonato de calcio. El alto contenido de nitrógeno y fósforo en los sedimentos indican un impacto en el jagüey a causa de la entrada de nutrientes alóctonos. Dada su poca profundidad, su circulación limitada, una prolongada

sequía y la alta tasa de evaporación, se considera a este cuerpo de agua en un estado de hipertrofia y senilidad, a pesar de tener un origen geológico reciente.

Ramírez (2004), presenta las características granulométricas y los contenidos de materia orgánica, humedad, fósforo y calcio del sedimento de la laguna del Parque Norte, un sistema eutrófico tropical raso. El sedimento es de tipo orgánico (contenido medio de materia orgánica: 16.5%), se caracteriza como franco arenoso, con alto contenido de agua (media = 84.4%). Como consecuencia de las altas temperaturas del agua, los valores de materia orgánica y fósforo hallados fueron mucho menores al ser comparados con los encontrados en ecosistemas lacustres de la zona templada. A pesar de su condición de ecosistema raso (profundidad media: 1.60 m) y su naturaleza cinética, el 'metabolismo de corto circuito' afecta la velocidad de la descomposición y con esto los contenidos de materia orgánica y nutrientes en el sedimento.

La dinámica del sedimento es lenta y, por ello, su re suspensión es baja, a pesar del carácter polimíctico del cuerpo de agua. Ruiz (2005), investigó el intercambio de fósforo entre los sedimentos lacustres y el agua como un factor determinante en la situación trófica de lagos y embalses. Su importancia se basa en un aparente movimiento neto del fósforo hacia el agua, debido a que los sedimentos actúan como un depósito del mismo, y en condiciones particulares de anoxia y cambio de potencial redox son liberados, contribuyendo así a una importante fuente interna.

La determinación analítica del fósforo no es sencilla debido a que el sedimento es una matriz compleja, con muchas interferencias. Por tanto, es importante contar con una técnica analítica de fácil aplicación, y que permita obtener resultados en forma precisa y exacta.

En el trabajo mencionado, Ruiz y sus colaboradores, compararon estadísticamente cuatro técnicas analíticas, NAQUADAT (1979), Andersen (1979), Saunders & Williams (1958) y

Legg & Black (1955), con el objetivo de definir una metodología de análisis de sedimento adecuada a los fines de estudios limnológicos.

Se observó una gran variabilidad en los resultados de Fósforo total (PT) y Fósforo inorgánico (PI) obtenidos para las distintas técnicas.

El análisis de ANOVA permitió definir a NAQUADAT como la técnica más confiable para los distintos tipos de matrices analizadas.

La determinación de una técnica analítica apropiada y de buena precisión es esencial para obtener resultados confiables que permitan una buena interpretación de la dinámica de los procesos naturales. Los resultados obtenidos remarcan la importancia de continuar con el estudio de los sedimentos y la implementación de metodologías de análisis apropiadas, para aportar información relevante que permita una gestión integrada del sistema lago-cuenca. En 2007, Márquez publicó una investigación en la que se estudió la presencia del nitrógeno y fósforo total en el sedimento de la laguna de Los Patos, estado Sucre, Venezuela. Además, se muestran los primeros estudios de especiación de fósforo en el sedimento de este ecosistema. Los resultados muestran niveles altos de nitrógeno y fósforo total que alcanzan valores de 1380,63 mg/kg y 950,63 mg/kg, específicamente en las inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas servidas, situada en extremo sur de la laguna. Se determinó que el fósforo se encuentra principalmente como fósforo orgánico ligado a minerales fosfatados de calcio (48,53%) y en segundo término a coexistir en orden secuencial como: fósforo muy lábil o absorbido (13,89%), fosfato de hierro (13,54%), fósforo moderadamente lábil (7,35%) y por último en forma refractaria (6,87%).

Las relaciones nitrógeno/fósforo, las cuales alcanzan valores de 9,58, en conjunto con los altos porcentajes de fósforo orgánico, revelan una fertilidad de tipo orgánico dentro de la laguna.

En 2009, Salvarredy ha publicado investigaciones en el lago de Milluni Grande (Bolivia) que está ubicado en el flanco occidental de los Andes Orientales en el valle de Milluni. El lago es el más grande de este valle, y dado que se halla situado al cierre de cuenca, resulta estratégico para albergar un registro sedimentario de los últimos 450 años. El registro sedimentario fue estudiado a partir de un testigo del lago, del cual se describieron y analizaron detalladamente parámetros físicos y químicos, sedimentología, mineralogía e indicadores geoquímicos los que permitieron evidenciar una importante variación del clima (VC). Adicionalmente, una datación con ^{210}Pb en los niveles más superficiales del testigo fue usada para establecer una tasa de sedimentación del lago y estimar una cronología para los niveles sin datación.

La cronología definida señala que la variación del clima detectada sucede durante la Pequeña Edad de Hielo (LIA). Además, una correlación detallada fue establecida entre los niveles arenosos del registro sedimentario del LMG y las morrenas glaciarias del Cerro Charquini, (Bolivia).

Finalmente, algunas evidencias históricas bien documentadas sobre el desarrollo de Pequeña Edad de Hielo en Bolivia son mencionadas. Sánchez en el 2011 presenta dos perfiles pertenecientes a la Laguna Babícora, localizada en el extremo occidental del desierto de Chihuahua, (México) que fueron sometidos a estudios estratigráficos, mineralógicos, geoquímicos de los elementos mayores y trazas, concentración de carbono orgánico, inorgánico y nitrógeno total. Esta información fue utilizada para inferir la fuente (procedencia) del sedimento lacustre, las variaciones en el intemperismo químico, aporte eólico y pluvial, salinidad y procedencia de la materia orgánica, con el fin de realizar una reconstrucción de las condiciones ambientales en los últimos 30,000 años.

Área de estudio

La laguna de Limoncocha (S 00° 23' 55.1'' W 076° 36' 47.0'', 210 m.s.n.m) se encuentra ubicada al norte del río Napo, a una distancia de entre 1.5 y 2 kilómetros respecto a la margen del río, en la Reserva Biológica Limoncocha (RBL), de la parroquia Limoncocha, cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos en la Amazonía del Ecuador, aproximadamente a 210 km de la ciudad de Quito; se halla dentro de la cuenca del río Capucuy, cuyos los tributarios más importantes son: Playayacu, Pichira, Blanco y Piñasyacu.

La laguna está incluida, en el marco de la convención RAMSAR, dentro del grupo de humedales continentales con categoría "O" (lagos permanentes de agua dulce, de más de 8 ha, incluye meandros o brazos muertos de río (RAMSAR, 1999).

La RBL se halla ubicada en la Provincia de Sucumbíos, en el nororiente de la Amazonía ecuatoriana, con características de bosque húmedo tropical, incluye un sistema de cuerpos lenticos y loticos cuyo elemento central es la laguna de Limoncocha.

Fue declarada como reserva biológica en el año de 1985, mediante acuerdo ministerial No. 394, publicado en el registro oficial No. 283.

Clima

La humedad relativa supera el 80%, la mayor parte del tiempo. La temperatura ambiental promedio es de 25 °C, con una precipitación anual de aproximadamente 3200 mm (ECOLAP y MAE, 2007).

Morfometría y Batimetría de la laguna

Tabla 1: valores de algunos parámetros de la laguna Limoncocha, (Villalba & Revelo, 2012)

parámetro	unidad	valor
Longitud máxima	km	3.0
Ancho máximo	km	1.06
Ancho medio	km	0.76
Área total	km ²	2.28
Longitud de la línea costera	km	8.54
Profundidad máxima	m	3.0
Profundidad media	m	1.9
Volumen	m ³	4350483
Tiempo de residencia	días	11.57
Caudal medio mensual	m ³ /s	13.0
Altitud sobre el nivel del mar	m.s.n.m	210

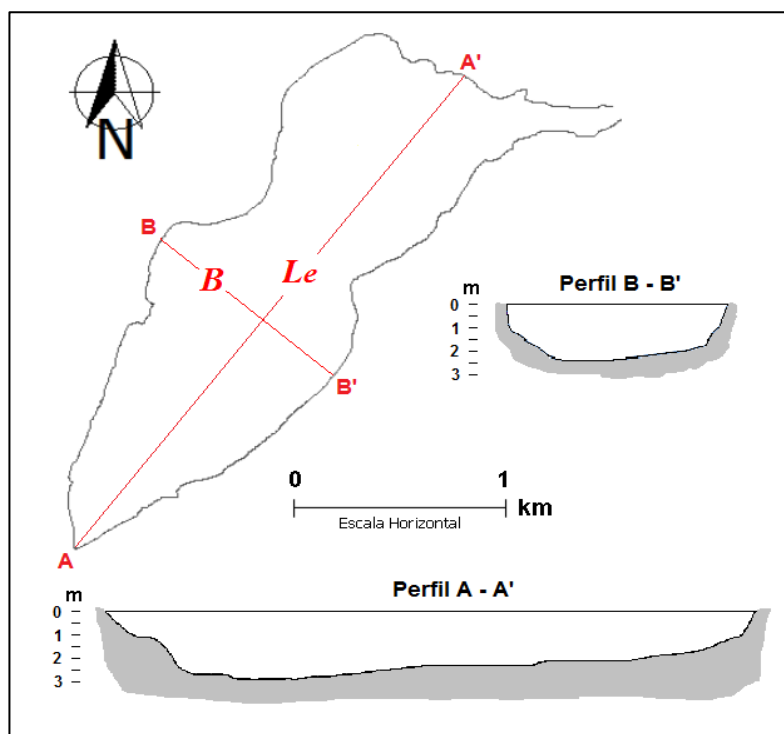


Figura 2: Contornos y perfiles de la laguna, ((Villalba & Revelo, 2012)

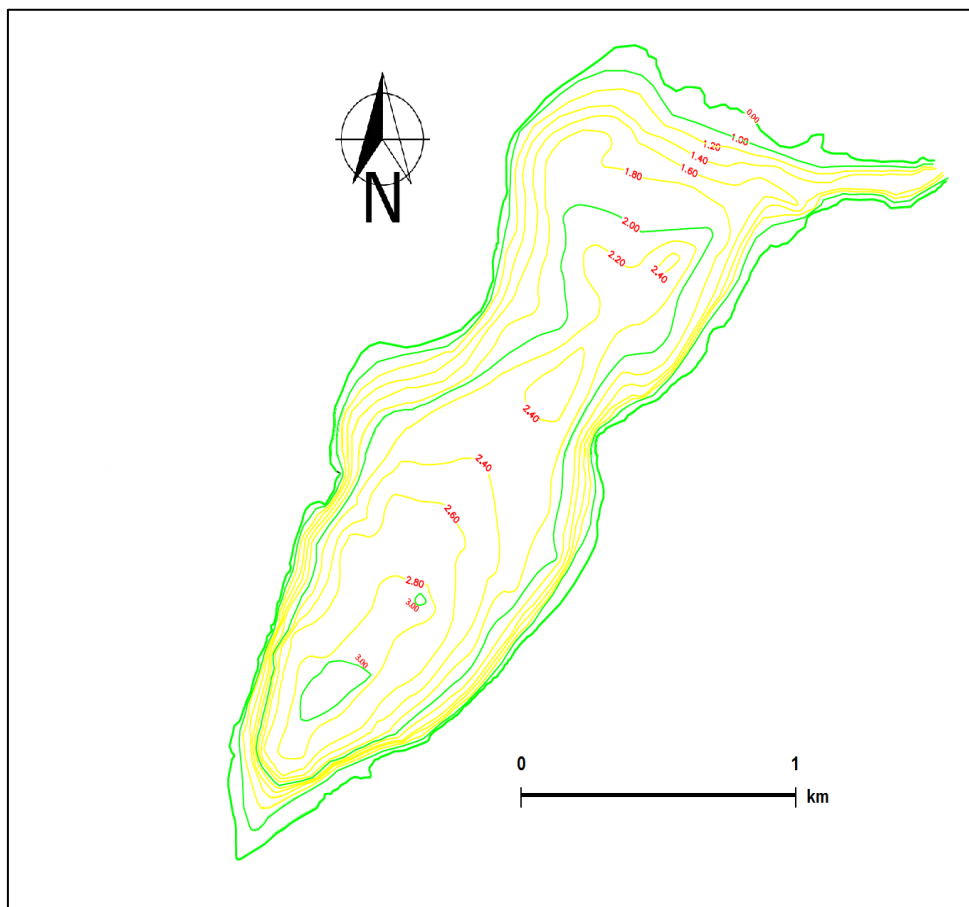


Figura 3: Mapa Batimétrico de la laguna Limoncocha, (Villalba & Revelo 2012).

1.2.2 ADOPCION DE UNA PERSPECTIVA TEORICA

La caracterización geoquímica y mineralógica de los sedimentos de la laguna de Limoncocha permitirá desarrollar la presente investigación delimitando y enfocando correctamente el soporte teórico necesario a fin de solucionar el problema planteado.

Así, en base a los resultados obtenidos y en conjunto con otros datos de campo obtenidos en investigaciones que se llevan a cabo paralelamente podremos definir el comportamiento estable o fluctuante de la laguna.

1.2.3 MARCO CONCEPTUAL

La caracterización geoquímica de los materiales sólidos proporciona información clave para conocer la composición físico-química de este sustrato.

Del mismo modo el análisis mineralógico conduce a determinar la composición de la muestra en términos de especies minerales presentes.

Finalmente, los sedimentos representan el componente del ecosistema en estudio que ofrece la información para inferir respuestas al origen, evolución y comportamiento actual de la laguna de Limoncocha.

1.2.4 HIPÓTESIS

¿Los sedimentos superficiales de los cinco sectores seleccionados en la laguna de Limoncocha presentan las mismas características geoquímicas?

1.2.5 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

Variable dependiente: tipo de sedimento de la Laguna de Limoncocha.

Variables independientes: características geoquímicas del sedimento.

CAPITULO II

MÉTODO

2.1 TIPO DE ESTUDIO

Fundamentalmente se trata de un estudio de tipo **exploratorio** que busca conocer la composición geoquímica y mineralógica de los sedimentos de la laguna en base a la investigación de campo que se llevó a cabo, y soportada en información bibliográfica específica.

2.2 MODALIDAD DE INVESTIGACION

La investigación es básicamente de campo; las muestras fueron recolectadas directamente en el lecho de la laguna, y trasportadas posteriormente a los Laboratorios.

2.3. MÉTODO

En base al conocimiento particular de los resultados de la caracterización geoquímica de los sedimentos muestreados conseguimos identificar el tipo de sedimento.

Por tanto, el método aplicado puede definirse como **inductivo deductivo**.

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Los sedimentos de la laguna pueden definirse como el “universo” y de este, se han tomado cinco muestras en diferentes sitios de la Laguna.

2.5 INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

Los instrumentos seleccionados para la presente investigación son de naturaleza experimental, tanto para el muestreo del sedimento como para los ensayos y análisis que se realizaron en el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad Internacional SEK y en el Laboratorio del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, (INIGEMM) en la ciudad de Quito.

2.5.1 Recolección de muestras de sedimento

El muestreo de sedimentos superficiales se realizó durante el mes de octubre del 2012 en cinco estaciones (sitios) de la laguna de Limoncocha, con la finalidad de determinar algunas características geoquímicas de los mismos así como, las interrelaciones entre los distintos sitios de la laguna seleccionados.

Se utilizó un nucleador de sedimentos de acero inoxidable tipo “core sampler” de 350 mm de longitud y un diámetro de 50 mm.

Los puntos de muestreo se seleccionaron bajo la modalidad “a criterio” (Leal, 2012), considerando información previa tal como, zonas más y menos profundas, desembocadura de afluentes, zona de descarga de la laguna, zona de influencia antropogénica, etc.

Los sitios fueron geo posicionados mediante un GPS marca Garmin ®; el material recolectado se almacenó en fundas de polietileno con cierre hermético y se preservaron en refrigeración (4°C) hasta su análisis en el laboratorio.

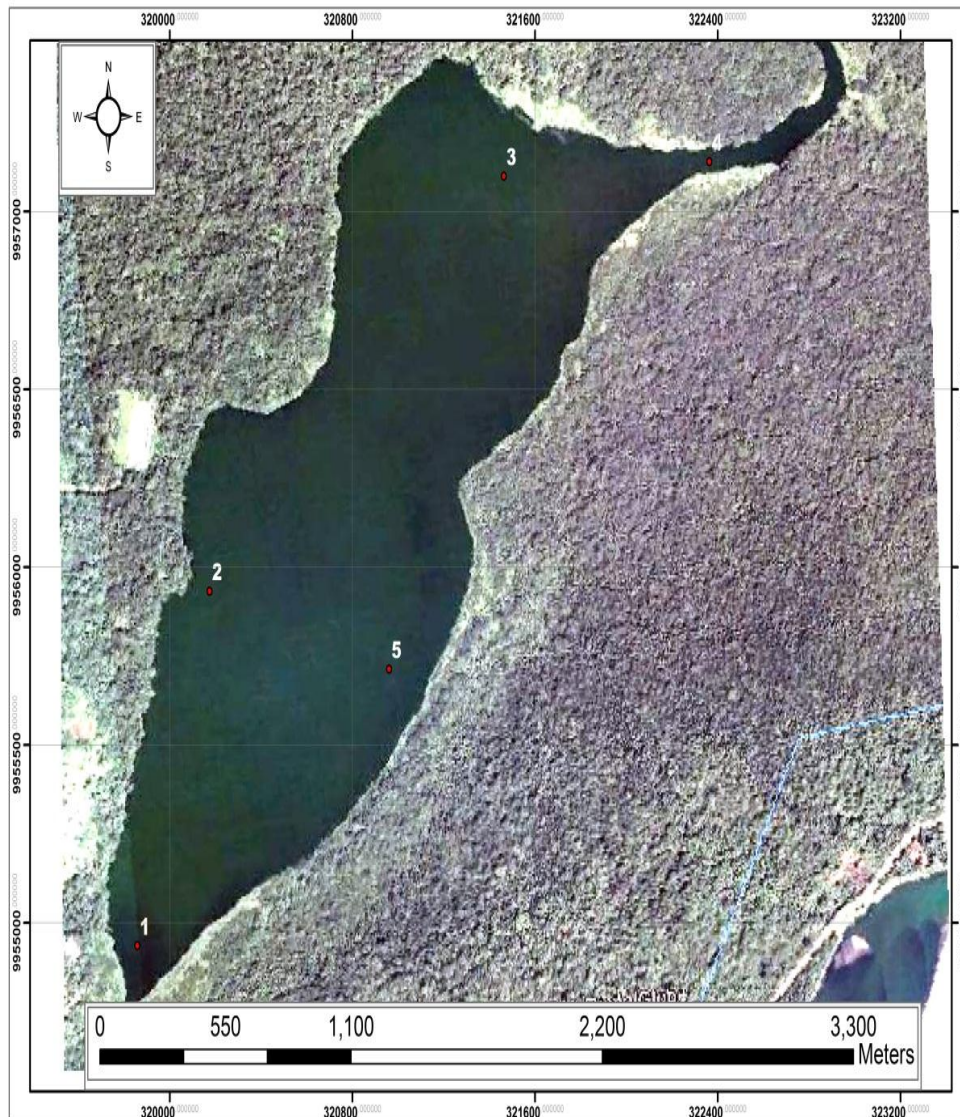


Figura 4: Estaciones de muestreo ubicadas en la laguna Limoncocha, (Ordóñez & Espinoza, 2013), fuente: earth.google.com.



Figura 5: Muestreador de núcleos, (35 cm de longitud).



Figura 6: Dispositivo acoplado para recolección de sedimentos superficiales.



Figura 7: Muestra de sedimento en “cartucho” del nucleador.



Figura 8: Almacenamiento de muestras de sedimentos en fundas de polietileno.



Figura 9: Almacenamiento de muestras de sedimentos en recipientes plásticos.

MUESTRA N° 1.

Fecha de recolección: 20 de Octubre del 2012.

Ubicación: frente al muelle (zona sur oeste de la laguna).

Coordenadas: 319858 – 9954935

Profundidad: 2,2 metros ; **espesor del núcleo:** 35 cm



Figura 10: Punto de muestreo 1, frente al muelle.



Figura 11: Muestra de sedimento punto N° 1.

MUESTRA N° 2.

Fecha de recolección: 20 de Octubre del 2012.

Ubicación: frente a la antena, (zona occidental de la laguna)

Coordenadas: 320174 – 9955932

Profundidad: 2,9 metros ; **espesor del núcleo:** 35 cm



Figura 12: Punto de muestreo 2, frente a la antena (oeste).



Figura 13: Muestra de sedimento punto N° 2.

MUESTRA N° 3.

Fecha de recolección: 20 de Octubre del 2012.

Ubicación: desembocadura del río Pishira (zona norte de la laguna).

Coordenadas: 321463 – 9957099

Profundidad: 2,9 metros ; **espesor del núcleo:** 35 cm



Figura 14: Punto de muestreo 3, desembocadura río Pishira.



Figura 15: Muestra de sedimento punto N° 3.

MUESTRA N° 4.

Fecha de recolección: 20 de Octubre del 2012.

Ubicación: entrada al “caño” (zona norte de la laguna).

Coordenadas: 322363 – 9957140

Profundidad: 2,3 metros ; **espesor del núcleo:** 35 cm



Figura 16: Punto de muestreo 4, entrada al “caño”.



Figura 17: Muestra de sedimento punto N° 4.

MUESTRA N° 5.

Fecha de recolección: 20 de Octubre del 2012.

Ubicación: frente a la antena (zona este de la laguna).

Coordenadas: 320961 – 9955713

Profundidad: 1,4 metros ; **espesor del núcleo:** 35 cm



Figura 18: Punto de muestreo 5, frente a la antena (este).



Figura 19: Muestra de sedimento punto N° 5.

Registro de la profundidad

Para determinar la profundidad a la que se tomaron las muestras de sedimentos se utilizó una sonda para medición de profundidad basada en la emisión de impulsos de alta frecuencia (sonar) que se reflejan en el fondo de la laguna.



Figura 20: Sonda portátil de profundidad DEPTHMATE® .

2.5.2 Métodos de caracterización y análisis geoquímicos

2.5.2.1 Pre-tratamiento de las muestras

Las muestras de sedimentos fueron secadas a 60 °C en estufa eléctrica, durante 24 horas, luego fueron pulverizadas en un mortero de porcelana y almacenadas en recipientes de vidrio para la realización de todos los ensayos y análisis con excepción de las mediciones de Hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y el contenido de sólidos en el sedimento (humedad), (Vogel, 1992).



Figura 21: Secado y almacenamiento de muestras.

2.5.2.2 Análisis granulométrico

El análisis del tamaño de partícula se llevó a cabo pesando 100 g de sedimento seco (P_1) y tamizando en un juego de cuatro tamices, con tamaños de poro de 180 a 45 μm ; la fracción de sedimento retenida en cada tamiz fue pesada (P_2) para calcular posteriormente el porcentaje retenido (P_R), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P_R (\%) = 100 (P_2 / P_1) \quad (1)$$



Figura 22: Juego de tamices COLE PARMER®

2.5.2.3 Determinación de la densidad

La determinación de la densidad del sedimento (D_s) se realizó empleando el método del picnómetro, para lo cual se realizaron cuatro pesadas:

- Picnómetro vacío (M_p)
- Picnómetro con el sedimento seco (M_s)
- Picnómetro lleno de agua destilada (M_a)
- Picnómetro con el sedimento seco y lleno de agua destilada (M_{sa}).
- densidad del agua destilada (D_a) a 20°C (temperatura del agua destilada durante el ensayo) es 1,00 g/cm³

La fórmula para el cálculo:

$$D_s \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{(M_s - M_p) D_a}{M_a + M_s - M_p - M_{sa}} \quad (2)$$



Figura 23: picnómetro de vidrio, (25 mL de capacidad).

2.5.2.4 Análisis mineralógico

Las muestras de sedimentos secos pasadas a través del tamiz # 325 fueron enviadas al Laboratorio del Instituto Nacional Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INIGEMM) para la realización del análisis mineralógico por el método de Difracción de Rayos X.



Figura 24: Difractómetro de Rayos X, Siemens D5000 (INIGEMM, 2013)

2.5.2.5 Contenido de sólidos

Para la determinación del contenido de sólidos en los sedimentos (SS_{ed}), se utilizó el método gravimétrico que consiste en pesar 5 a 10 g de muestra de sedimento húmedo (P_H) y colocar en una cápsula de porcelana previamente pesada (C_P); a continuación, secar en una estufa eléctrica a 105 °C hasta “peso constante” (P_S).

Para el cálculo del contenido de sólidos se empleó la siguiente fórmula:

$$SS_{ed} (\%) = 100 (P_S - C_P) / P_H \quad (3)$$



Figura 25: Estufa eléctrica MEMMET.

2.5.2.6 Medición del pH.

Su determinación se realizó en una suspensión del sedimento en agua destilada con una relación de 1:10, (Díaz, 2005).

La suspensión preparada se mezcló mediante un agitador magnético por 15 minutos; luego se dejó en reposo por 15 minutos y finalmente se registró los valores del pH una vez que se han estabilizado.

La calibración del medidor de pH se llevó a cabo mediante soluciones tampón HACH® de pH= 4,00 (+/- 0,02) y pH= 7,00 (+/- 0,02), a 20 °C.



Figura 26: Medidor de pH, HACH 280.

2.5.2.7 Contenido de materia orgánica

La materia orgánica (M_O) fue determinada basándose en el método descrito por De la Lanza (1980); Bernal & Betancur (1996). Este método se fundamenta en la mineralización total de la materia orgánica que se encuentra presente en los sedimentos lacustres, lo cual se consiguió a través de la calcinación de la muestra en una mufla eléctrica a 550 °C por una hora, de manera que se obtuvo un residuo fijo.

Se pesó entre 5 y 10 g de muestra seca (X_1) en un crisol de porcelana previamente pesado (X_2). Luego de la calcinación se vuelve a pesar el crisol más el residuo (X_3).

El cálculo se llevó a cabo empleando la siguiente fórmula:

$$M_O (\%) = 100 (X_3 - X_2) / X_1 \quad (4)$$



Figura 27: Mufla eléctrica WISE THERM.

2.5.2.8 Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)

El ensayo para la medición de TPH se realizó utilizando los métodos EPA 3500B para la extracción y preparación de la muestra de sedimento y el método EPA 8440 para la medición de la concentración de TPH por Espectrofotometría infrarroja.

El procedimiento consistió en pesar 2 g de **sedimento húmedo** (P_{SH}) en un vaso de precipitación; agregar 10 mL de solvente orgánico S-316 y agitar por 10 minutos. A continuación filtrar a través de papel filtro conteniendo 1g de sulfato de sodio anhidro; el filtrado se recogió en un balón aforado de 10 mL (V_S), (completar el volumen hasta el enrase con solvente S-316).

Se preparó la curva de calibración usando como estándar octano puro. Para la medición de la concentración de TPH el líquido obtenido se trasvasa a la celda de medición y se registra la lectura de absorbancia que luego se interpola en la curva de calibración. (L_{IR})

Para los cálculos se utilizó la siguiente fórmula que representa el contenido de TPH en mg /kg de sedimento húmedo:

$$\text{TPH (mg/kg)} = [\text{L}_{\text{IR}} (\text{mg L}^{-1}) \cdot \text{V}_s (\text{L}) \cdot 10^3 (\text{g kg}^{-1})] / \text{P}_{\text{SH}} (\text{g}) \quad (5)$$

Para expresar la concentración de TPH en el sedimento seco se consideró el contenido de humedad de la muestra:

$$\% \text{Humedad} = 100 - \% \text{sólidos} \quad (6)$$



Figura 28: Analizador de TPH, BUCK SCIENTIFIC 101

2.5.2.9 Fósforo total

Para la determinación de fósforo total contenido en el sedimento se empleó el método de Valderrama, JC (1981) modificado, que se basa en la oxidación de todos los compuestos fosforados en un medio ácido.

En un tubo de ensayo se mezclaron 2 g de muestra seca, (M_1) con 10 mL del reactivo “oxidante” (mezcla de 50 g de persulfato de potasio y 30 g de ácido

bórico disueltos en un litro de agua destilada) y se procede a su digestión por 120 minutos a 125 °C; luego se filtró y el líquido obtenido se afora en un balón de 25 mL de capacidad, (V_P).

A continuación se realizó la medición de la concentración de P total en el sedimento, (M_P) mediante la técnica de Espectrofotometría UV/visible con reactivo de molibdato de amonio (PhosVer3 HACH®).

Para el cálculo se emplea la ecuación:

$$P_{\text{total}} (\text{mg/kg}) = [M_P (\text{mg L}^{-1}) \cdot V_P (\text{L}) \cdot 10^3 (\text{g kg}^{-1})] / M_I (\text{g}) \quad (7)$$



Figura 29: Espectrofotómetro HACH 5000 y digestor.

2.5.2.10 Nitrógeno total

Para la determinación de nitrógeno total en los sedimentos se empleó el método Kjeldhal modificado (Ebina, 1980) que se desarrolla en dos etapas: digestión y destilación.

Digestión: Se pesa 2 g de sedimento seco (P_s), se lleva al tubo de digestión se agrega 50 mL de ácido sulfúrico concentrado; se añade 20 g de sulfato de sodio anhidro y 1 g de sulfato de cobre pentahidratado. Se calienta en el digestor a 350 °C durante dos horas; dejar enfriar.

Destilación: Una vez frío el tubo de digestión, se diluyó con 100 mL de agua destilada y 40 mL de hidróxido de sodio al 40% más 0,5 g de granallas de zinc. Se pasa el tubo al equipo de destilación y se procede a destilar hasta que en el recipiente de condensación que contiene 25 mL de solución de ácido bórico al 4% haya recibido 100 mL de destilado el cual se valora con solución de H_2SO_4 0,5 N usando como indicador, anaranjado de metilo.

Los cálculos se realizaron utilizando la fórmula:

$$N_{\text{total}} \text{ (mg/kg)} = [N_{\text{ácido}} \cdot V_{\text{ácido}} \cdot 14 \cdot 1000 \text{ g}] / P_s \text{ (g)} \text{ (kg)} \quad (8)$$

Dónde:

$N_{\text{ácido}}$ = normalidad del ácido sulfúrico (# eq/L)

$V_{\text{ácido}}$ = volumen de ácido sulfúrico consumido (L)



Figura 30: Equipo de digestión INKJEL M.



Figura 31: Equipo de destilación micro Kjeldhal BEHR S1.

2.5.2.11 Análisis de Metales

Para la determinación de metales en los sedimentos muestreados se utilizaron los métodos: USEPA 3050 “Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos” (Edgell, 2005); (Kimbrough, 1989).

El procedimiento seguido consistió en pesar 2 g de sedimento seco (M_1), en un vaso de precipitación al cual se añadió 10 mL de Ácido nítrico (1:1) y calentó a ebullición por 10 minutos; luego se adicionan 5 mL de HNO_3 concentrado y hervir por 30 minutos. Evaporar hasta obtener un volumen final de aproximadamente 5 mL.

Enfriar y añadir 2mL de agua destilada y 3 mL de peróxido de hidrógeno al 30%; continuar la adición de alícuotas 1 mL de H_2O_2 hasta que cese el “burbujeo”; reducir el volumen a 5 mL.

Adicionar 10 mL de ácido clorhídrico concentrado y hervir por 15 minutos. Enfriar y filtrar a través de papel filtro (Whatman # 41) recolectando la solución resultante en un balón aforado de 50 mL, (V_F).

Finalmente, se analizó el contenido de metales en la disolución (C_S) mediante el método de Espectrometría de Absorción Atómica con llama (EAA)

Para preparar la curva de calibración de cada elemento se usaron soluciones patrón de la casa comercial Baker[®].

Los cálculos se efectuaron mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Metal (mg/kg)} = [C_S (\text{mg L}^{-1}) \cdot V_F (\text{L}) \cdot 10^3 (\text{g kg}^{-1})] / M_1 (\text{g}) \quad (9)$$



Figura 32: Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AA 200.

2.6 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

Los equipos y materiales empleados en esta investigación han sido calibrados y validados por los fabricantes. Las soluciones empleadas tienen certificación del Laboratorio de origen.

2.7 PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos de las muestras de sedimento codificadas corresponden al promedio de tres replicas realizadas para cada ensayo; luego se clasificaron y agruparon de acuerdo al parámetro medido, y finalmente se registraron en tablas.

A partir de estos datos, 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 recolectados los sedimentos.

En ciertos casos se ha aplicado un tratamiento estadístico básico a los resultados obtenidos para conocer valores estadísticos notables, que permitan realizar generalizaciones válidas, como el diagrama de caja y bigote (box spot) que nos permite visualizar la dispersión y simetría de los datos experimentales obtenidos.

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1 LEVANTAMIENTO DE DATOS

Los datos de campo y resultados de los análisis de Laboratorio fueron recopilados en una libreta de campo y cuaderno de datos donde se registraron las observaciones y las mediciones realizadas.

3.2 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.2.1 Medición de la profundidad.

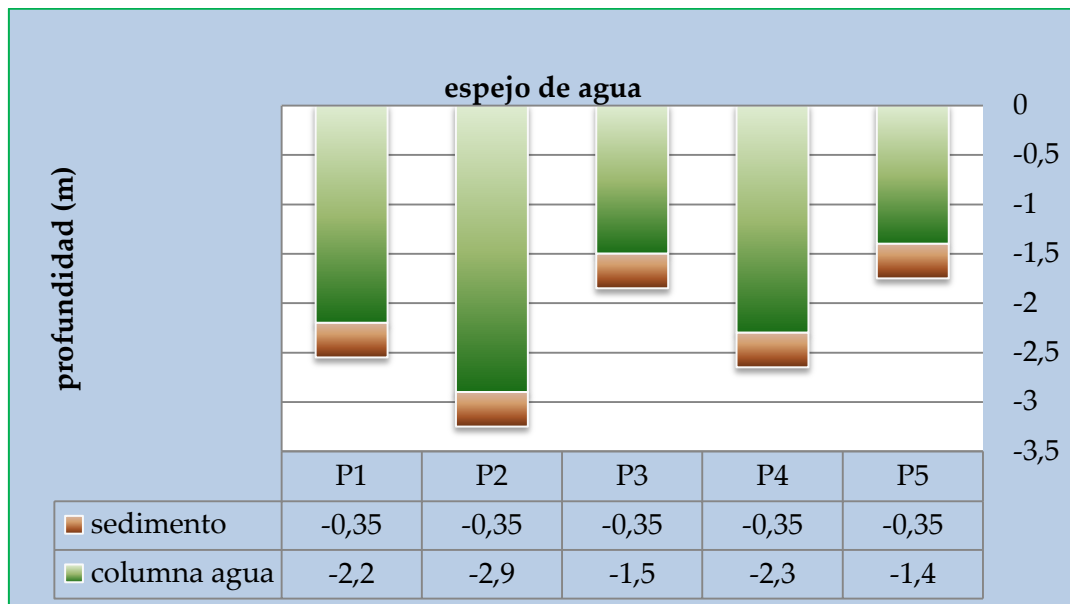


Figura 33: Profundidad registrada para cada estación de muestreo.

3.2.2 Análisis Granulométrico.

Tabla 2: Ensayo de tamizado: (%) retenido.

muestra #	mallá 80	mallá 100	mallá 200	mallá 325	pasa
	0,177 mm	0,149 mm	0,074 mm	0,044 mm	
1	4,40	0,12	0,14	0,21	95,13
2	4,42	0,10	0,12	0,22	95,14
3	7,55	0,22	0,25	0,24	91,74
4	4,02	0,23	0,21	0,24	95,30
5	9,78	0,10	0,16	0,23	89,73

Tabla 3: Ensayo de tamizado: (%) retenido acumulado

muestra #	mallá 80	mallá 100	mallá 200	mallá 325	pasa
	0,177 mm	0,149 mm	0,074 mm	0,044 mm	
1	4,40	4,52	4,66	4,87	100
2	4,42	4,52	4,64	4,86	100
3	7,55	7,77	8,02	8,26	100
4	4,02	4,25	4,46	4,70	100
5	9,78	9,88	10,04	10,27	100

Según el sistema de la American Society for Testing and Materials, ASTM, las fracciones tienen las siguientes denominaciones:

Tabla 4: Equivalencia de diámetro de partícula a fracción identificable.

Fracción	Diámetro (mm)
Arena	2 a 0,075
Limo	0,075 a 0,005
Arcilla	Menor a 0,005

Por tanto, la composición aproximada de las muestras de sedimento (en base al % retenido acumulado), sería:

Tabla 5: Composición en fracciones (granulométricas) de los sedimentos.

Muestra #	Arena %	Limo %	Arcilla %
1	4,66	0,21	95,33
2	4,64	0,22	95,35
3	8,02	0,24	91,94
4	4,46	0,24	95,50
5	10,04	0,23	89,93
<i>promedio</i>	<i>6,36</i>	<i>0,23</i>	<i>93,61</i>
<i>Desviación estándar</i>	<i>2,53</i>	<i>0,01</i>	<i>2,54</i>

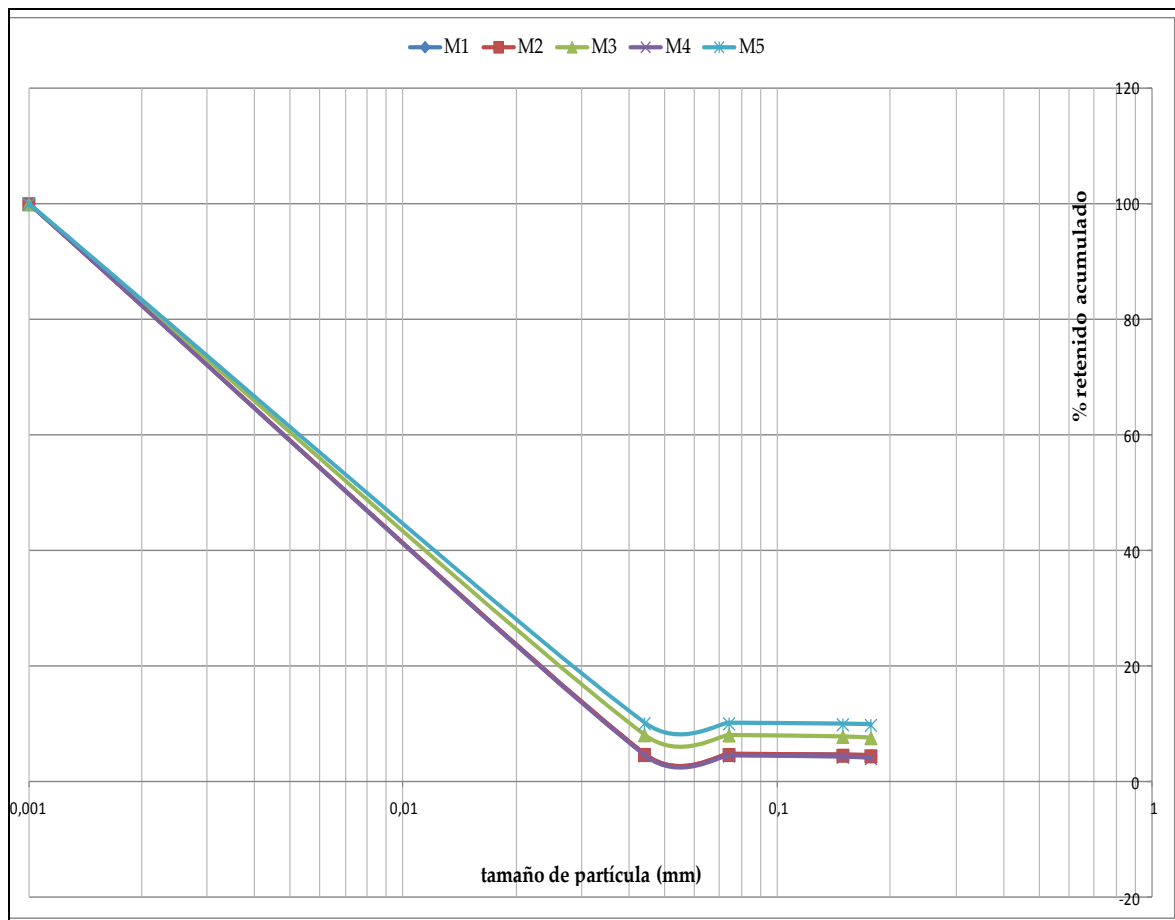


Figura 34: Curva granulométrica de los sedimentos.

Observando la curva granulométrica para las cinco muestras de sedimentos recolectadas, se aprecia que el tamaño de partícula predominante en todos los casos es inferior a 0,075 mm (75 μ m), que corresponde a la fracción limo-arcillosa, 93,84% (+/- 2,54).

Si el valor de la composición en fracciones de cada uno de los sedimentos los representamos en el diagrama de textura (Shepard, 1954), observamos que las muestras ensayadas se ubican en el sector de textura arcillosa.

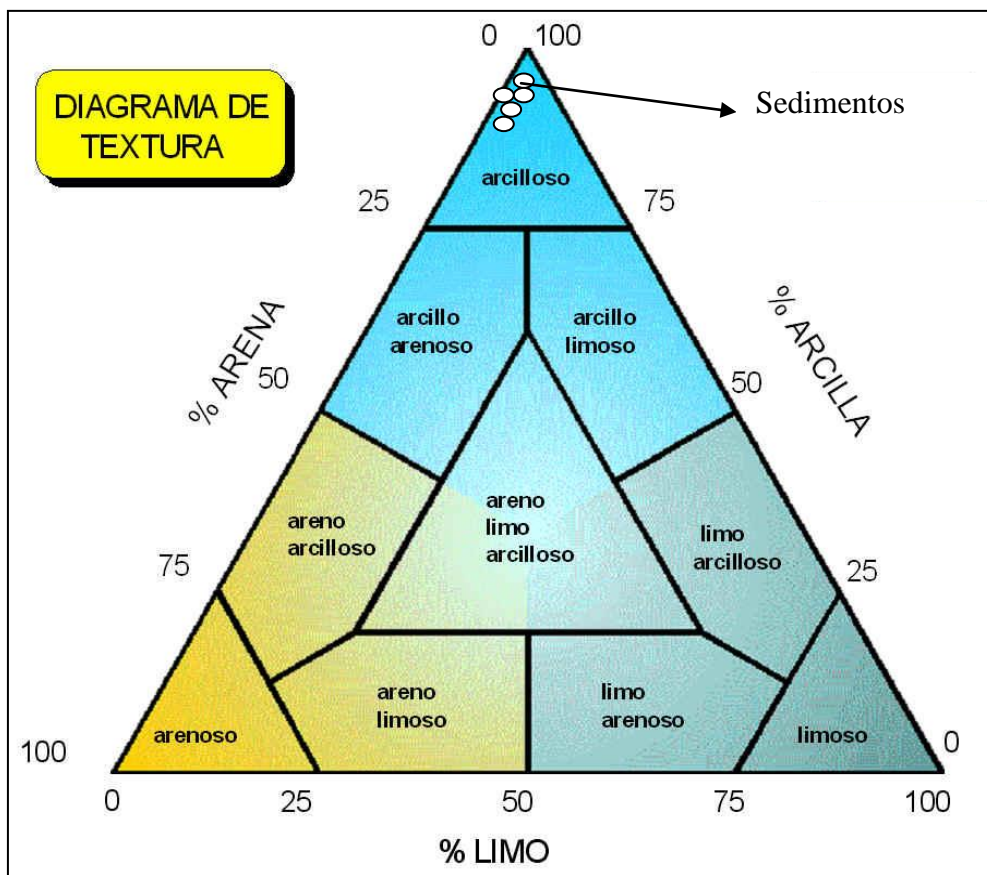


Figura 35: Diagrama de textura, (Shepard, W 1954)

3.2.3 Determinación de la Densidad.

Tabla 6: densidad relativa de los sedimentos.

Muestra #	Densidad g/cm ³
1	2,42
2	2,46
3	1,78
4	1,96
5	2,20

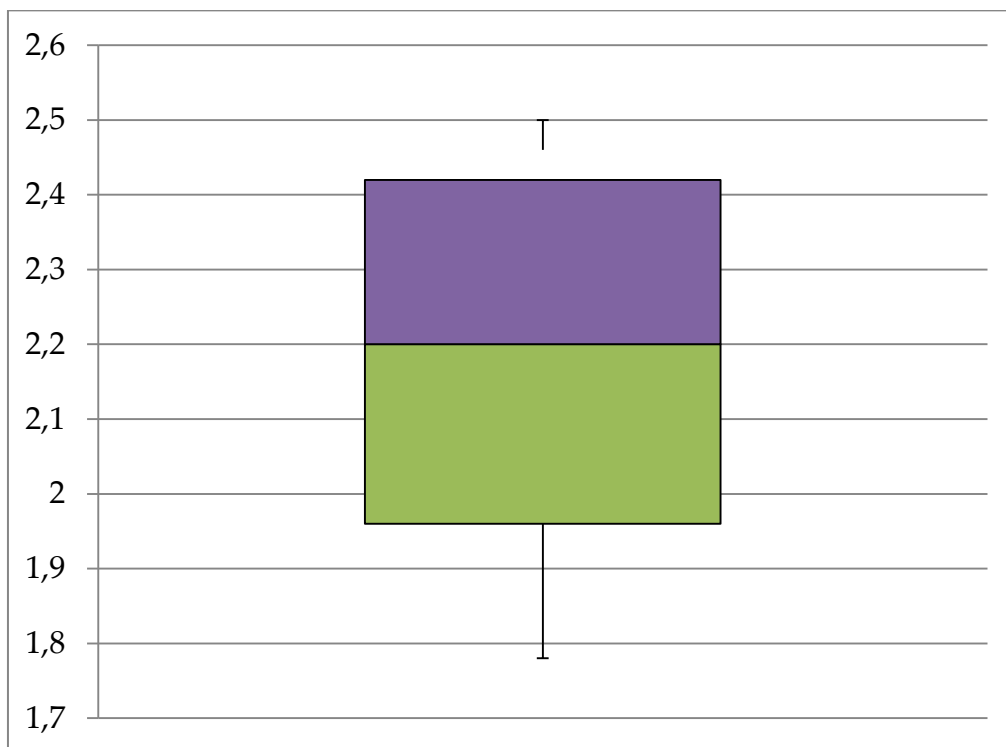


Figura 36: Diagrama de “caja” para la densidad de los sedimentos de la laguna

La mediana de la densidad relativa del sedimento fue 2,20 g/cm³; Los valores percentiles P₂₅ y P₇₅ son 1,96 y 2,42 g/cm³ respectivamente; el rango de valores para el análisis estadístico aplicado fue de 0,64, mientras que los valores mínimo y máximo, son 1,00 y 3,38 g/cm³;

Como los datos experimentales de densidad de las muestras se hallan dentro de estos límites podemos afirmar que no existen datos con valores atípicos.

Los valores de densidad de las muestras recolectadas en el sector sur y centro de la laguna son ciertamente mayores (más compactas) que las de la zona norte.

La densidad de las muestras 3 y 4, que corresponden al sector norte de la laguna tienen valores más bajos (1,78 y 1,96 g/cm³) respectivamente, debido a la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en su composición.

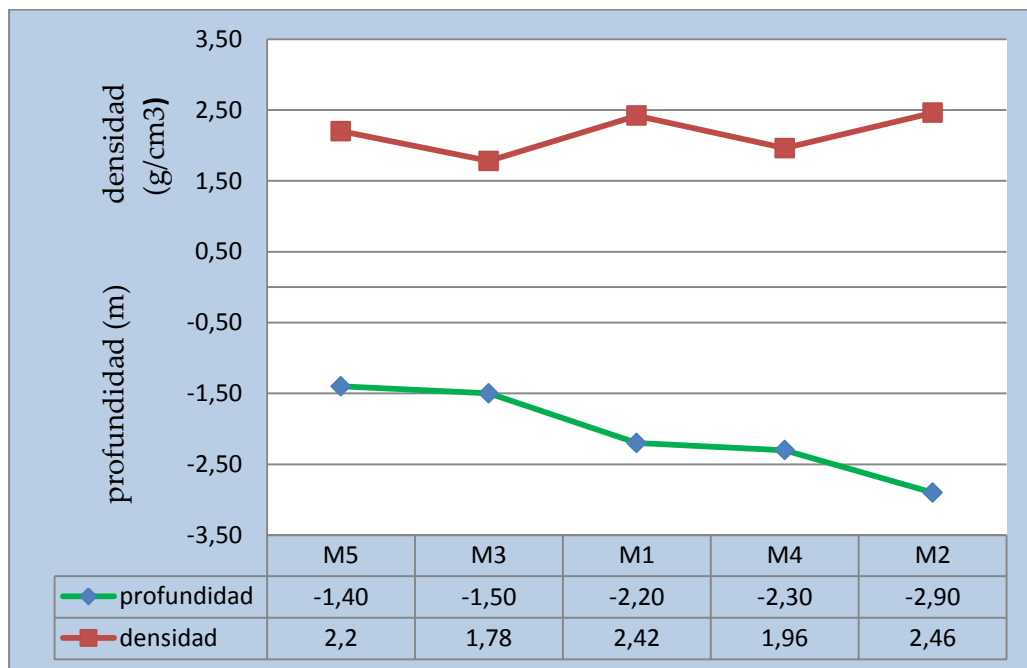


Figura 37: Correlación entre la profundidad y densidad del sedimento.

No se aprecia una correlación entre los parámetros de densidad relativa del sedimento y la profundidad a la que se recolectó el mismo. Esto se confirma con el valor del coeficiente de correlación $r^2 = 0,35$.

3.2.4 Análisis Mineralógico.

Tabla 7: especies minerales encontradas mediante Difracción de Rayos X.

mineral	Fórmula química	M1 %	M2 %	M3 %	M4 %	M5 %
albita	$\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$	62,0	64,0	25,5	57,0	34,0
anortita	$\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	3,5	4,0	15,5	3,0	14,5
cuarzo	SiO_2	5,0	5,0	8,0	4,5	10,5
dickita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	13,0	11,0	34,0	18,0	6,0
muscovita	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	14,0	14,0	15,5	15,0	29,0
hematita	Fe_2O_3	1,5	0,5	0,5	0,5	2,0
clinocloro	$\text{Al}_2\text{Mg}_5\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	<0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5
cordierita	$\text{Mg}_2(\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18})$	2,0	1,5	0,5	1,5	1,0
lazulita	$(\text{Fe,Mg})\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{H}_2\text{O}$	--	--	--	--	2,5

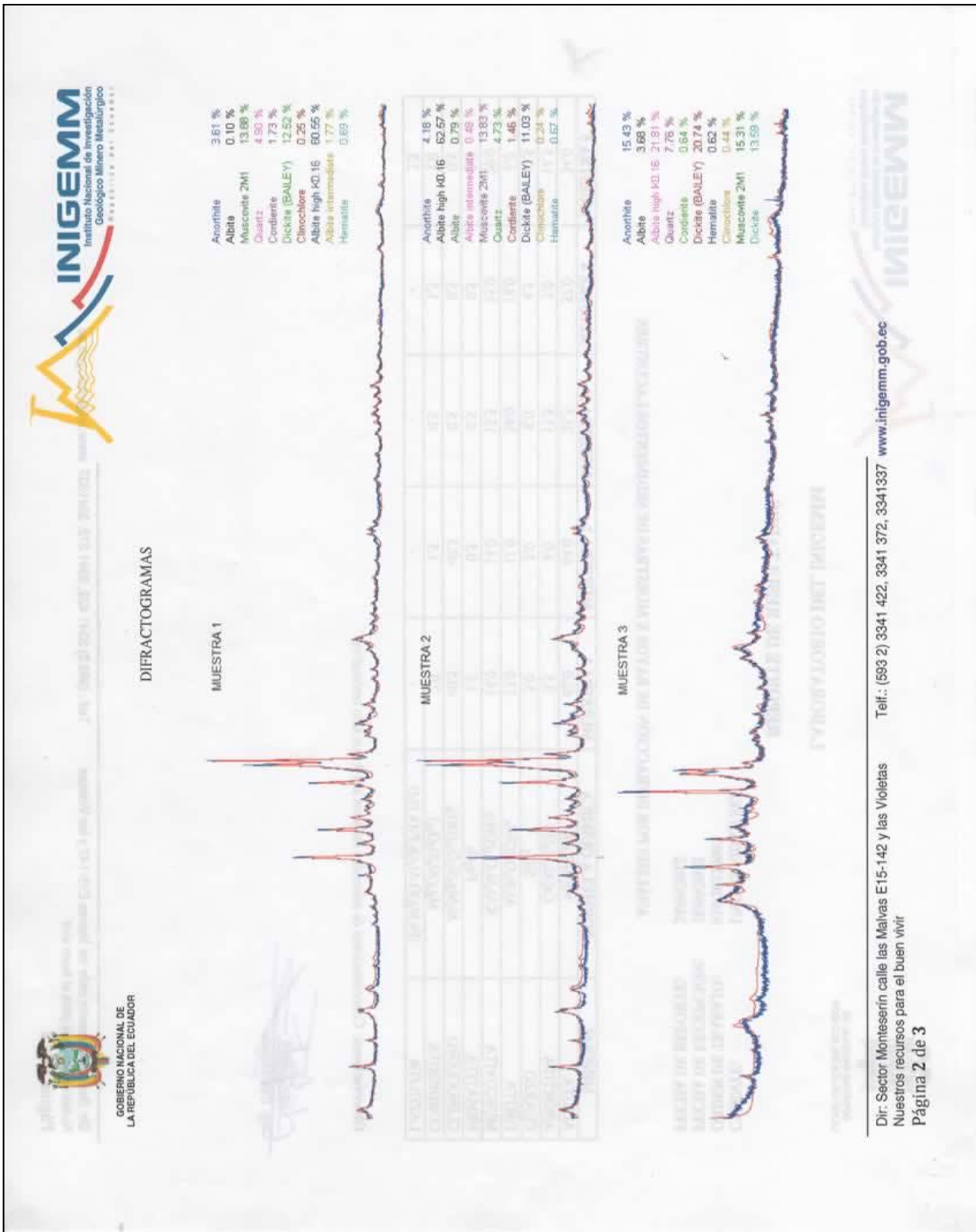


Figura 38: Difractogramas de las muestras 1,2 y 3 de sedimentos, (INIIGEMM,2012)

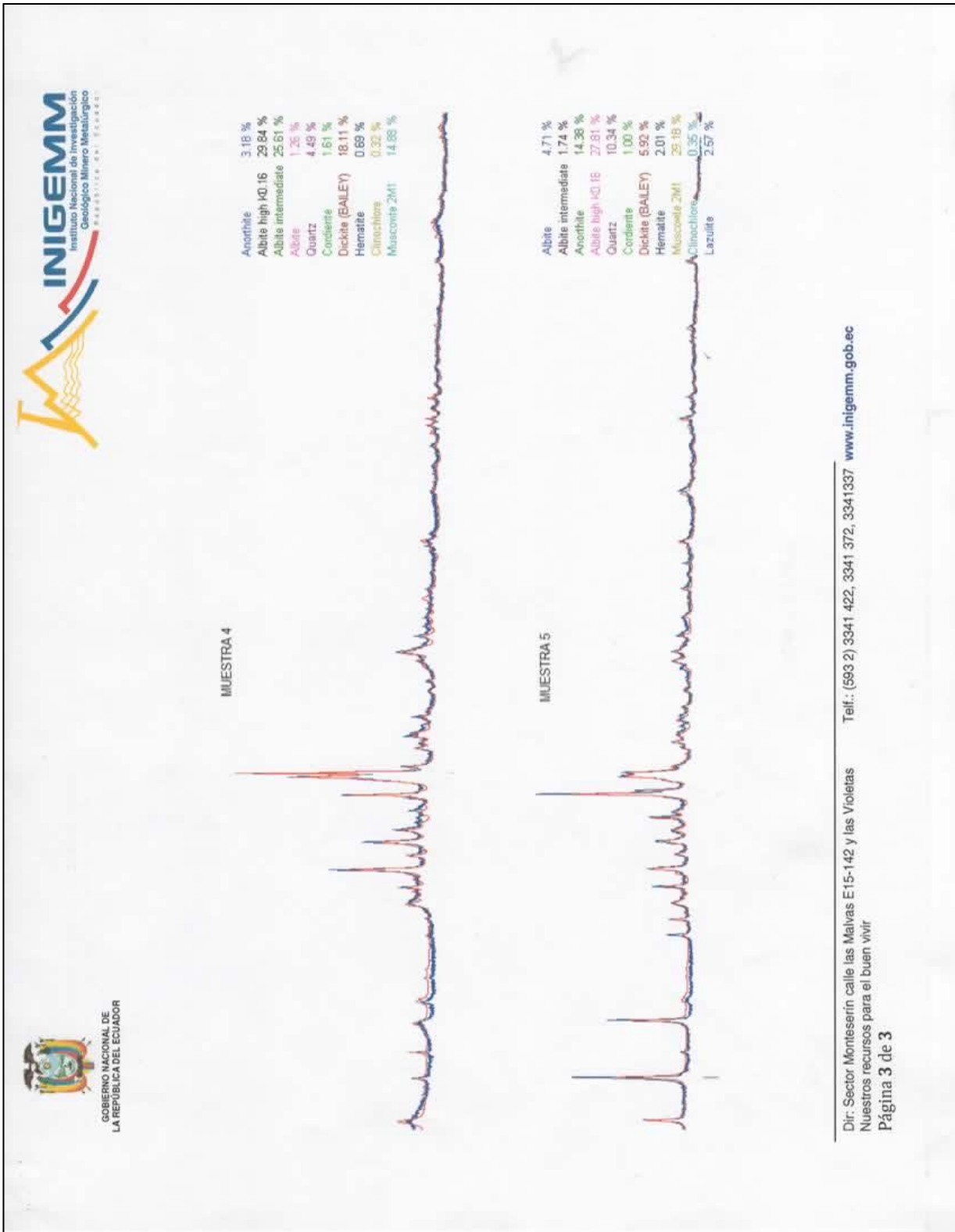


Figura 39: Difractogramas de las muestras 4 y 5 de sedimento, (INIGEMM, 2012)

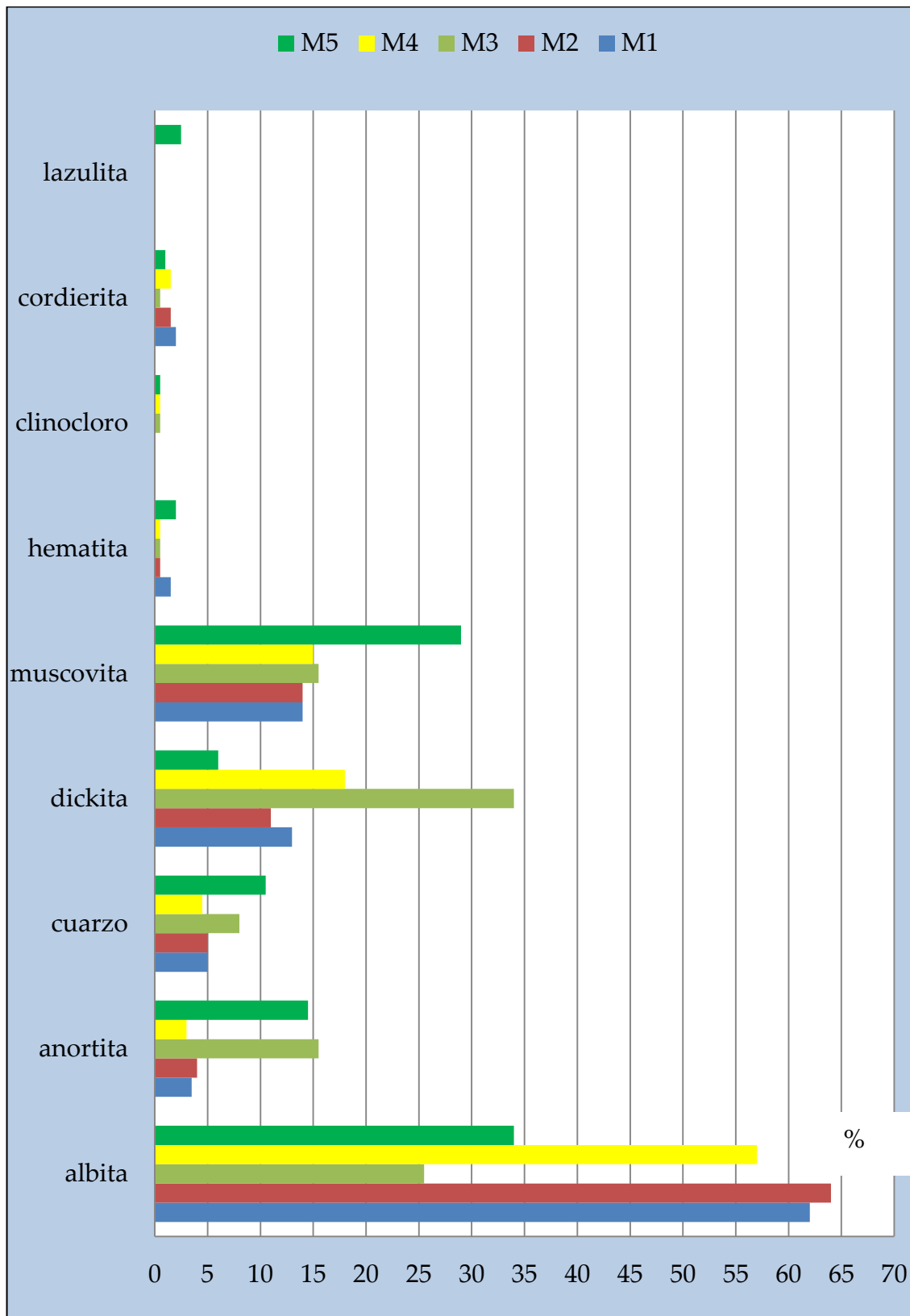


Figura 40: Composición porcentual de especies minerales en los sedimentos

La cantidad de feldespato (sódico y cálcico) presente en las muestras va desde 41 a 68 %; por lo que constituyó el mineral más abundante en el sedimento. Estos minerales son componentes esenciales, muy comunes de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

La presencia de micas (moscovita) representa la segunda en importancia dentro de la composición del sedimento; tiene valores que van de 14 a 29 %.

El siguiente mineral es la dickita, un aluminio silicato hidratado cuya cantidad en las muestras de sedimento varía entre 6 y 34%. Es un filosilicato que pertenece al grupo de la serpentina-caolinita, (arcillas).

La cantidad de cuarzo presente en las muestras está entre 4,5 y 10,5 %; es el componente mineral asociado a la fracción arenosa del sedimento.

El óxido de hierro, (Hematita), representa el 0,5 a 2% de las muestras de sedimento.

La cordierita, (aluminio silicato de magnesio), está presente en porcentajes que van desde 0,5 a 2 %. Es un mineral asociado a rocas metamórficas.

Lazulita, (hidroxi fosfato de aluminio, hierro y magnesio), es un mineral que se encuentra presente únicamente en la muestra 5, (zona este de la laguna). Pertenece al grupo de los fosfatos, es un mineral secundario asociado por lo general a rocas fuertemente metamórficas.

3.2.5 Contenido de sólidos.

Tabla 8: datos experimentales del contenido de sólidos en los sedimentos.

muestra #	sólidos g/cm ³
1	48,9
2	49,3
3	21,1
4	37,8
5	38,1

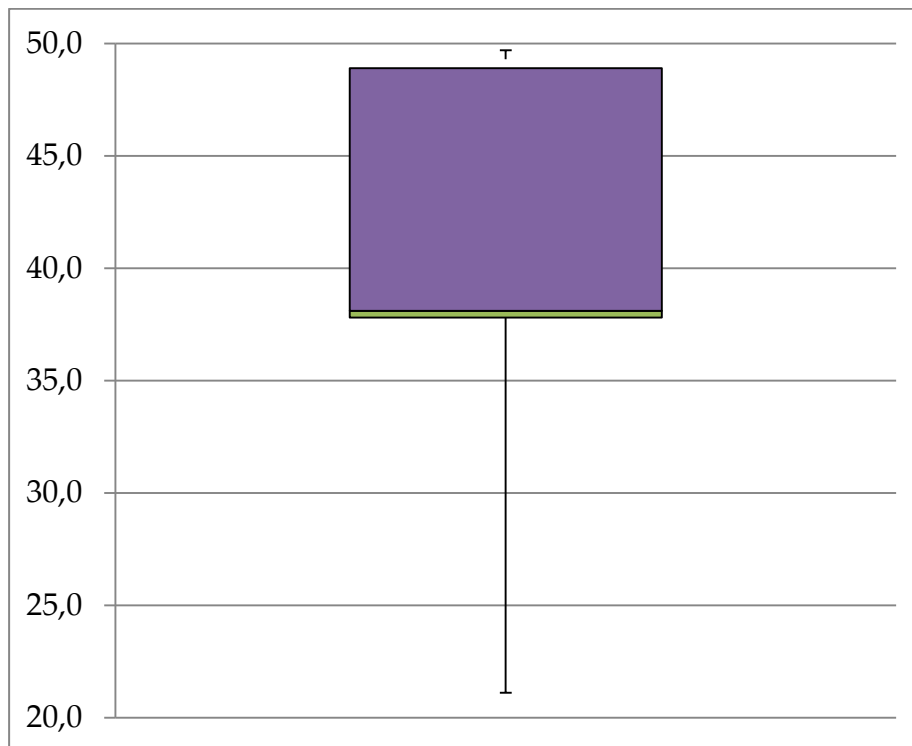


Figura 41: Diagrama de “caja” para el contenido de sólidos de los sedimentos.

La mediana para el contenido de sólidos de los sedimentos fue 38,1 %; Los valores percentiles P_{25} y P_{75} son 37,8 y 48,9 g/cm^3 respectivamente; el rango de valores para el análisis estadístico aplicado fue de 27,8, mientras que los valores mínimo y máximo, son 3,9 y 90,6 %;

Se observa que, los datos experimentales del contenido de sólidos de las muestras se hallan dentro de estos límites por tanto, no existen datos con valores atípicos.

Los sedimentos del sector sur y centro de la laguna son menos hidratados que los del sector del extremo norte de la laguna (el “Caño”). La muestra #3 en la desembocadura del río Pishira presenta el menor contenido de sólidos por lo que es “muy fluida”.

3.2.6 Medición del pH.

Tabla 9: valores experimentales del pH de los sedimentos

muestra #	pH
1	6,9
2	6,7
3	6,1
4	6,1
5	6,0

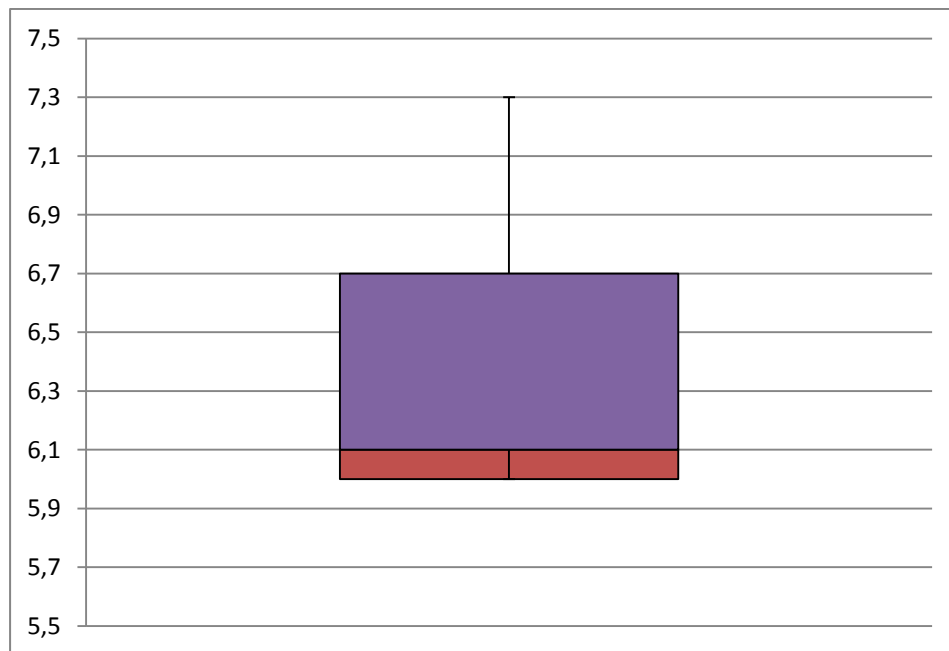


Figura 42: Diagrama de “caja” para el pH de los sedimentos.

La mediana para la medición de pH fue 6,1 %; Los valores percentiles P_{25} y P_{75} son 6,1 y 6,7 g/cm^3 para cada caso; el rango de valores para el análisis estadístico aplicado fue de 0,70, mientras que los valores mínimo y máximo, son 5,05 y 7,75. Los datos obtenidos muestran que, los valores de pH no rebasan los límites calculados; esto significa que no existen datos con valores fuera de rango.; los valores de pH en las muestras son bastante similares en toda la laguna y tienen pH ácido moderado.

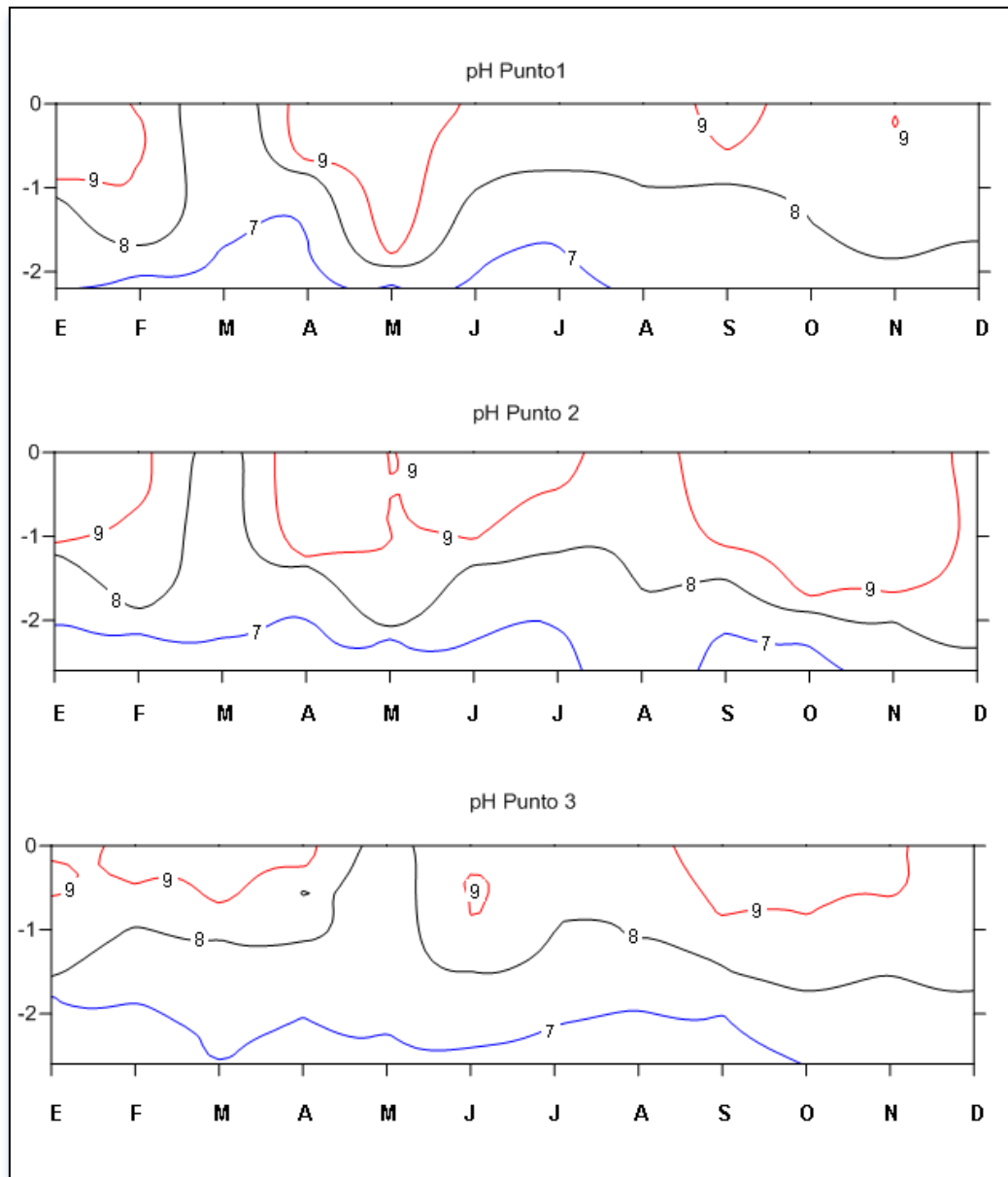


Figura 43: Isolneas de pH en el agua de la laguna Limoncocha registradas durante el año 2012, (Villalba., F comunicaci3n personal, 2013).

Si comparamos los valores de pH del sedimento con los valores de pH de la parte inferior columna de agua en la figura 43, se aprecia una concordancia de estos resultados pues pr3cticamente todos se encuentran en el rango de 6 a 7 unidades de pH.

3.2.7 Contenido de materia orgánica.

Tabla 10: Materia orgánica en los sedimentos

muestra #	% materia orgánica
1	7,3
2	6,2
3	22,2
4	15,2
5	10,3

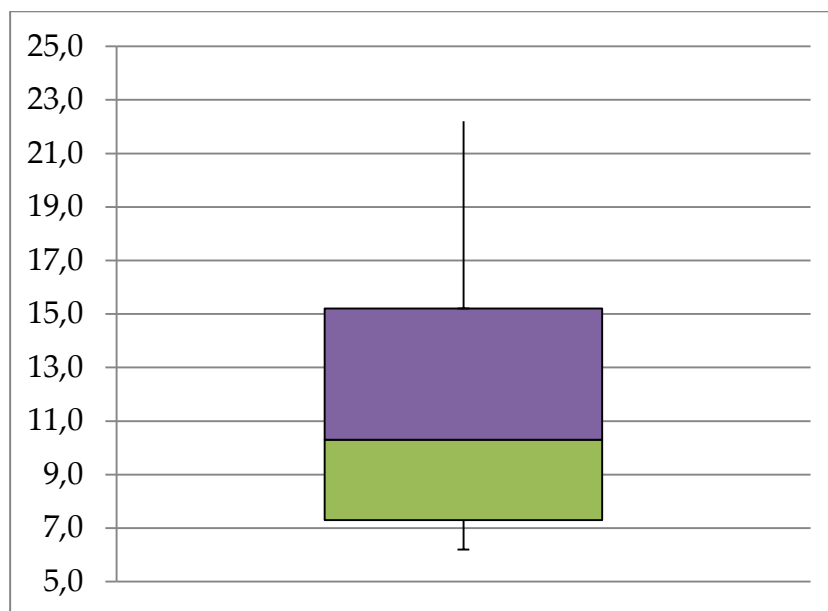


Figura 44: Diagrama de “caja” para la materia orgánica de los sedimentos.

La mediana para la medición de materia orgánica fue 10,3 %; Los valores percentiles P_{25} y P_{75} son 7,3 y 15,2 g/cm^3 respectivamente; el rango de valores para el análisis estadístico aplicado fue de 9,0, mientras que los valores mínimo y máximo, son -6,2 y 28,0.



Figura 45: Muestras de sedimento calcinadas.

La materia orgánica medida por el método utilizado representa prácticamente el contenido de carbono orgánico total del sedimento, ya que de acuerdo al análisis mineralógico no se registra la presencia de carbonatos; esto significa a su vez, la ausencia de carbono inorgánico, (Lima Da Costa, 2005).

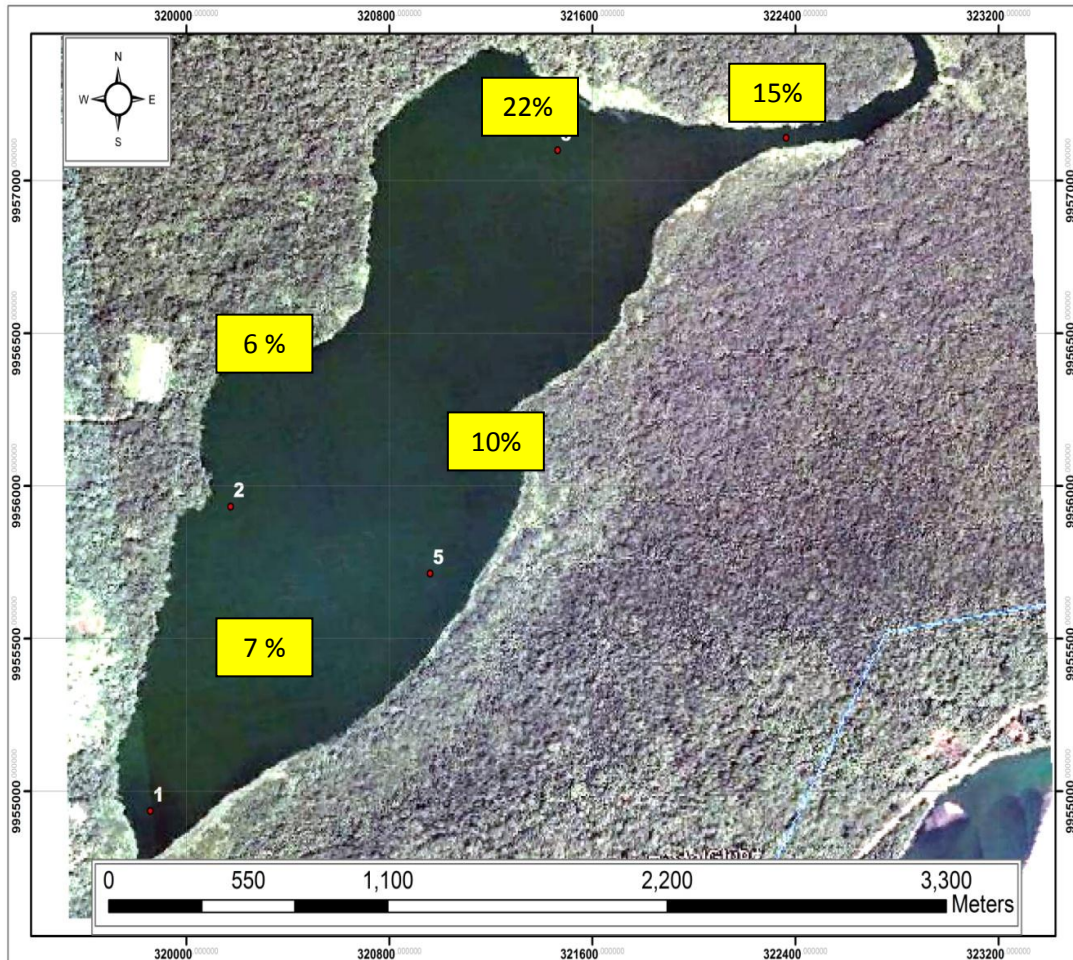


Figura 46: Distribución espacial del contenido de materia orgánica en los sectores muestreados de la Laguna Limoncocha.

El contenido de materia orgánica en la zona norte de la laguna es prácticamente el doble que el sector centro sur de la misma. Esta acumulación de materia orgánica puede atribuirse al acarreo de este tipo de material por el río Pishira en un caso, (materia orgánica alóctona), y del desagüe hacia la laguna de Yanacocha en el segundo caso. La materia orgánica en los otros puntos es de origen autóctono, es decir, se origina por descomposición de la biomasa vegetal y animal “*in situ*”.

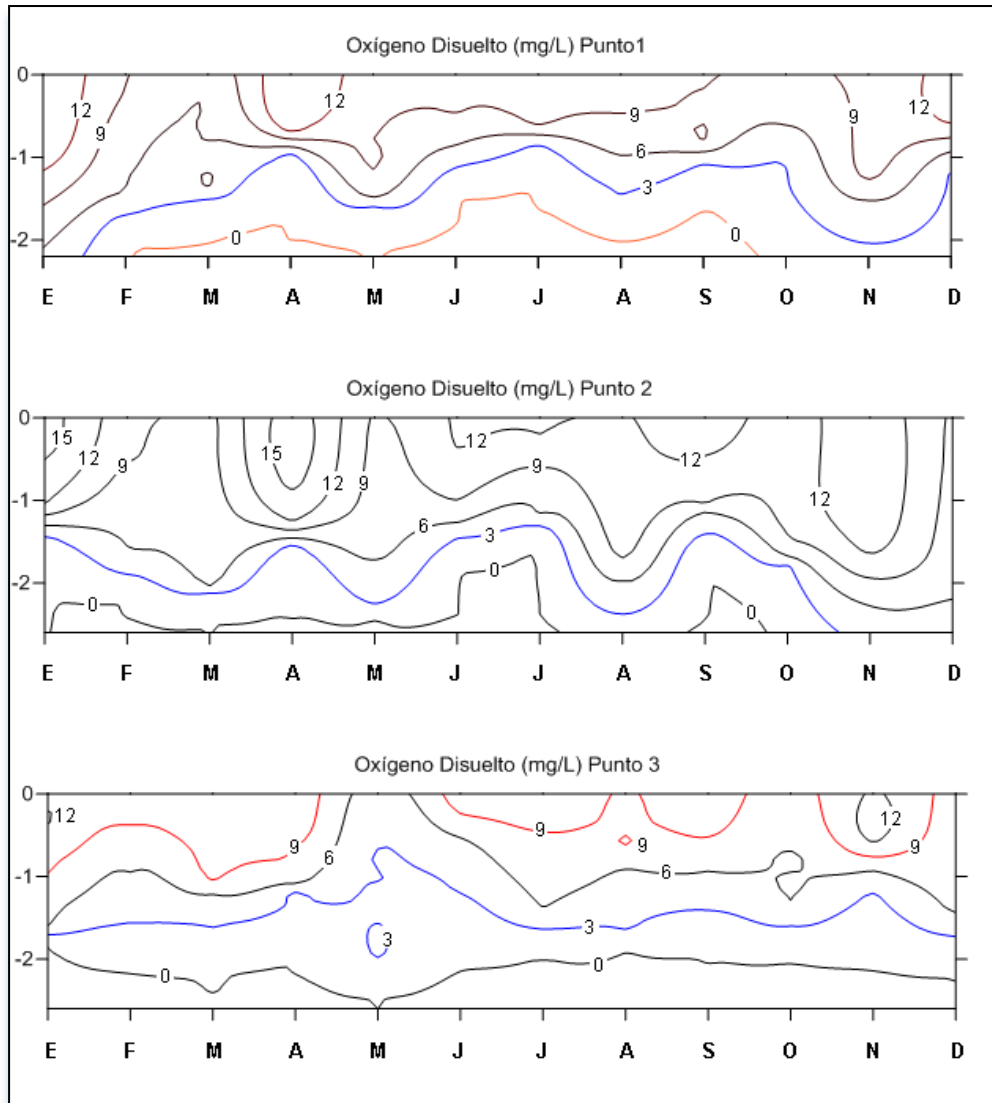


Figura 47: Isolíneas de oxígeno disuelto en el agua de la laguna Limoncocha registradas durante el año 2012, (Villalba., F comunicación personal, 2013).

En la figura 47, se observa un ambiente “anóxico” en el fondo de la laguna esto significa que, las especies químicas que componen el sedimento se hallan expuestas a un medio reductor carente de oxígeno disuelto.

3.2.8 Hidrocarburos totales de petróleo

Tabla 11: Contenido de TPH en los sedimentos.

muestra #	mg/kg húmedo
1	0,54
2	0,24
3	0,30
4	0,53
5	0,16

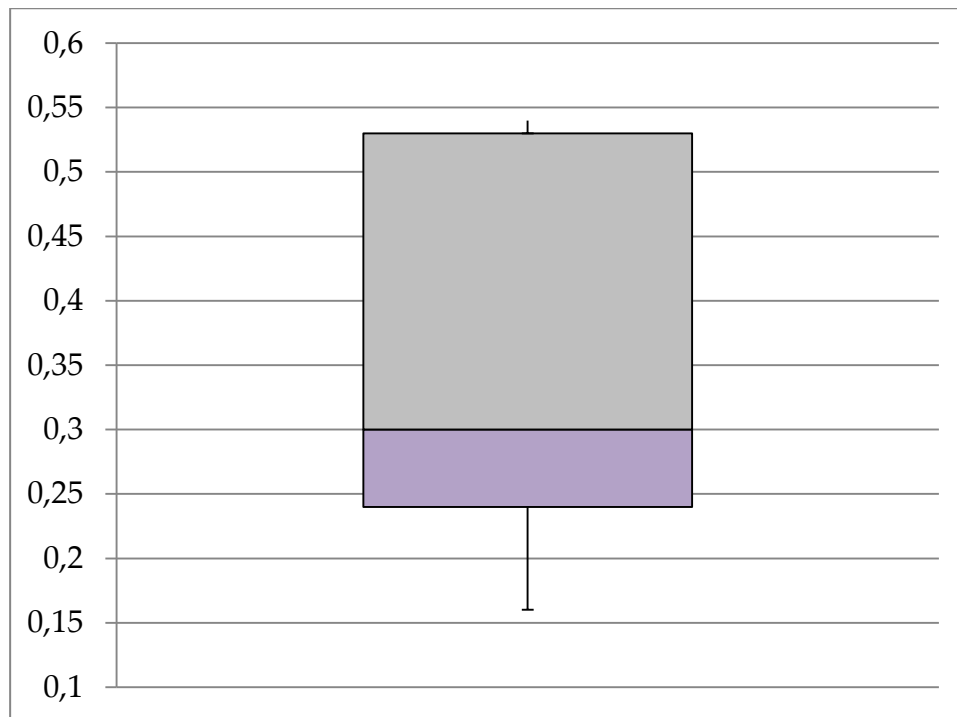


Figura 48: Diagrama de “caja” para la concentración de TPH.

La mediana para la concentración de TPH fue 0,30 mg/kg húmedo ; Los valores percentiles P_{25} y P_{75} son 0,24 y 0,54 mg/kg húmedo en cada caso; el rango de valores para el análisis estadístico aplicado fue de 0,29, mientras que los valores mínimo y máximo, son -0,20 y 0,97. Todos los datos obtenidos, se encuentran dentro de este rango, por lo que los datos registrados son normales.

Al igual que los otros parámetros medidos en el presente trabajo, no existen normas que fijen límites máximos de concentración en sedimentos; sin embargo y, en función a la experiencia del autor, los valores obtenidos pueden definirse como bajos si se considera que, en el área de la RBL donde se realizan tareas de explotación y transporte de Hidrocarburos las concentraciones de TPH de “fondo” (background) en suelo, oscilan entre 0,5 y 1,0 mg/kg húmedo (Ordóñez, 2011).

3.2.9 Fósforo Total.

Tabla 12: Concentración de Fósforo en los sedimentos.

muestra #	mg/kg
1	72,5
2	83,9
3	70,1
4	54
5	132,0

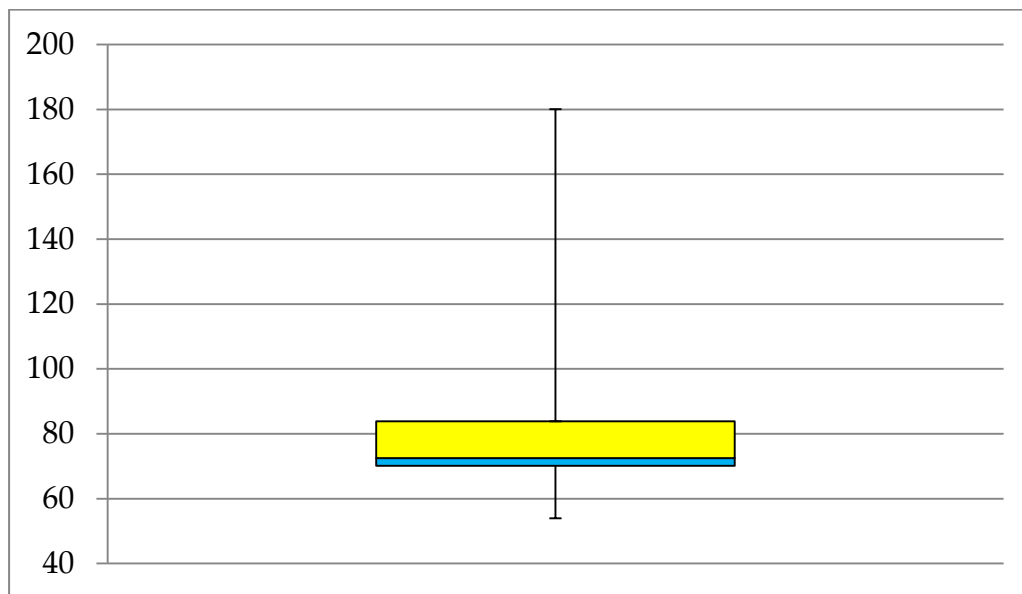


Figura 49: Diagrama de “caja” para la concentración de Fósforo total.

La mediana para la concentración de fósforo total fue 72,5 mg/kg; Los valores percentiles son; P₂₅, 70,1 y P₇₅ 83,9 mg/kg. El rango de valores para el análisis

estadístico fue 13,8, mientras que los valores mínimo y máximo, son 49,4 y 104,6. Existe un dato, (132 mg/kg, en el punto 5) que se halla fuera del rango de percentiles establecido es decir, se trata de un valor anómalo.

Si comparamos el valor promedio de P en los sedimentos: 82,6 mg/kg con el valor promedio de P en la columna de agua: 0,59 mg/L (Ortiz, 2012), observamos una relación de $(P_{\text{sedimentos}} / P_{\text{columna agua}}) = 140$.

3.2.10 Nitrógeno total.

Tabla 13: Concentración de Nitrógeno en los sedimentos.

muestra #	mg/kg
1	0,33
2	0,31
3	0,29
4	0,33
5	0,30

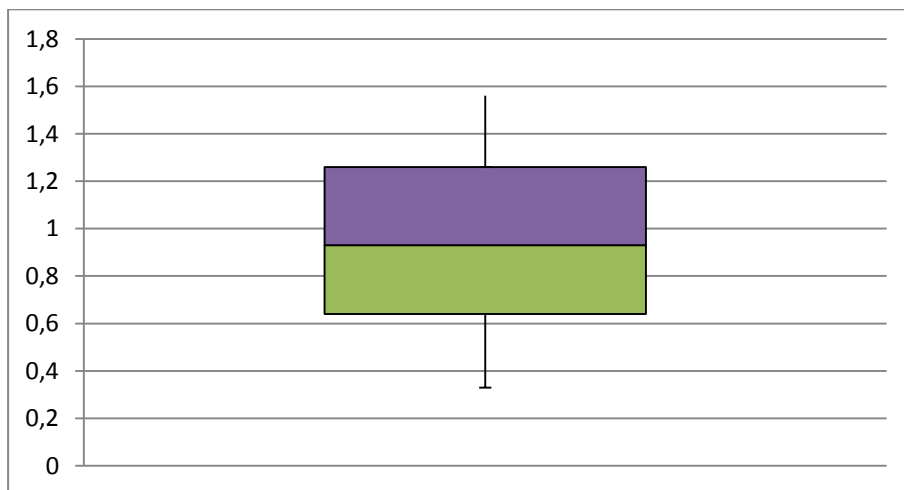


Figura 50: Diagrama de “caja” para la concentración de nitrógeno total.

La mediana para la concentración de nitrógeno total fue 0,31 mg/kg; Los valores percentiles son; P_{25} , 0,30 y P_{75} 0,33 mg/kg. El rango de valores para el análisis estadístico fue 0,12 mientras que los valores mínimo y máximo, son 0,26 y 0,38. No

existen valores que se hallen fuera del rango de percentiles establecido por tanto, no existen valores anómalos.

Del mismo modo, Si comparamos el valor promedio de N en los sedimentos: 0,31 mg/kg con el valor promedio de P en la columna de agua: 1,94 mg/L (Ortiz, 2012), observamos una relación de $(N_{\text{sedimentos}} / N_{\text{columna agua}}) = 0,16$.

Tabla 14: valores para la relación de concentración (mg/kg) Nitrógeno / Fósforo, (N/P).

Muestra #	N / P
1	0,004
2	0,004
3	0,004
4	0,006
5	0,002

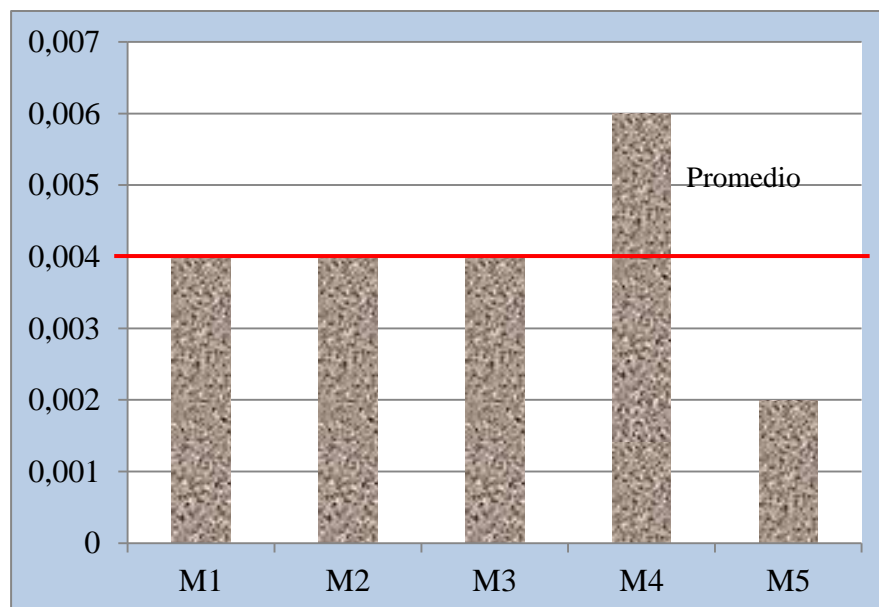


Figura 51: Relación N / P para los sedimentos.

La figura 49, muestra una relación más o menos homogénea para el cociente N/P. Los valores señalan una carencia de nitrógeno (orgánico e inorgánico) sedimentado en relación al fósforo depositado en el sedimento de la laguna. El valor promedio 0,004 indica una relación 1/250 en el cociente N/P.

La Figura 50, indica que no existe correlación entre las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el sedimento de la laguna ($r^2 = 0,23$), por lo que se puede afirmar que el proceso de disolución/precipitación del nitrógeno y del fósforo es independiente.

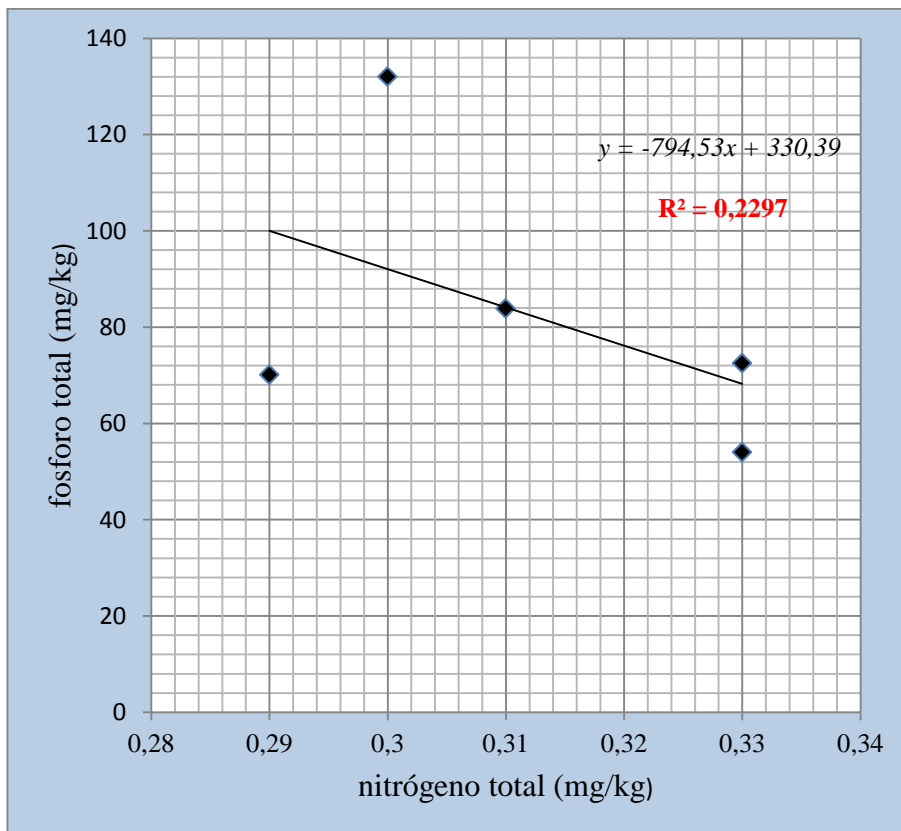


Figura 52: correlación entre N total y P total.

3.2.11 Análisis de elementos

Tabla 15: Concentración de elementos en el sedimento.

elemento	(mg / kg)				
	M1	M2	M3	M4	M5
cobalto	0,12	0,11	0,13	0,08	0,08
plomo	0,44	0,55	0,68	0,60	0,81
manganeso	3,87	3,97	3,53	3,22	5,24
cadmio	ND	ND	ND	ND	ND
cobre	1,31	1,61	1,61	1,04	1,21
zinc	1,06	0,95	1,20	0,89	1,39
níquel	0,27	0,26	0,34	0,20	0,27
estaño	ND	ND	ND	ND	ND
cromo	0,11	0,11	0,08	0,12	0,06
titanio	13,88	14,56	16,80	15,38	16,68
vanadio	ND	ND	ND	ND	ND
bario	7,67	8,32	6,78	7,07	5,59

ND = no detectable por el método utilizado.

Tabla 16: valores estadísticos de la concentración de elementos existentes en el Sedimento, (mg/kg).

elemento	mínimo	máximo	promedio	desviación estándar
cobalto	0,08	0,13	0,10	0,02
plomo	0,44	0,81	0,62	0,14
manganeso	3,22	5,24	4,04	0,80
cobre	1,04	1,61	1,35	0,24
zinc	0,89	1,39	1,11	0,20
níquel	0,2	0,34	0,27	0,05
cromo	0,06	0,12	0,09	0,02
titanio	13,80	16,80	15,43	1,25
bario	5,59	8,32	7,05	1,07

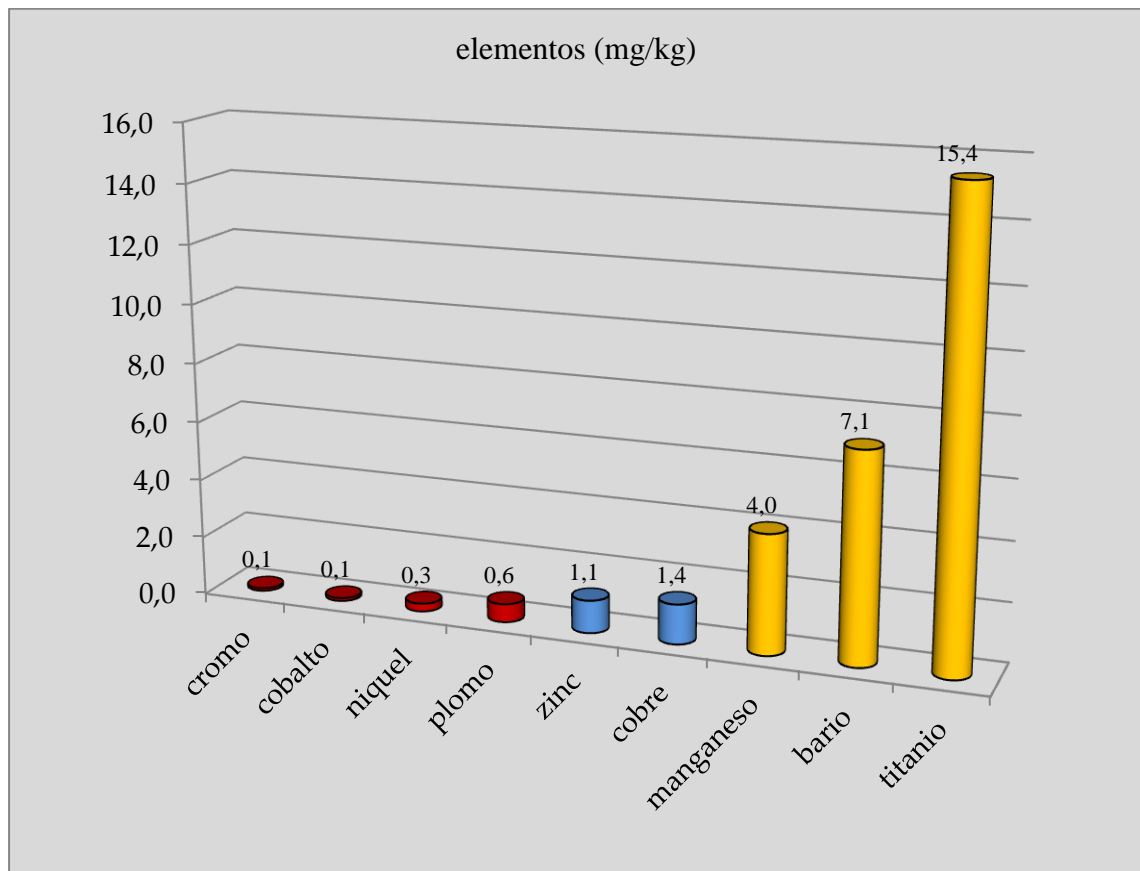


Figura 53: clasificación de los elementos en base a su concentración Promedio en el sedimento de la laguna.

De los 12 elementos que fueron analizados en las cinco muestras de sedimento, tres se hallaron bajo el límite de detección instrumental.

Los elementos presentes de acuerdo a la Figura 51, pueden reunirse en tres grupos definidos así, entre 0,1 y 1,0 mg/kg están Cr, Co, Ni y Pb. Entre 1,0 y 1,5 mg/kg Zn y Cu, mientras que entre 4,0 y 16,0 mg/kg están Mn, Ba y Ti.

Sobre el origen de los metales encontrados en el sedimento de la laguna, podemos plantear algunas opciones que podrían ser investigadas en futuros proyectos por ejemplo,

se ha identificado a través de la caracterización química de crudos amazónicos ecuatorianos, la presencia de metales pesados tales como V, Cr, Ni, Cd, y Zn.

En el caso del sedimento analizado, solo se encontró Cr, Ni y Zn; por ahora, con la información recabada, no podemos afirmar que estos elementos tengan su origen en las actividades hidrocarburíferas que se desarrollan en la zona.

Respecto a los otros metales encontrados, su origen podría explicarse por las características geológicas del sistema que alberga la laguna de Limoncocha.

CAPITULO IV

DISCUSION

4.1 Conclusiones

- Desde el punto vista de su textura, el sedimento de la laguna es “francamente arcilloso” con una pequeña fracción arenosa.
- Existe una correlación clara entre la densidad del sedimento y el contenido de materia orgánica del mismo. Así, a menor densidad, mayor es el contenido de materia orgánica.
- Los feldespatos (sódico y cálcico) representan más de la mitad de la composición de los sedimentos de la laguna con excepción de la muestra del punto #3.
- La significativa cantidad del mineral dickita, (arcilla) en el sedimento del punto #3 que corresponde a la desembocadura del río Pishira en la laguna, se explicaría por el “arrastre” de este tipo de material desde el lecho y las riberas del río.
- El proceso de desestabilización de los sólidos suspendidos (arcillas) aportados por los afluentes de la laguna, es mínimo respecto al proceso inverso que constituye la “floculación” del material suspendido y su posterior depósito en el fondo de la laguna.
- El sedimento de la laguna es poco “consolidado” con contenido de agua superior al sesenta por ciento en promedio.
- Los valores de pH del sedimento son bastante homogéneos. Se ubican el rango “ligeramente ácido” y concuerdan con los valores de pH medidos en la columna de agua.

- El contenido de materia orgánica puede considerarse como “normal” de acuerdo a la definición de “sistema lagunar tropical raso” propuesta Ramírez en el año 2004.
- En el punto #3 correspondiente a la desembocadura del río Pishira, la materia orgánica presente puede atribuirse mayoritariamente al transporte de este tipo de material por las aguas del río; por tanto, es de origen alóctono.
- En los otros cuatro puntos de la laguna, la materia orgánica es de origen fundamentalmente autóctono, producto de la descomposición “in situ” de la biomasa vegetal y animal del lecho.
- La concentración de TPH en el sedimento es baja en comparación con los valores de TPH reportados en suelos aledaños de la RBL, donde se hallan ubicadas algunas locaciones de producción de hidrocarburos.
- En general, las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo en los sedimentos fueron poco homogéneas. El contenido de fósforo en el sedimento es significativamente mayor que en la columna de agua a causa de una baja resuspensión de este elemento.
- La fuente básica del N y P encontrados en los sedimentos es la biomasa de organismos bentónicos y el material detrítico sedimentado.
- Del mismo modo, el N y P en sus formas inorgánicas (NH_4^+ y PO_4^{3-}) están asociados al material arcilloso-orgánico y son de gran interés pues constituyen una especie de reserva de nutrientes disponibles para la columna de agua.
- El N y el P son liberados del sedimento en caso de disminución de la concentración de la especie en el agua o, amortigua los incrementos de nutrientes en el medio, originados por aportes de diversas fuentes.
- La concentración de nitrógeno total en el sedimento es baja, al igual que el nitrógeno total presente en el agua; se puede afirmar que existe una “carencia” de N en el

ecosistema de la laguna, por lo tanto, no es el nutriente limitante en los procesos de eutrofización.

- Existen tres asociaciones (grupos) de metales en función de la concentración de los mismos en el sedimento.
- Los elementos cromo, cobalto, níquel y plomo con concentraciones por debajo de 0,6 mg/kg; los elementos zinc y cobre cuyos valores están entre 0,7 y 1,4 mg/kg y, los elementos manganeso, bario y titanio que se hallan entre 4 y 16 mg/kg.
- La mayor concentración de titanio en el sedimento puede atribuirse al enriquecimiento por arrastre fluvial de minerales titaníferos re TRABAJADOS del entorno geológico hacia la laguna.
- La distribución de los metales en los sedimentos es absolutamente heterogénea. No se identifica ningún patrón de acumulación o zonas de mayor o menor concentración.
- Comparando las concentraciones de los elementos analizados en el sedimento con los valores promedio reportados para la corteza terrestre podemos concluir que son relativamente bajas.
- 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; de esta manera, tratamos de entender los procesos involucrados y su papel en el cambio climático.

4.2 Recomendaciones

- Recolectar muestras de sedimento a mayor profundidad para poder determinar la composición mineralógica de ese estrato; de esta manera se tendrá una visión más clara sobre la geología del lecho lacustre.
- Realizar estudio detallado de los sedimentos, estrato por estrato, a fin de identificar variaciones mineralógicas, químicas y orgánicas en función del tiempo.
- Realizar un muestreo de sedimentos de los cauces de agua principales que desembocan en la laguna así como del suelo aledaño, para comparar los minerales arcillosos y otros componentes presentes en el sedimento de la laguna; esto aportará información novedosa y contribuirá a la reconstrucción de los cambios ambientales ocurridos.
- Siendo las lagunas cuerpos de agua dinámicos y sensibles, cuyos depósitos sedimentarios preservan en su composición química, física y biológica un registro cronológicamente ordenado y comprensible de los cambios a través de su estructura, mineralogía y geoquímica, se sugiere, mediciones de polen fósil, que reflejaría la vegetación antigua, tanto terrestre como acuática.
- Cuantificar el porcentaje (o cantidad) de fósforo inorgánico o biodisponible del total de fósforo sedimentado para establecer la tasa de transferencia de fósforo entre la columna de agua y el sedimento.
- Realizar análisis simultáneos de sedimento y agua de la columna ubicada sobre el sitio de exacto de muestreo para establecer correlaciones de parámetros tales como: pH, contenido de Nitrógeno, Fósforo y clorofila a.

- Actualizar los datos de las mediciones de TPH en suelos cercanos a la laguna para compararlos nuevamente con los valores de TPH en sedimento obtenidos en el presente estudio.
- Incorporar a posteriori estudios de micro fauna y polen en los estudios detallados de los sedimentos.
- Finalmente, sería interesante investigar la presencia del mineral lazurita (fosfato de aluminio, hierro y magnesio) en el sedimento de un solo lugar de la laguna y, relacionando esta presencia con la del ión fosfato (PO_4^{3-}) en la columna de agua.

REFERENCIAS

- Barona, N., Fernández, B y Salinas, P. (2012). Sedimentología y Estratigrafía, Ambientes Lacustres. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de México, México.
- Bernal, G. y Betancur, C. (1996). Sedimentología de lagunas costeras: Ciénega Grande de Santa Marta y Ciénega de Pajarales. Bol Invest. Mar. Cost. 25: 49-56.
- Boggs, S Jr. (2001). Principles of sedimentology and stratigraphy. New York: Ed Prentice Hall 3th edition.
- Carmouze, J.P. (1994). O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. Fundamentos teóricos, métodos de análises químicos. Sao Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda.
- Colinvaux, P.A [et al]. (1985).Discovery of permanent Amazon lakes and hydraulic disturbance in the upper Amazon basin. Nature, 313 (3): 42-44.
- De Groot, A.J., Zchuppe, K.H, and Salomons, W. (1982). Standardization of methods of analysis for heavy metals in sediments. Sediment/freshwater interaction. Hydrobiology, 92: 689-685.
- De la Lanza, G. (1980). Materia orgánica en una laguna de la costa de Sinaloa, México (I); Cuantificación total. Bol. Inst. Oceanogr. Sao Paulo, 29(2): 217-222.
- Díaz, M., [et al]. (2005). Caracterización de algunos parámetros físico químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México. Acta Universitaria, 15(002): 57-59.
- ECOLAP y MAE. (2007). Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador.

- Edgell, K. (1988). USEPA methods Study 37-SW-846, Method 3050 Acid digestion of sediments, sludge's and soils. EPA Contract No 68-03-3254.
- Ebina, J., Tsutsui, T and Shirai, T. (1983). Simultaneous determination of total nitrogen and phosphorus in water using peroxodisulphate oxidation. Wat Res. 17: 1721-1726.
- Esteves, F.A. (1998). Fundamentos de Limnología. Rio de Janeiro: 2^a ed. Editora Interciencia Ltda.
- Frost, I. (1988). A Holocene Sedimentary Record from Añangucocha in the Ecuadorian Amazon. Ecology, 68 (1): 66-73.
- Hakanson, L. y Jansson, M. (2002). Principles of Lake Sedimentology. New Jersey: Blackburn Press.
- Kimbrough, T., David, E and WAKAKUWA, J.R. (1989). Acid digestion for sediments, sludge's, soils and solid wastes. A proposed alternative to EPA SW 846 Method 3050. Environmental Science and Technology, 23: 898.
- Last, W. y Smol, J. (2011) El seguimiento de cambios ambientales utilizando sedimentos lacustres. Vol. 2: métodos físicos y geoquímicos. Ámsterdam, Kluwer Academic Publisher.
- Leal, M.L. (2012). Caracterización geoquímica de los sedimentos del sistema lagunar Ohuira-Topolobambo-Santa María. Tesis de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Sinaloa, México, Instituto Politécnico Nacional. Culiacán.
- Libes, S.M. (1992). An introduction to marine biogeochemistry. New York, John Wiley.

- Lima da Costa, M., Silva, y Behling, H. (2005). Mineralogía e Geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazonia Brasileira. Revista brasileira de Geociencias. 35(2): 176-171.
- Manaham, E. (2007). Introducción a la Química Ambiental. México: Reverté Ediciones.
- Márquez, A., [et al]. (2007). Concentración de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre-Venezuela. Bol Inst. Oceanogr. Venezuela, 46(2):137-145.
- Ordóñez, C. (2011). Reporte final de prácticas de Química Ambiental, (RBL). Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Internacional SEK, Quito.
- Ortiz, J. (2012). Estado trófico de la laguna Limoncocha en base a los índices de Carlson y Lacat. Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Internacional SEK, Quito.
- Ramírez, J.J y Noreña, J.F. (2004). Caracterización del sedimento de una laguna tropical raza. Caldasia 26(1): 174-177.
- Roldan, G. y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de Limnología tropical, Bogotá, Editorial Universidad de Antioquía.
- Revelo, G. (2012). Muestreo y determinación de variaciones físicas en la laguna de Limoncocha. Trabajo de fin de Carrera en Ingeniería ambiental. Universidad Internacional SEK, Quito.
- Ruiz, M., [et al]. (2005). Importancia de los sedimentos como fuente interna de fósforo en el embalse San Roque (Córdoba): determinación de una metodología para su estudio. III Simposio de Recursos Hídricos del cono Sur, Mendoza Argentina. Instituto Nacional del agua.

- Salvarredy, M., [et al]. (2009). Evidencias sedimentarias y Geoquímica de la pequeña edad del hielo en el lago Milluni Grande del altiplano boliviano. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 65(4): 662-668.
- Sanchez, M y PriyadarsI, R. (2011). Geoquímica sedimentaria aplicada a la reconstrucción paleo ambiental de la laguna Babícora, desierto de Chihuahua. XXI Congreso Nacional de Geoquímica, Coahuila, México, Universidad Autónoma de Coahuila.
- USEPA 8440. (1996). Total recoverable petroleum hydrocarbons by infrared spectro photometry. SW 846 Test methods for evaluation solid waste, physical/chemical methods. (Rev 0).
- USEPA 3500 B. (1981). Organic extraction and sample preparation. SW 846 Test methods for evaluation solid waste, physical/chemical methods. (Rev 2).
- Valderrama, J.C. (1981). The simultaneous analysis of total N and total P in natural waters, Mar Chen 10: 109-122.
- Valero, B y Moreno, A. (2011). Estudiando el clima con los lagos. Journal of Limnology, 46: 319-325.
- Villaba, F. (2012). Generación de una línea base limnológica de la laguna Limoncocha, con miras a modelizar la incidencia del cambio climático en el área. Proyecto de Investigación, Universidad internacional SEK.
- Villalba, F y Revelo, G. (2012). Morfometría e Hidrología de la laguna de Limoncocha. Anuario de la Universidad Internacional SEK, (14): 14-15.
- Wetzel, R. y Likens, E.G. (2000). Limnological Analyses. New York: 2nd Ed. Springer Science and Business Media, INC.

- Zavala, E. (2003). Características Geológicas, sedimentológicas y químicas de un pequeño cuerpo de agua superficial (jagüey) en el noreste de México. Boletín del Instituto de Geografía UNAM 51: 7-22.
- <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafología/practicos/TEXT04.htm> (consultado: 12 de Diciembre 2012).
- <http://hdl.handle.net/123456789/1233> (consultado: 8 de Enero del 2013).
- <http://earth.google.com> (consultado: 10 de Abril del 2013).
- www.estadisticaparatodos.es. (consultado: 18 de Agosto del 2013).