

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“VARIACIONES FISICOQUÍMICAS TEMPORALES EN LA LAGUNA DE
LIMONCOCHA, EN EL PERIODO 2012-2013”**

Realizado por:

PABLO MARTIN HERNÁNDEZ TELLO

Director del proyecto:

ING. FABIO VILLALBA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

AÑO

2015

Dedicatoria

Dedico la presente investigación a mis padres y a mi hermano.

Gracias por su amor y comprensión, son todo para mí.

Agradecimientos

A mi familia que con su apoyo incondicional me han permitido culminar ésta etapa de mi vida.

A mi director de tesis Ing. Fabio Villalba, por impartir su conocimiento, experiencia y dedicación para la realización del presente estudio.

Al Ing. Miguel Martínez, sin duda, su aporte facilitó en el análisis correlacional de la investigación.

Al Ing. Alonso Moreta, el entendimiento estadístico y el apoyo brindado durante mi época como estudiante, contribuyeron en la elaboración de éste proyecto de tesis, y en la finalización de mi carrera.

Al Ing. Gilberth A. Cisneros, mi hermano, por su ayuda en la construcción de gráficas en el programa de Surfer.

Al Ing. Esteban Oviedo, su preocupación e intervención en el trabajo realizado permitieron la culminación de la tesis.

A el Biol. Marco Albarracín, quien me motivo a proseguir con el estudio investigativo en uno de los lugares más interesantes y maravillosos del Ecuador, la Laguna de Limoncocha.

A la Ing. Anita Rodríguez, por su apoyo y aliento durante y al final de mi carrera.

A la Ing. Katty Coral, decana de la Facultad de Ciencias Ambientales, quien enseña a sus alumnos, que el camino a la excelencia profesional viene a la par con la dedicación.

En fin un sincero agradecimiento a la Universidad Internacional SEK, en donde desarrollé destrezas, valores y aptitudes profesionales a lo largo de mi carrera.

Índice

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Descripción del proyecto	10
1.2 Antecedentes.....	12
1.3 Importancia del Estudio.....	16
1.4 Objetivo General.....	16
1.5 Objetivos Específicos	16
1.6 Características del sitio del Proyecto.....	17
1.6.1 Ubicación y descripción general	17
1.6.2 Características	19

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Estudios Previos	21
2.2 Marco conceptual	26

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA	32
3.1 Nivel de Estudio	32
3.2 Diseño de la investigación.....	32
3.3 Modalidad de la Investigación.....	33
3.4 Método.....	33
3.5 Población y Muestra	33
3.6 Selección de instrumentos de investigación	34
3.7 Procesamiento de Datos.....	34

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS.....	37
4.1 Levantamiento de datos.	37
4.2 Componentes físicos de la laguna.	37
4.2.1 Nivel de agua en el muelle.	37

4.2.2	Régimen térmico del agua.....	38
4.2.3	Oxígeno Disuelto.....	45
4.2.4	Situación del pH en la laguna.....	57
4.2.5	Conductividad en el interior de la laguna.....	60
4.2.6	Correlaciones.....	63
CAPÍTULO V		
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1	Conclusiones.....	67
5.2	Recomendaciones.	69
6.	Bibliografía:	72
7.	ANEXOS	

Índice de Figuras

Figura 1. Nivel de agua medido al inicio y al final del día en el muelle de Limoncocha, en el año 2012.	38
Figura 2. Gráficas de temperatura del agua en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.	40
Figura 3. Temperatura ambiental medida en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.	41
Figura 4. Gráficas de oxígeno disuelto en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.	46
Figura 5. Comparación del régimen térmico y la concentración de oxígeno disuelto en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha.	47
Figura 6. Mediciones de clorofila-a en los tres puntos establecidos de la laguna de Limoncocha, en el año 2012 y 2013.	49
Figura 7. Gráficas de saturación de oxígeno disuelto en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.	51
Figura 8. Parámetros químicos (nitratos, fosfatos y clorofila-a) medido en el Punto 1 (Muelle de la laguna de Limoncocha) en el año 2012 y 2013.	52
Figura 9. Parámetros químicos (nitratos, fosfatos y clorofila-a) medido en el Punto 2 (Centro de la laguna de Limoncocha), en el año 2012 y 2013.	53
Figura 10. Parámetros químicos (nitratos, fosfatos y clorofila-a) medido en el Punto 3 (Caño de la laguna de Limoncocha), en el año 2012 y 2013.	54
Figura 11. Gráficas de pH en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.	58
Figura 12. Gráficas de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.	61

Índice de Tablas

Tabla 1. Promedio de las precipitaciones mensuales de las estaciones cercanas a Limoncocha, Nuevo Rocafuerte y San José de Payamino.	44
Tabla 2. Promedio del régimen del viento en la estación San José de Payamino.	45
Tabla 3. Matriz de correlación de Pearson, $n = 77$, (en el periodo de estratificación) en el Punto 1 (Muelle de la laguna de Limoncocha).	63
Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson, $n = 52$, (en el periodo de mezcla) en el punto 1 (Muelle de la laguna de Limoncocha).	64
Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson, $n = 92$, (en el periodo de estratificación) en el punto 2 (Centro de la laguna de Limoncocha).	64

Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson, n = 105, (en el periodo de mezcla) en el punto 2 (Centro de la laguna de Limoncocha). 65

Tabla 7. Matriz de correlación de Pearson, n = 105, (en el periodo de mezcla) en el punto 3 (Caño de la laguna de Limoncocha). 65

Índice de Imágenes

Imagen 1. Mapa de la Reserva Biológica de Limoncocha. 17

Imagen 2. Espécimen de caimán negro (*Melanosuchus niger*) capturado en la laguna de Limoncocha. 19

Imagen 3. Modelo Conceptual del sistema hídrico de la Reserva Biológica Limonocha. 20

Imagen 4. Imagen satelital de la laguna de Limoncocha (2015), e indicación de los puntos muestreados en el periodo 2012 y 2013. 34

RESUMEN

La Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK y su Estación Científica en la Reserva Biológica Limoncocha, han promovido una serie de investigaciones en el sistema hídrico. Los estudios propuestos en el lugar, específicamente se han relacionado en temas biológicos, ambientales, socioeconómicos y limnológicos, para inferir en la conservación de la laguna. La presente tesis de carácter limnológico, se enfoca en interpretar el comportamiento del cuerpo léntico a través de las variaciones fisicoquímicas que han ocurrido en la laguna, a través de datos obtenidos por docentes y estudiantes a partir de mediciones *in situ*, de parámetros físicos (profundidad secchi, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica) y químicos (nitratos, fosfatos y clorofila-a), en tres puntos de muestreo de la laguna: punto 1, muelle; punto 2, centro; y punto 3, Caño, en los años 2012 y 2013. Su interpretación se analizó mediante gráficos realizados en el programa geoesadístico Surfer y correlaciones existentes entre los componentes fisicoquímicos, verificando así fenómenos naturales producto de su interacción. Las eventualidades naturales encontradas en la laguna de Limoncocha, fueron periodos de estratificación térmica en los meses de enero, marzo, abril, junio, agosto, septiembre y octubre, y jornadas de mezcla en los meses restantes, por lo cual se consideró al cuerpo léntico, *polimíctico cálido discontinuo*. De igual forma se verificó la productividad de la laguna, considerando la concentración de oxígeno disuelto y el consumo de nutrientes, la cual se mantuvo productiva a lo largo del año, y con un alto rendimiento en el periodo de estabilidad. Para el pH del agua se manifestó que su estado básico, se debe a la actividad fotosintética y alcalinidad de la laguna. En cuanto a la conductividad eléctrica, se asoció a la disminución del parámetro por la disolución de iones por medio de entradas de agua al sistema hídrico.

Palabras clave: Laguna Limoncocha, variaciones fisicoquímicas, estratificación térmica.

ABSTRACT

The School of Environmental Sciences at the International University SEK and their Research Station in Limoncocha Biological Reserve, have promoted a series of investigations in the water system. The proposed studies in the place specifically have been related to biological, environmental, socioeconomic and limnological topics, to infer on the conservation of the lagoon. This thesis of limnological character, focuses on interpreting the behavior of lentic water body, by the physicochemical variations that have occurred in the lagoon; through data obtained by in situ made by teachers and students, about physical parameters (depth secchi, water temperature, dissolved oxygen, pH and electrical conductivity) and chemical parameters (nitrates, phosphates and chlorophyll-a), in three sampling points of the lagoon: point 1, dock; point 2, center; and point 3, Caño, between 2012 and 2013. The interpretation was analyzed by graphics made using the geostatistical software Surfer and the correlations between the physical and chemical components, verifying natural phenomena product of their interaction. The natural eventualities found in the lagoon of Limoncocha, were periods of thermal stratification in the months of January, March, April, June, August, September and October; and in the remaining months epochs of mixing, so the lagoon was considered warm discontinuous polymictic. Likewise, the lake productivity was verified, considering the concentration of dissolved oxygen and nutrient intake, which remained productive throughout the year, but with a high performance in the period of stability. For the pH of the water was said that its basic state, due to photosynthetic activity and alkalinity of the lagoon. As for the electrical conductivity, the decrease parameter was associated by dissolving ions through water inlets to the water system.

Keywords: Limoncocha lagoon, physicochemical variations, thermal stratification.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del proyecto

El entendimiento de los sistemas hidrológicos (ríos, lagos, humedales, pantanos, estuarios, entre otros) que contiene el Ecuador, es importante desde el punto de vista de su conservación, pues en contexto, estos cuerpos de agua, son el sustento de la vida natural en varias regiones del país. Las relaciones físicas, químicas, biológicas y ecológicas que se mantienen en estos regímenes hídricos, permiten la coexistencia de flora y fauna dentro de un ecosistema.

Los humedales son biomas de suma importancia para la subsistencia de las comunidades de tierras bajas en la costa y la amazonia ecuatoriana, ya que utilizan los servicios ambientales que éstos proveen, como la provisión de agua, transporte y uso de la biodiversidad, considerada como fuente de alimento (Moreano, s. f), por lo que su conservación aporta a la ecología natural y humana.

Sin embargo, los humedales se consideran ecosistemas frágiles, ya que son susceptibles a los cambios de diferente naturaleza que se pueden producir en los componentes físicos, químicos y biológicos. Estas modificaciones en la temperatura, el oxígeno disuelto, o el desbalance de nutrientes pueden provocar problemas como la eutrofización en los lagos y el apareamiento de algas tóxicas.

Las alteraciones de estos ecosistemas ocurren por la contaminación, el urbanismo, la sedimentación por erosión y el cambio climático, lo que genera en gran parte la pérdida de biodiversidad (SEO, 2015).

El cambio climático hoy por hoy comprende una serie de eventos esporádicos que amenazan a los ecosistemas de la tierra. El aumento de la temperatura ha hecho que los sistemas acuáticos y terrestres alteren su funcionamiento natural. Pues, el incremento de los gases de efecto invernadero elevan la temperatura del aire, como consecuencia sube la temperatura del agua, afectando al ciclo biológico de muchas especies (Prat y Munné, 2009).

Probablemente el Ecuador está atravesando por estos problemas progresivamente, pero no hay información puntual sobre el tema, por esta razón es necesario incentivar a la investigación de los humedales, para comprender la situación actual y proyectarlos hacia escenarios futuros. Como ejemplo, el estudio de Casallas, J. y Gunkel, G. (2001) referente al lago San Pablo, en Ecuador, que ha categorizado al lago como un cuerpo lacustre monomítico, donde la circulación de agua se establece en los meses de verano (Junio y Agosto), permiten al investigador conocer a detalle el funcionamiento normal del cuerpo léntico.

Además, algo muy importante que se menciona en el trabajo señalado, es la falta de estudios limnológicos en las zonas tropicales del Ecuador, de manera que se puede argumentar que en el país las investigaciones referentes a humedales amazónicos escasean, en vista de lo cual, es muy probable que no se conozca el comportamiento espacio-temporal de esos cuerpos de agua.

La Universidad Internacional SEK, con base en la Estación Científica de Limoncocha, ha desarrollado varios proyectos de fin de carrera en la laguna, insertada en una zona cálida tropical amazónica. La incidencia de investigaciones previas ha hecho que se promuevan temas de investigación en limnología en esa zona, con el fin de conocer más acerca de sistemas acuáticos tropicales y buscar alternativas de conservación aplicables a este tipo de humedales. Sin duda el aporte investigativo dado por la universidad, encamina al desarrollo de estudios de cuerpos lénticos en la región oriente del Ecuador.

La presente investigación tiene el interés de conocer más a detalle las variaciones fisicoquímicas que ocurren a lo largo del tiempo en el humedal de Limoncocha, con la finalidad de comprender y verificar las posibles interrelaciones entre los parámetros fisicoquímicos.

Para esto, ha sido necesario recopilar la información de tesis anteriores, y de datos monitoreados mensualmente de parámetros físicos, químicos y biológicos (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y clorofila-a) en el periodo 2012-2013. Los datos tomados en campo serán delineados en un mapa de contorno para su posterior interpretación.

Las mediciones realizadas fueron tomadas en tres puntos de la laguna. El primer punto se ubicó frente al muelle, el segundo en el centro, y el tercero en el Caño, es decir al extremo nororiental de la laguna de Limoncocha. Las relaciones encontradas y las aclaraciones que se consideren relevantes, se basaron en conceptos de limnología revisados bibliográficamente.

La realización de esta investigación junto con los precedentes estudios, tiene el propósito de que en un futuro, se implanten modelos acerca del comportamiento de cuerpos lacustres de zonas tropicales, para elaborar planes para su conservación, y también, generar temas de investigación correspondientes a los problemas que se ocasionan por el cambio climático.

1.2 Antecedentes

Con respecto a los lagos a nivel global, el calentamiento mundial ocasionará impactos diversos entre los cuales se puede mencionar: menor abundancia del oxígeno hipolimnético en aguas profundas, estratificación prolongada de aguas lacustres, y mayor extensión geográfica de numerosas plantas acuáticas invasivas (Bates *et al*, 2008). También, se espera un aumento en el nivel del agua en lagos de latitudes altas, debido a que los modelos climáticos apuntan a

un acrecentamiento de la precipitación, mientras que en las zonas de latitudes medias y bajas, se predice que las lluvias van a disminuir, provocando por largos periodos sequias (Ídem). Para el caso de los lagos tropicales, el cambio climático influirá en la estabilidad térmica del cuerpo de agua; según Bates *et al.* (2008), un aumento unitario de la temperatura se traduce en una diferencia de densidad proporcionalmente mayor que en lagos con temperaturas menores, entendiendo que los lagos con mayores densidades tienden a provocar una compacta estratificación térmica, que puede provocar la anoxia en las capas profundas de los lagos y un agotamiento de los nutrientes en aguas poco profundas, precisamente por la incapacidad de mezcla de agua, la cual deshace las capas definidas por la temperatura (epilimnion, termoclina e hipolimnion), para circular nutrientes y oxígeno en el lago. Sin esta recirculación la anoxia de humedales, en términos generales, disminuirá la diversidad de las especies acuáticas, y mayoritariamente en los casos en que la calidad del agua, ya haya sido deteriorada por la eutrofización. (Ídem. Pág. 58).

Por otra parte, la contaminación a consecuencia de las descargas vertidas por las aguas residuales de asentamientos humanos, genera un gran problema en los cuerpos de agua debido a los detergentes, material fecal y oleoso que se suele encontrar. Generalmente estas contrariedades tienden a alterar la calidad de agua, perjudicando el funcionamiento vital del ecosistema acuático. En el caso de los lagos, las aguas residuales ricas en nutrientes contribuyen al cambio trófico del cuerpo de agua receptor, es decir se produce la eutrofización del lago, que en términos conceptuales se refiere al proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes (Moreno *et al.*, 2010). Éste estado trófico cuando no es natural, origina efectos severos en las comunidades biológicas de los ambientes acuáticos.

Para comprender más a fondo cada uno de estos impactos en cuerpos lénticos naturales, es importante inquirir en el conocimiento del escenario físico y químico que se desarrolla en el agua a través del tiempo.

La laguna de Limoncocha es un humedal léntico, por lo tanto es proclive a decaer en estas problemáticas. Por esa razón, es necesario promover proyectos de investigación que involucren aspectos ambientales, limnológicos, bióticos y sociales, ocurrientes en la laguna, para de esta manera prevenir impactos. Sin duda, la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK, ya ha sido participe en el conocimiento de la zona lacustre, y más aún, con proyectos relacionados a la limnología del lugar.

Entre los primeros trabajos realizados se encuentra la “Caracterización limnológica de la laguna de Limoncocha en el periodo 2001” destinado a establecer un mapa batimétrico con el fin de conocer la morfología del fondo de la laguna (Revelo, 2012).

Con relación al proyecto anterior se planteó otra investigación, “Caracterización limnológica de Limoncocha e identificación de las características hidrológicas en el periodo de 2002-2003” (Ayala, 2003), en el que se detallaba aspectos y comportamientos hidrológicos dentro de la zona de Limoncocha.

Entre los estudios de importancia para la presente tesis se encuentra, “Muestreo y determinación de variaciones físicas en la laguna de Limoncocha”, realizada por Gabriel Revelo (2012), en el cual se estableció que los componentes físicos y morfológicos se hallan interrelacionados. Conjuntamente con la tesis anterior, y la ejecución de un monitoreo de componentes químicos, se desarrolló el estudio titulado “Estado trófico de la laguna de Limoncocha en base a los índices de Carlson y Lacat” (Ortiz, 2012), donde se indicó que la laguna se encontraba en un estado Eutrófico e Hipertrófico.

Otro estudio relevante para la presente investigación es el “Comportamiento Hídrico de la laguna Limoncocha y su relación con el Río Napo”, realizado por Julio Carrera (2014),

donde se determinó la asociación del humedal con el río amazónico por medio de la alimentación de un cuerpo de agua desconocido y la composición isotópica, concluyendo en base a ésta última interpretación un mismo origen de agua.

Finalmente, y dentro de los estudios recientes, se planteó la investigación titulada “Desarrollo de un modelo de Balance Hídrico de la laguna de Limoncocha” (Mosquera, 2014), en el cual se adaptó un modelo de entradas y salidas de agua de una ciénaga colombiana, para la laguna. Para esto se tomó en cuenta varios cuerpos de agua relacionados con la laguna de Limoncocha, como los ríos Napo, Pishira, Playayacu y Capucuy y vertientes que descargan al sistema léntico; asimismo se consideró a las precipitaciones, la evotranspiración y cuerpos hídricos subterráneos.

Estos son algunos de los proyectos implementados para el desarrollo investigativo en la laguna, los cuales han generado datos con respecto a parámetros fisicoquímicos de manera independiente, en razón de los objetivos propios de cada uno de ellos, sin que hasta el momento se haya intentado correlacionarlos bajo un criterio espacio-temporal único. El interés de la presente tesis es precisamente interpretar el comportamiento fisicoquímico de la laguna integrando los datos obtenidos previamente.

El presente trabajo incorpora esencialmente los datos en perfiles de profundidad obtenidos bajo la dirección del docente Fabio Villalba para los trabajos de Revelo y Carrera, y parcialmente también los obtenidos posteriormente por los docentes Alejandra Jami y Ana Rodríguez; además, los obtenidos bajo la dirección del docente Carlos Ordóñez para el trabajo de Ortiz. Con la información recopilada, se ha tratado de profundizar en la fisicoquímica del agua de la laguna, en temas relativos a la estratificación térmica, y el comportamiento a lo largo del tiempo de parámetros como oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH de la laguna y nutrientes de los ecosistemas acuáticos (fósforo y nitrógeno).

Por medio del análisis de los parámetros fisicoquímicos obtenidos se ha logrado esquematizar el comportamiento de la laguna de Limoncocha en el periodo 2012-2013, lo cual a su vez servirá como insumo para obtener a futuro un modelo limnológico más desarrollado, conforme se vaya disponiendo de datos de monitoreo.

1.3 Importancia del Estudio

La Reserva Biológica de Limoncocha, considerada como un humedal RAMSAR, alberga una abundante riqueza natural, pues en el transcurso del día es posible avistar una diversidad de especies de aves, anfibios, mamíferos, peces y reptiles, al igual que una gran variedad de especies de árboles y plantas, por lo que el conocimiento de éste humedal es un tema crucial para la conservación de su biodiversidad.

Por esa razón, la presente investigación, que tiene el interés de interpretar el comportamiento de la laguna de Limoncocha en los periodos 2012-2013, a partir de un análisis de las variaciones fisicoquímicas temporales, se ha propuesto con la finalidad de que el presente estudio en un futuro, contribuya en la elaboración de programas y metodologías aplicadas a la preservación de la laguna.

1.4 Objetivo General

Interpretar el comportamiento de la laguna de Limoncocha a través de las variaciones fisicoquímicas que han ocurrido en el periodo 2012-2013.

1.5 Objetivos Específicos

- Esquematizar la variación de las características fisicoquímicas de la laguna a lo largo del tiempo.
- Correlacionar la variación de los parámetros fisicoquímicos espacialmente en el interior de la laguna

Según la Ficha Informativa de los humedales Ramsar (2009), describen a la zona de la laguna de Limoncocha de la siguiente manera:

El bosque receipta el exceso de lluvia y el agua del desbordamiento de los ríos. Las aguas de los ríos del norte son de aguas blancas, cuando cruzan el bosque se vuelven negruzcas, pero al ingresar en la Laguna, el margen occidental, adquiere un color algo verdoso. Se encuentra rodeada de una vegetación acuática, semiacuática y en el lado occidental de la Laguna se observa la presencia de abundante alga filamentosa. En este margen se podría decir que se encuentra algo eutroficada.

Por otra parte se considera a la RBL un humedal RAMSAR debido a que la localidad posee un sistema hídrico natural representativo, que en este caso es la laguna. Además, la zona lacustre cumple con algunos criterios estipulados por el Convenio, para pertenecer a los Humedales de Importancia Internacional. Los criterios correspondientes a la laguna son (2, 3, 4, y 7) del Grupo B (Sitios de importancia internacional para conservar la diversidad biológica) (Bastidas, 2009).

Un criterio importante mencionar, y que a la vez es preocupante, es el *Criterio 2*. El cual establece, que en la RBL existen claramente especies en peligro crítico y comunidades ecológicamente amenazadas. Entre estas especies se encuentran, el Caimán negro (*Melanusuchus niger*), el Armadillo gigante (*Priodontes maximus*) y el Gritador unicornio (*Anhima cornuta*) (Ídem).

El *Criterio 7* se considera relevante en el presente estudio, ya que relaciona a la diversidad de peces, la cual necesita de un ecosistema acuático saludable. Según los Criterios para sitios RAMSAR (s. f):

Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta una proporción significativa de las subespecies, especies o familias de peces autóctonas, etapas del ciclo biológico, interacciones de especies y/o poblaciones que son representativas de los beneficios y/o los valores de los humedales y contribuye de esa manera a la diversidad biológica del mundo.

En la laguna de Limoncocha se contabilizan 30 familias y 93 especies de peces, cifra que representa el 16.5% de las especies de la cuenca del Río Napo y 15.1% en relación al Ecuador continental (Bastidas, 2009).

Imagen 2. Espécimen de caimán negro (*Melanosuchus niger*) capturado en la laguna de Limoncocha.



Fuente: Martin Hernández, 2012.

1.6.2 Características

Clima

La humedad relativa se encuentra por sobre el 80%, la mayor parte del tiempo (ECOLAP y MAE, 2007). La temperatura ambiental anual es de 24,9 °C. La precipitación anual alcanza los 3065 mm (Valdiviezo et al, 2012).

Altitud

230 msnm

Área

Total: 4613, 25 ha. Además las dimensiones de la laguna son de aproximadamente 3 km de longitud por 1 km de ancho

Profundidad

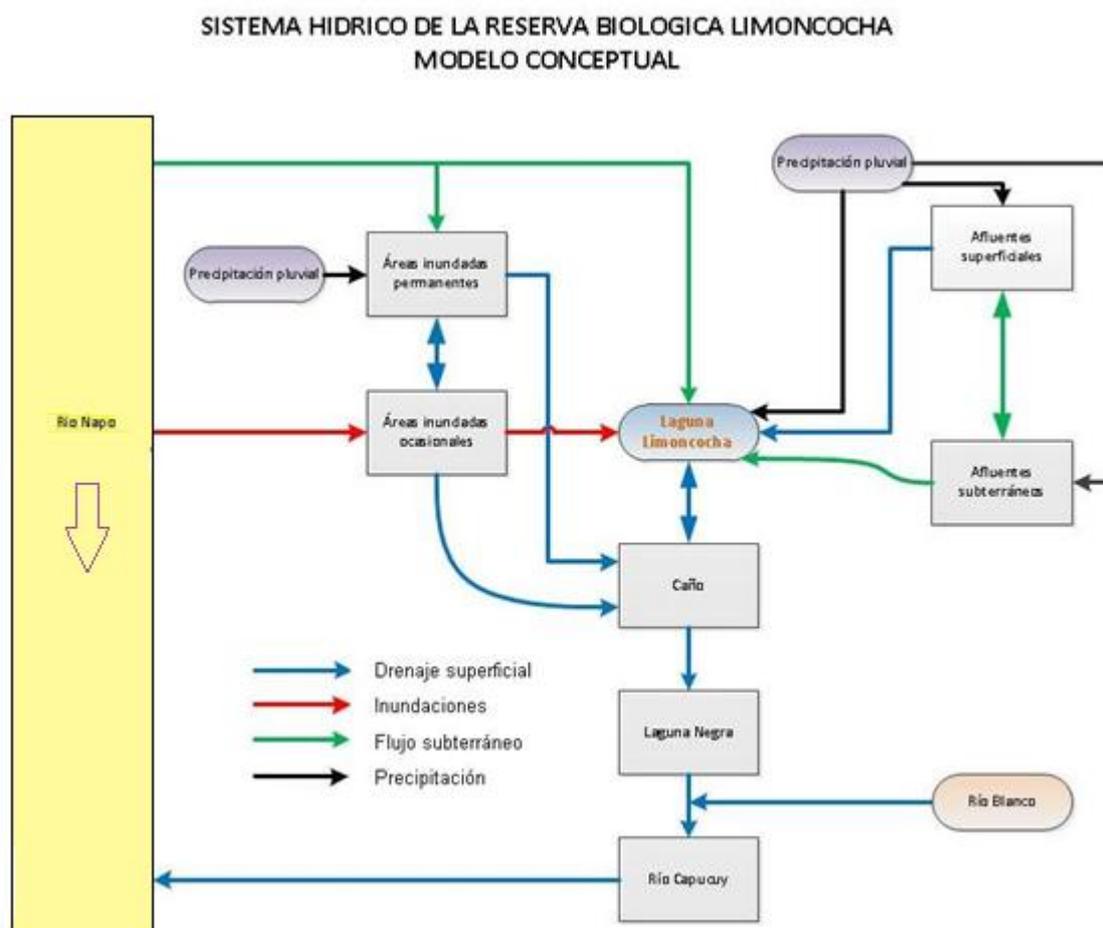
Su profundidad máxima es de 3 m y la media de 1,9 m (Valdiviezo *et al*, 2012).

Hidrología

El Sistema fluvial del Sitio Ramsar está vinculado a la cuenca hidrográfica del Río Napo, que drena aproximadamente 12,000 km³, en la porción sur de la cuenca, y el Río Quijos, el cual drena la sección norte. El río Quijos se convierte en el Río Coca el cual drena aproximadamente 5400 km³ (Bastidas, 2009).

A nivel local, la interrelación de los cuerpos de agua dentro de la RBL, es decir, entre la laguna, los influentes y efluentes, el cercano río Napo y los flujos subterráneos, presenta un notorio grado de complejidad, que al momento está siendo estudiado y que está esbozado en el modelo conceptual adjunto (Fabio Villalba, Comunicación Personal, 2014).

Imagen 3. Modelo Conceptual del sistema hídrico de la Reserva Biológica Limoncocha.



Elaborado por: F. Villalba, Comunicación Personal, 2015

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estudios Previos

Es importante revisar estudios previos realizados en la zona lacustre de Limoncocha por la Facultad de Ciencias Ambientales, puesto que, los resultados obtenidos en ellos han contribuido a una mejor elucidación en el comportamiento de éste cuerpo léntico amazónico.

El primer estudio de interés es el “Muestreo y determinación de variaciones físicas en la Laguna de Limoncocha (Enero 2012-Junio 2012)”, realizado por Gabriel Revelo en el año 2012. El cual consistió en medir durante seis meses “in situ”, los parámetros siguientes: temperatura atmosférica, humedad atmosférica, densidad del agua, profundidad Secchi, oxígeno disuelto, conductividad, pH y caudal, en 14 puntos representativos dentro de la Reserva Biológica Limoncocha, registrando las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos; el objetivo fue recolectar datos e interpretar posibles correlaciones entre los parámetros medidos.

Los puntos se encontraban en diferentes cuerpos de agua, dentro de laguna, se localizaban en el muelle, en el centro frente a la antena y en el Caño, en ríos (Pishira, Playayacu), y por último en vertientes y pozos ubicados en zonas aledañas a la RBL, como la Estación Científica UISEK, el Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, y el Destacamento Militar 1, entre otros.

Dentro de los resultados, y de interés para la presente tesis, se argumentó que el comportamiento del oxígeno disuelto y la temperatura, no es normal, ya que la relación entre estos parámetros es inversamente proporcional. Sin embargo, en el caso de la laguna de Limoncocha la situación es distinta, a medida que el oxígeno disuelto aumenta la temperatura también es mayor, por lo que se considera una condición proporcional. En la zona superficial

de la laguna, a medida que penetra la luz en la zona eufótica, equivalente aproximadamente al epilimnion, aumenta el oxígeno disuelto y la temperatura, debido a la actividad fotosintética y a la luz presente en el ambiente acuático (Revelo, 2012).

En lo que respecta al pH del agua se recalcó que la laguna se encuentra en un estado básico en la superficie con valores de 9,0 y se puede tornar ligeramente ácido conforme la profundidad aumenta. Los valores altos de pH medidos en la zona fótica, se asocian a la actividad fotosintética, el cual consume dióxido de carbono, y cuando éste tiende a agotarse toma del bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), generando carbonato de calcio, lo cual conlleva a un aumento de pH en el agua (Ídem. Pág. 100)

Por otro lado, también se verificó la existencia de estratificación térmica de la laguna, y se determinó que se establece entre las 8:00 y las 12:00 horas, durante todos los meses de estudio (Ídem. Pág. 97).

Respecto a la caracterización química de la laguna, en la tesis realizada por Johanna Ortiz “Estado Trófico de la laguna de Limoncocha en base a los índices de Carlson y Lacat”, se midieron parámetros “in situ” de pH, conductividad y oxígeno disuelto en los tres puntos estratégicos de la laguna, y en ciertas vertientes durante el periodo de enero a junio de 2012. Para verificar el estado trófico del lago, se utilizaron modelos, como el Índice de Estado Trófico (IET) propuesto por Carlson, y el del Programa de Lagos Tropicales (LACAT) sugerido por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Entre las conclusiones expuestas en la investigación anterior, se determinó que en el punto 3 de la laguna de Limoncocha, correspondiente al caño, las mediciones de parámetros *in situ*, presentaron variaciones drásticas y determinantes, las cuales indican que específicamente en éste punto, el proceso de mezcla es elevado (Ortiz, 2012). Por otra parte, se estableció que, cuando las concentraciones de Fósforo total aumentan, la profundidad

Secchi tiende a disminuir, relacionando éste suceso a la disponibilidad de nutrientes en la laguna (Ídem. Pág. 83). Por último, se ha concluido que el nutriente dominante en la laguna es el nitrógeno, el cual tiene una probabilidad del 96% de colocar al cuerpo de agua en estado trófico sin necesidad de otro parámetro (p. 82).

En el estudio de Julio Carrera “Comportamiento hídrico de la laguna de Limoncocha y su relación con el Río Napo” realizado en el año 2014, se planteó con la intención de verificar la existencia de un cuerpo de agua desconocido que da un importante aporte de caudal a la laguna, por lo que se monitorearon parámetros fisicoquímicos como: pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, profundidad Secchi, nitratos, fósforo total, clorofila e inclusive isótopos estables, en 9 puntos escogidos a conveniencia del proyecto, ubicados en tres sitios de la laguna, en los ríos Playayacu y Pishira; y en las vertientes Uisek, Militares, Sr. Grefa e Instituto. De estos puntos, se seleccionó 6 ubicados en la laguna y aportantes (río Pishira, río Playayacu y vertientes), para determinar la concentración de nitratos, fósforo total y clorofila. Aparte se revisó bibliográficamente datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas más cercanas al estudio, para la elaboración de diagramas ombrotérmicos.

Entre los resultados propuestos y de interés a la presente investigación, se estableció que la laguna de Limoncocha y el Río Napo tienen el mismo origen de agua de acuerdo a la composición isotópica muy similar. Además, según el mapa de inundaciones del Río Napo, éste alimenta a la laguna de Limoncocha por medio de una inundación permanente ubicada al noroeste de tal Río (Carrera, 2014). Con respecto a los diagramas ombrotérmicos se observó que los meses de mayor precipitación van de enero a agosto, no obstante, presentan un mayor caudal enero, abril, mayo, julio y agosto, ya que se relacionan con aportes por parte de inundaciones provenientes del Río Napo (Ídem. Pág. 84). Por último, se mencionó que los valores de oxígeno disuelto en la parte superficial de la laguna son relativamente altos, y están asociados a la producción primaria (p. 84).

Aparte de los proyectos de investigación planteados por la universidad, se revisó algunos aportes respecto a la limnología en general y al comportamiento térmico en particular, dados por otras investigaciones.

Delgado, et al (2011), mencionan como ha ido evolucionando la estratificación térmica y la estabilidad de la temperatura en un lago minero artificial en la Coruña, España; en un periodo de 18 meses entre 2009 y 2010, en donde la estratificación se produjo lo largo de periodos prolongados, (entre abril y mediados de noviembre de 2009), en tanto que la desestructuración térmica, ocurrió en periodos más cortos (de mediados de noviembre de 2009 hasta finales de marzo de 2010), siendo la pérdida de estratificación un evento relativamente rápido, en menos de un mes.

La disipación de la estratificación térmica y erosión de la termoclina en el lago, se estableció en el mes de octubre, en donde la capa se redujo a tal punto, que se ubicó más cerca de la superficie a una temperatura fija, sin que ésta se haya mezclado; hecho singular para los lagos meromícticos (Delgado *et al*, 2011).

Una particularidad del lago minero se asocia a las distintas temperaturas encontradas al momento de mezcla; aparentemente, en la mayoría de lagos la temperatura disminuye conforme aumenta la profundidad, en el caso del lago Meirama, en ciertas zonas profundas, las temperaturas fueron mayores que en zonas más superficiales, relacionando este comportamiento posiblemente al llenado de agua artificial. Estas características físicas del lago y su evolución relacionada a la inundación constante, interfieren con el comportamiento de estratificación térmica y mezcla del lago (Ídem).

En el trabajo de Benjumea y Wills, (2007), se analizó la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander, Colombia, así como la incidencia de la radiación solar y su disipación en forma de calor, en la estratificación térmica de los cuerpos de agua.

En base a datos tomados en laguna de Cachimbero durante el periodo de marzo de 2003 a noviembre de 2004, en cuatro estaciones de monitoreo, tomando perfiles de temperatura del agua, temperatura ambiente, radiación solar, información climatológica y variables de calidad de agua (oxígeno disuelto, pH, conductividad, potencial redox, etc.) se encontró, dentro del régimen térmico de la ciénaga, mezcla diaria durante los periodos lluviosos y al momento de anochecer, es decir sin intervención de la luz solar; ya que los perfiles de temperatura del cuerpo de agua se tornaban ortogradados, lo que significa que el gradiente térmico producto de las horas de sol, decrecía progresivamente provocando una uniformidad en la densidad de la columna de agua. Este enfriamiento permite que el trabajo que realiza el viento para mezclar la columna de agua sea menor (Ídem. Pág. 64). Por otro lado, cuando la ciénaga se encontró expuesta al sol, en temporadas secas con temperaturas superficiales de 34, 2 °C para la hora más caliente, y 28,5 °C para la hora más fría, se evidenció una clara termoclina (p. 59), por lo que la mezcla de agua no fue factible.

En cuanto al comportamiento del oxígeno disuelto en la columna de agua de la ciénaga, se determinó que las concentraciones de oxígeno son mayores en los primeros 30 cm y durante las horas de mayor acción del sol, debido a la actividad fotosintética de las plantas acuáticas; no obstante su concentración en la columna de agua tiende a disminuir, inclusive a ambientes anóxicos, dependiendo de la profundidad y la hora del día (p. 61).

Por otra parte, un estudio de cierto interés para el presente caso, considerando la relación propuesta entre el río Napo y la laguna de Limoncocha (F. Villalba, Comunicación personal y Mosquera, 2014), es el de Rivera et al. (2010), en el cual por medio del monitoreo de parámetros como: potencial de óxido reducción, conductividad, O₂ disuelto, temperatura, transparencia de agua, alcalinidad, turbiedad, fósforo total, nitratos, entre otros, y además de la composición y estructura de las comunidades biológicas (fitoplancton, perifiton, macroinvertebrados y zooplancton), se logró una caracterización física, química y biológica

de los cuerpos de agua formados a partir del sistema de inundación del río Orinoco, en la región aledaña a la ciudad de Puerto Carreño (Vichada, Colombia).

Las conclusiones propuestas, establecen que el pulso de inundación por parte del río Orinoco, determina el régimen de estratificación térmica de los ambiente lénticos formados por la hidrología del sistema. Se menciona, que durante los momentos de alto flujo de agua los sistemas tienden a ser térmicamente homogéneos y cuando se estratifican probablemente presentan un régimen polimíctico. De igual forma, durante los periodos de aguas bajas también se forma una columna de agua homotérmica, debido a que coincide en el año con la mayor velocidad del viento (Rivera *et al*, 2010). Éste comportamiento de mantener la columna de agua de manera homotérmica, es importante en el sistema hídrico, puesto que la productividad es baja, por lo que favorece a la oxigenación en toda la columna de agua (Ídem).

2.2 Marco conceptual

❖ Limnología

En términos muy amplios, la limnología es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera como estas son afectadas por el ambiente físico, químico y biológico. El término limnología ha sido aceptado para designar el estudio de las aguas interiores o continentales, no importa si son lénticas (lagos) o lóxicas (ríos, corrientes) (Roldán, 1992).

▪ Humedal

Tal como define la Convención Ramsar, en los humedales se incluye una amplia variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así

como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses (Convención Ramsar, 2006).

- **Ecosistema Léntico**

Son cuerpos de agua en cuencas endorreicas. Las cuencas exorreicas son aquellas cuyo vertimiento ocurre hacia otras cuencas, usualmente hasta llegar a algún litoral marino. En contraste, las cuencas endorreicas son aquellas cuyas laderas convergen en un punto central, sin verter a otras ni llegar al mar. Así, por ejemplo, en una laguna de cuenca endorreica se reúnen las aguas captadas por todas las vertientes confluentes, las cuales terminan su flujo superficial justamente en ese cuerpo de agua. Estrictamente hablando, salvo algunas que tienen sumideros evidentemente reconocibles hacia el subsuelo y que generan flujos que pudieran aflorar en otras cuencas vecinas, las lagunas de cuencas endorreicas son buenos ejemplos de ecosistemas lénticos, ya que el aporte de aguas pluviales queda contenido en la cuenca a la que pertenecen (Sánchez et al, 2007).

Los ambientes lénticos (lagos, lagunas y embalses) tienen una dinámica funcional distinta a la de los ríos. Los factores que influyen en la producción piscícola de estos ecosistemas son: reciclaje de nutrientes por sedimentación; reducción de la comunidad bentónica por sedimentación rápida y a medida que el ecosistema va evolucionando (sucesión) este se estructura mejor, se diversifica la explotación de los recursos, se hace más compleja la comunidad piscícola y se regulan las poblaciones (Granado, 1996).

- **Laguna**

Son cuerpos de agua con aparente similitud con los lagos, a diferencia de que su profundidad es relativamente menor; su existencia puede corresponder a cualquier origen, drenaje y dimensiones. Permanecen relativamente estancados y son un tanto inestables, con variaciones en el nivel de agua; pueden ser temporales o permanentes, dependiendo del régimen pluvial. Son depósitos con una profundidad media menor a los 8 metros y de forma

cóncava. Esta profundidad tiende a provocar una turbiedad que origina una menor transparencia del agua —en comparación con un lago— la cual frecuentemente resulta de color pardo por la presencia de materia orgánica, por el crecimiento de algas y por la presencia de sólidos suspendidos (Cervantes, 2007).

❖ **Estratificación térmica**

La retención y distribución del calor en un lago (estratificación térmica) depende de varios factores, tales: como acción de los vientos, corrientes internas, cambios de densidad en el agua, profundidad del lago, latitud, altura sobre el nivel del mar y periodo de retención del agua. Los patrones resultantes de la estratificación térmica influyen de manera fundamental en los ciclos físicos y químicos de los lagos y, por lo tanto, en los procesos de producción y respiración que se llevan a cabo en dichos ecosistemas (Roldan, 1992).

▪ **Clasificación de lagos con respecto a la estratificación térmica**

La clasificación de Lewis es tomada debido a que presentó una nueva propuesta para la categorización de los lagos, debido a los siguientes motivos: 1. Exclusión de lagos poco profundos, pues la clasificación de Hutchinson y Löffler está propuesta para lagos con profundidad suficiente para estratificarse; 5. El término “mezcla” es usado por Hutchinson y L en el sentido de la homogenización completa de la columna de agua, despreciando el efecto de la turbulencia profunda o del engrosamiento de la capa de mezcla, tan importante en lagos tropicales; 6. Subestimación de la importancia de la estacionalidad para los lagos tropicales, la cual a pesar de ser comparativamente baja en los trópicos, existe en función de ciclos anuales definidos que afectan la insolación, la temperatura del aire, la fuerza del viento, la humedad y la pluviosidad. En los lagos, estos ciclos meteorológicos regulares inducen a patrones anuales que en los últimos años han sido ampliamente demostrados. La clasificación propuesta por Lewis, citada en Roldán (2008), es la siguiente:

- *Amícticos*: lagos cubiertos siempre por hielo.
- *Monomícticos fríos*: lagos cubiertos de hielo la mayoría del año, libres de hielo durante la estación cálida. Nunca la temperatura supera los 4 °C.
- *Polimícticos fríos continuos*: lagos cubierto de hielo la mayor parte del año, excepto durante la estación cálida, por encima 4 °C y estratificados casi diariamente durante ella.
- *Polimícticos fríos discontinuos*: lagos cubiertos de hielo solo durante parte del año, libres de hielo cuando alcanzan temperaturas por encima de 4 °C; estratificados durante la estación cálida, por periodos de varios días a semanas, pero con intervalos de interrupción por la mezcla.
- *Dimícticos*: cubiertos de hielo parte del año; estratificación estable solo parte del año, pero con mezclas en las transiciones entre estos dos estados.
- *Monomícticos cálidos*: lagos nunca cubiertos de hielo; estratificación estable parte del año; mezclados una vez por año.
- *Polimícticos calidos discontinuos*: lagos que nunca presentan una cubierta de hielo; estratificados por días o semanas, pero mezclándose más de una vez por año.
- *Polimícticos cálidos continuos*: lagos sin cubierta de hielo; estratificados durante pocas horas.

❖ Mezcla

Los gradientes de densidad, causados esencialmente por las diferencias en temperatura y, secundariamente por la diferencia de salinidad y concentración, son el motor del comportamiento hidrodinámico de un lago. El proceso de mayor escala o más general que depende de esta propiedad es la mezcla de la columna de agua. Cuanto mayor es la temperatura menor es la densidad del agua. Así, cada vez que el agua superficial se enfría

hasta alcanzar los 4 °C la columna de agua se mezcla por completo. Este proceso de mezcla de las capas de agua, a su vez controlará las variaciones en la distribución del oxígeno y de otras sustancias que se encuentran disueltas o en suspensión. La tasa a la que disminuye la densidad crece con el incremento de la temperatura, esto significa que la cantidad de trabajo que se requiere para mezclar dos masas de agua a 29° y 30° es 40 veces la que se requiere para mezclar dos masas similares a 5° y 6°, o dicho de otra forma cuanto más cálido es un lago más facilidad tiene para estratificarse y más difícil es romper su estratificación (Frenegal y Meléndez, 2010).

▪ Meromixis

La mayoría de lagos pertenecen al tipo holomíctico, es decir, lagos en los cuales circula toda la masa de agua. Sin embargo, existe otro tipo de lagos llamados meromícticos, en los cuales la circulación es incompleta; es decir solo circula la masa de agua superior, pero no la inferior. La capa superior se denomina *mixolimnion*, mientras que la inferior, no circulante y anaeróbica, *monimolimnion* (del griego monimos = perdurar, continuar). Estas dos capas de agua están separadas por un gradiente de salinidad llamado *quimiocline*, ya que dicha estratificación se debe a sustancias químicas (Roldán, 2008).

❖ Epilimnion

La estructura vertical de la columna de agua está conformada por una región superficial vigorosamente mezclada por el viento y de temperatura más o menos uniforme que se denomina *epilimnion* o zona de continuidad térmica (Roldán, 2008).

❖ Hipolimnion

Dentro de la columna de agua, la región más fría, y de agua más pesada y poco afectada por el viento se denomina *hipolimnion* (Roldán, 2008).

❖ **Termoclina**

La termoclina es la superficie en la que se produce un salto brusco en la curva de distribución de temperaturas entre la capa de agua más superficial y la capa de agua más profunda del lago. En muchos lagos no se trata de una superficie sino de una zona en que la curva de distribución de temperaturas presenta su máxima pendiente; a esa zona se la denomina metalimnion (Freneal y Meléndez, 2010).

❖ **Anoxia**

Deficiencia de oxígeno en un cuerpo de agua, del fondo de lagos y mares de poca circulación o con mucha contaminación orgánica (Mata y Quevedo, 2005).

❖ **Saturación de oxígeno**

Es el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinadas (Roldán, 2008).

❖ **Profundidad Secchi**

En oceanografía y limnología se utiliza el valor de la transparencia, medida con el disco Secchi, como una estima de la extinción de la luz en el agua (Moya y Ramón, 1987).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Nivel de Estudio

La investigación presente se encuentra en un nivel de estudio *exploratorio*, ya que pretende expandir el conocimiento acerca del comportamiento de la laguna de Limoncocha, a partir de sus variaciones fisicoquímicas. Para ésto fue necesario revisar las investigaciones de campo, ya mencionadas, realizadas en años anteriores por la facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK en la Reserva Biológica Limoncocha, las cuales proveen de datos y resultados que pretenden ser interpretados de manera integral en el presente trabajo.

Téngase en cuenta que se han utilizado valores medidos en monitoreos realizados en la laguna, por lo que se optó por un estudio *descriptivo*, el cual tiene por objeto pormenorizar fenómenos, situaciones, contextos y eventos los cuales se pueden manifestar y son necesarios para un análisis (Hernández et al, 2006).

De igual forma, el estudio es a su vez *correlacional*, ya que en el momento de esquematizar cada uno de los parámetros de acuerdo a los puntos de muestreo, se verificó las relaciones existentes entre estas variables. Cabe recalcar que al ser un estudio exploratorio y correlacional, no es necesaria la formulación de hipótesis.

3.2 Diseño de la investigación

El presente estudio es una investigación no experimental cuantitativa, debido a que se realiza sin manipular deliberadamente sus variables para ver el efecto sobre otras variables, sino que pretende observar fenómenos tal y como se da en su contexto natural para su posterior análisis (Hernández, 2006). De esta manera, el diseño correspondería a una

investigación longitudinal o evolutiva, en donde se recolectan datos a través del tiempo en puntos o periodos, para hacer inferencias respecto al cambio (Ídem).

3.3 Modalidad de la Investigación

Este estudio se identifica como una investigación *documental*, ya que su análisis requiere de un escudriñamiento conceptual en temas de limnología. Por lo tanto se necesita revisar en gran parte referencias bibliográficas de documentos escritos o narrados por expertos en el tema.

3.4 Método

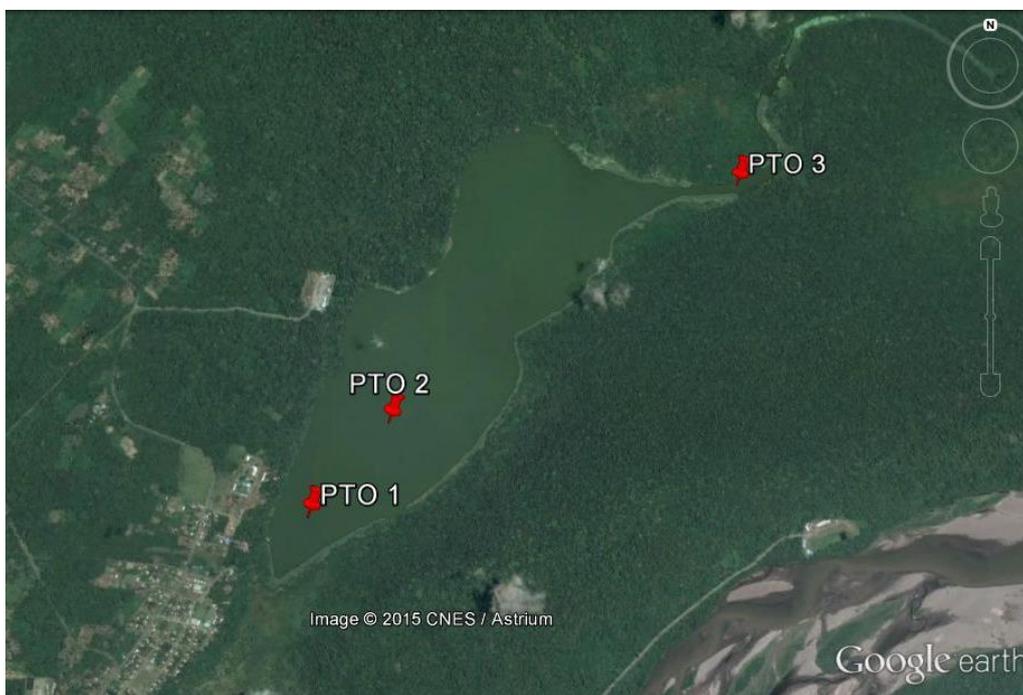
La investigación aplica el método inductivo-deductivo. El razonamiento inductivo parte de la idea, de que para obtener conocimiento es imprescindible observar la naturaleza, reunir datos particulares y hacer generalizaciones a partir de ellos, mientras que el razonamiento deductivo, se centra en las premisas o afirmaciones generales, para llegar a afirmaciones específicas aplicando las reglas de la lógica (Dávila, 2006). En base al argumento anterior, la investigación parte del análisis de los datos (parámetros fisicoquímicos), y su interpretación es a base de conocimientos de limnología de lagos.

3.5 Población y Muestra

La extensión de la investigación abarca la laguna de Limoncocha, donde se han establecido tres puntos de referencia que fueron monitoreados a lo largo de un periodo anual, obteniendo datos de componentes físicos y químicos. El primero se ubicó frente al muelle (cerca de la Estación Científica Limoncocha de la UISEK), el segundo en el centro de la laguna (frente a la antena), y el tercero en el Caño (salida de agua de la laguna). Los parámetros medidos fueron: temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, oxígeno

disuelto, fosfatos, nitratos y clorofila-a, algunos de estos evaluados con respecto a su profundidad.

Imagen 4. Imagen satelital de la laguna de Limoncocha (2015), e indicación de los puntos muestreados en el periodo 2012 y 2013.



Fuente: Google Earth.

3.6 Selección de instrumentos de investigación

La investigación se basó en la recolección de datos físicos y químicos tomados tanto en perfiles verticales como en superficie, que han sido monitoreados bajo la dirección del Ing. Fabio Villalba, y otros de tesis anteriores. Estas mediciones son las fuentes primarias del presente estudio, del cual se pretende realizar una elucidación de su comportamiento en base a fundamentos de limnología.

3.7 Procesamiento de Datos

Los valores han sido organizados en hojas electrónicas Excel y aquellos de los perfiles fueron luego transformados en archivos GRID y graficados utilizando el programa SURFER 11, a fin de establecer la variación anual de los parámetros establecidos. Por otra parte, para

las correlaciones existentes entre los componentes físicos y químicos se utilizó el software AquaChem, el cual es utilizado generalmente para el análisis de datos de hidroquímica del agua.

Las gráficas realizadas en SURFER 11, las cuales se muestran como mapas de contorno, indican la variación temporal de los parámetros medidos de acuerdo al perfil vertical de la columna de agua; éstos fueron temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, del año 2012. Las gráficas representan el posicionamiento en (X, Y, Z) de las mediciones obtenidas, donde la variable “X”, representa el tiempo, es decir los meses, “Y” la profundidad de la laguna y “Z” los valores de las muestras obtenidas en campo. No obstante, para el análisis de los parámetros químicos: nitratos, fosfatos y clorofila-a, medidos superficialmente, se realizaron gráficas en hojas de Excel.

Por otra parte, se utilizaron las fórmulas de Elmore and Hayes (1960) para obtener el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la laguna de Limoncocha. Las fórmulas utilizadas fueron:

$$C_s = 14.662 - 0,41022T + 0,007991T^2 - 0,000077745T^3 \quad (1)$$

Fuente: Villalba, 2015. Comunicación Personal.

En donde:

C_s = concentración de saturación de O₂

T = Temperatura ambiental (°C)

$$C_{sc} = C_s \left\{ \frac{(P - P_v)}{(760 - P_v)} \right\} \quad (2)$$

En donde:

C_{sc} = Concentración de O_2 a la altitud deseada en (mg/l)

P = Presión atmosférica a esa altitud (mm Hg)

P_v = Presión de vapor a la temperatura dada (mm Hg)

$$P = 760e^{\frac{-h}{8005}} \quad (3)$$

En donde:

h = altitud (m), en este caso de la laguna de Limoncocha

$$P_v = e^{(1,52673+0,0714T-0,000246T^2)} \quad (4)$$

En donde:

T = Temperatura ambiental ($^{\circ}C$)

Además, se utilizó la fórmula:

$$s = \left\{ \frac{(x - C_{sc}) * 100}{C_{sc}} \right\}$$

En donde:

s = Porcentaje de saturación de oxígeno (%)

x = Valor de oxígeno disuelto medido en la laguna (mg/l)

C_{sc} = Concentración de O_2 a la altitud deseada en (mg/l)

Si " s " > 0 , se encuentra sobresaturado.

Si " s " < 0 , se encuentra subsaturado o con déficit de O_2 .

Si " s " = 0, se encuentra saturado.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Levantamiento de datos.

Los datos utilizados para este trabajo, compilados de las diferentes fuentes mencionadas, constan en el Anexo 1.

4.2 Componentes físicos de la laguna.

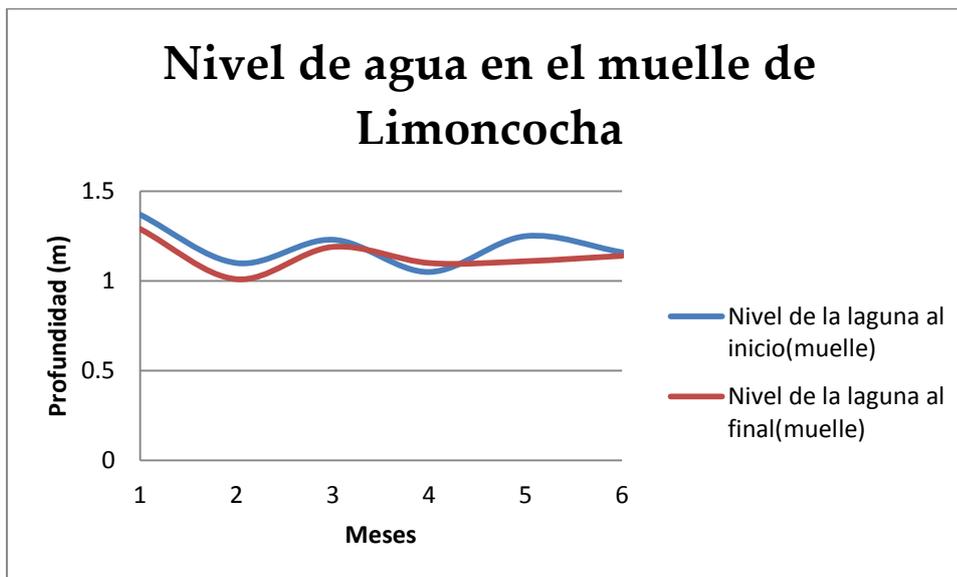
4.2.1 Nivel de agua en el muelle.

Antes de comenzar a interpretar los fenómenos naturales ocurridos en la laguna de Limoncocha, en este apartado se mostrará el nivel de agua medido respecto al nivel del piso del muelle de laguna, durante un periodo diurno, es decir al inicio y al final del día, en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio del año 2012.

El nivel del agua es el cambio fluctuante de la masa de agua, en este caso de la laguna de Limoncocha, el cual tiende a aumentar o disminuir, debido a las precipitaciones presentes, inundaciones a causa de otros sistemas hídricos, afluentes subterráneos, o pérdida por evaporación.

La Figura 1, muestra el transcurso del nivel de agua durante los meses mencionados, en donde, el nivel de agua al inicio del día, en el mes de enero, principió con el mayor nivel en el muelle con (1,4 m), pero disminuyó considerablemente en el mes de febrero (1,1 m); nuevamente aumentó en marzo (1,2 m), y descendió en el mes de abril (1,1 m), la misma frecuencia ocurrió con los meses restantes.

Figura 1. Nivel de agua medido al inicio y al final del día en el muelle de Limoncocha, en el año 2012.



Elaborado por: Martín Hernández, 2015

Con respecto al nivel de agua de la laguna al final del día, y comparando con el nivel al inicio del día, se observó lo siguiente. Empezando con los tres primeros meses (enero, febrero y marzo), el nivel al final del día se mantuvo por debajo al nivel inicial; en menor proporción el mes de marzo. En el mes de abril, el nivel de agua al final del día supera el nivel inicial, lo que se asume un aporte para el sistema hídrico. La causa a este incremento se presume una entrada de caudal externo, mas no de una precipitación ya que en éste mes la lluvia fue baja en comparación con el resto de meses (Datos del INAMHI, Comunicación personal, 2015). En mayo y junio, por otra parte, el nivel de agua al final del día se mantuvo por debajo al nivel inicial, considerablemente mayo, quizá por afluentes subterráneos o conexiones hídricas en la que la laguna en dicho mes aporta con agua.

4.2.2 Régimen térmico del agua.

Para empezar con los fenómenos producidos por la temperatura del agua es necesario aclarar las condiciones en la que se encuentra la laguna de Limoncocha con respecto a la disposición de la energía solar. Las regiones tropicales o ecuatoriales, debido al eje de

inclinación del sol, reciben una cantidad de radiación constante a lo largo del año, y tienden a variar dependiendo de la altitud en la que se sitúa el cuerpo de agua (Roldán, 1992).

La laguna de Limoncocha ubicada a los 230 msnm, dentro de los pisos térmicos, pertenece al Piso cálido tropical (0-1000 msnm), en el cual la temperatura ambiente puede ser superior a 24 °C durante todo el año. Debido a las condiciones en las que se encuentran estos cuerpos de agua, es común observar periodos mensuales de estratificación térmica a lo largo del año, pero también en la misma jornada es visible la ocurrencia de mezcla de estas aguas lénticas, por lo que los ciclos de productividad de la laguna son constantes.

La mezcla en la mayoría de lagos tropicales se suele originar en los periodos de invierno, y las razones frente a esto, puede ser por la pérdida de calor en la noche y el efecto de las densidades en el agua, provocado por las lluvias o debido a la acción mecánica del viento (Benjumea y Wills, 2007). Según Roldán (1992), la estratificación térmica asociada a los sistemas hídricos tropicales son pequeñas y efímeras, puesto que la profundidad no alcanza más de 3 a 4 metros, y la incidencia de calor durante todo el año es alta; por lo tanto, la estratificación es constante, pero vulnerable a la mezcla de agua por su morfometría y condiciones climáticas.

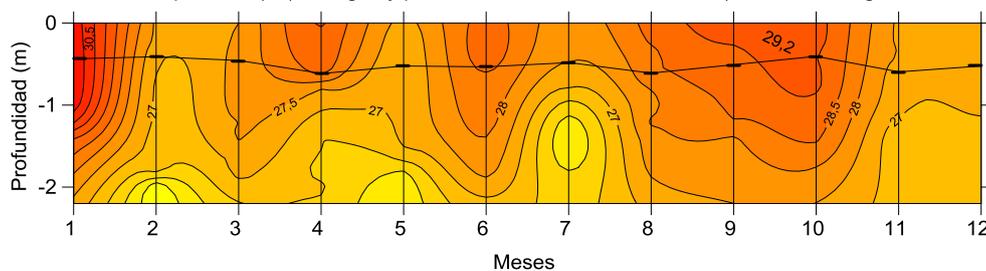
Ahora bien, para presentar ciertas connotaciones acerca de las eventualidades surgidas en la laguna, es importante analizar las gráficas correspondientes al régimen térmico de Limoncocha. Estos esquemas muestran ciertas particularidades que se sospecharía son propias de aguas lénticas tropicales.

En primera instancia es necesario aclarar que para los tres gráficos que representan las isotermas en Limoncocha en la (Figura 2), los meses que alcanzan una mayor temperatura son enero, abril, junio, agosto, septiembre y octubre. Además, el mes que registra la más alta temperatura en el agua es enero (30,6 °C), tomada en el punto 1.

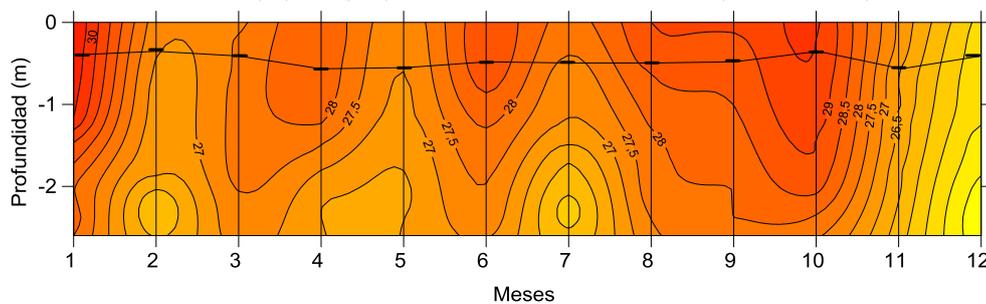
Bajo estas condiciones el fenómeno de estratificación térmica actuó de la siguiente manera. En el punto 1, se verificó que la estabilidad en la laguna empezó en Enero, Marzo, hasta Abril; nuevamente se estratifica en Junio, Agosto, Septiembre y Octubre, las capas o estratos térmicos observados alcanzan aproximadamente 1,8 metros de profundidad. Dentro de estos estratos, en los meses de abril y junio es más visible una termoclina encontrada a 1,0 y 1,9 metros de profundidad, respectivamente, donde la temperatura se mantiene a los 27,5 °C; para los meses de agosto, septiembre y octubre ésta se sitúa a una temperatura de 28 °C y aproximadamente a 1,80 m de profundidad.

Figura 2. Gráficas de temperatura en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha, en el año 2012.

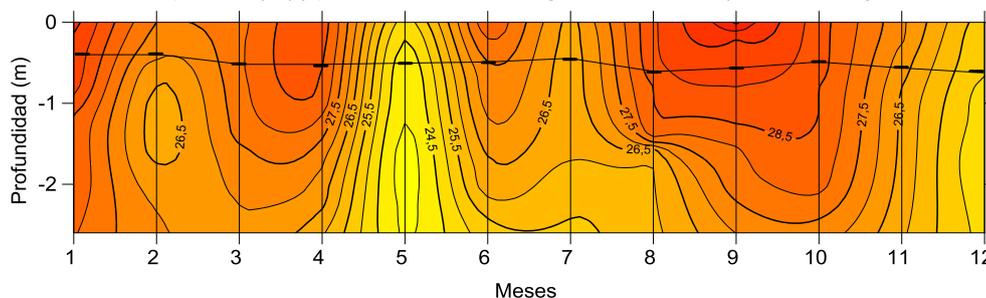
Perfil vertical de Temperatura (°C) del agua y profundidad secchi en el Punto 1. (Muelle de la laguna de Limoncocha).



Perfil vertical de Temperatura (°C) del agua y profundidad secchi en el Punto 2. (Centro de la laguna de Limoncocha).



Perfil vertical de Temperatura (°C) y profundidad secchi del agua en el Punto 3. (En el Caño, laguna de Limoncocha).

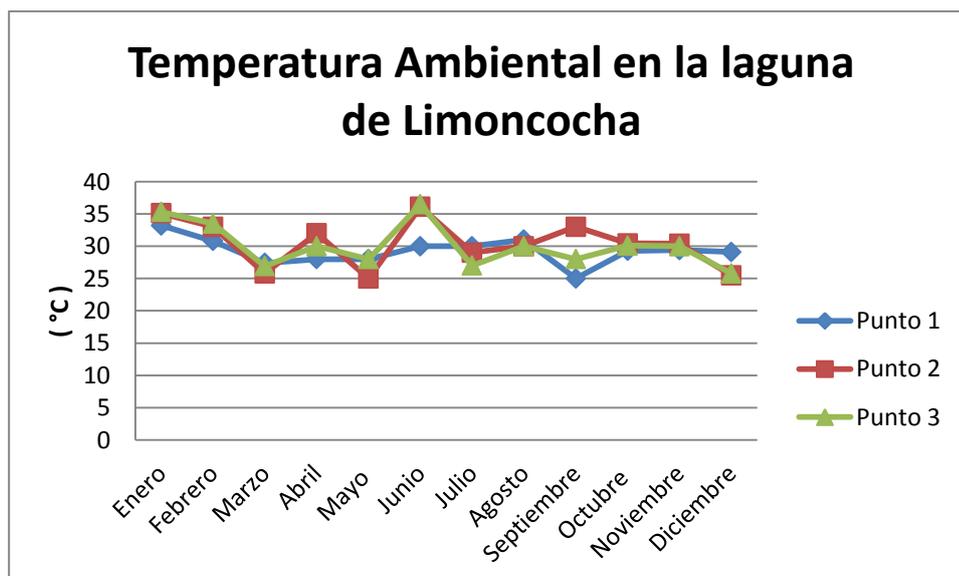


Elaborado por: Martín Hernández, 2015

Para el punto 2 y el punto 3, el comportamiento térmico es similar al punto 1, entendiendo que el régimen térmico de estratificación a lo largo de la laguna, ocurre en un mismo periodo, es decir en los mismos meses. La termoclina en el punto 2, de igual manera se localizó a la misma temperatura de 27,5 °C y a 2 metros de profundidad, a excepción de los meses de agosto, septiembre y octubre, donde ésta se ubicó a los 28 °C y a 2,5 m de profundidad; en el punto 3 la termoclina se diferencia a los puntos anteriores en el mes de junio, con una temperatura de 26,5 °C a una profundidad de 1.8 metros. Los estratos mencionados a una temperatura y profundidad fija, correspondientes a la termoclina o zona del *metalimnion*, permiten estructurar térmicamente a la columna de agua, ya que, sobre ésta se encuentra el *epilimnion*, y por debajo el *hipolimnion*.

Por otra parte, se procedió a comparar la temperatura ambiental con el régimen de estratificación térmica de la laguna para verificar cierta relación entre las mayores temperaturas y los meses de estabilidad. A continuación se muestra la (Figura 3) de temperatura ambiental medida en los tres puntos de muestreo establecidos en la laguna de Limoncocha, en un periodo diurno.

Figura 3. Temperatura ambiental medida en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha.



Elaborado por: Martin Hernández, 2015

La comparación expuesta es particular para enero, abril, junio, agosto, septiembre y octubre (de los puntos 1, 2 y 3), discrepa en marzo en los tres puntos, y el mes de septiembre para los puntos de muestreo 2 y 3, por lo tanto, no necesariamente las altas temperaturas ambientales estratifican a la columna de agua de la laguna, sino que la temperatura ambiental a la que se encuentra ésta zona tropical, es suficiente para estructurar térmicamente a la masa de agua, como lo establece Richerson (1977), que la cantidad relativamente fuerte de radiaciones solares existentes en las zonas tropicales, tienden a establecer una estratificación diurna marcada en el día.

En relación con lo anterior, lo que menciona Benjumea y Wills (2007), que en la época de sequía, jornadas calurosas sin lluvias, los lagos someros se suelen estratificar, se puede argumentar, que los factores determinantes frente a la estratificación o estabilidad del agua y de las temperaturas altas en el interior de la laguna, son las condiciones climáticas (lluvias y viento), las cuales pueden enfriar el cuerpo de agua, a pesar de las altas temperaturas ambientales, e irrumpir los periodos de estratificación debido a la mezcla que suelen provocar.

La laguna de Limoncocha con respecto al periodo de estabilidad, se podría identificar como la época en donde las condiciones climáticas favorecieron la formación de estratos térmicos en el cuerpo de agua léntico. Cabe recalcar que el fenómeno de estabilidad se debe a las diferencias de temperatura entre estratos, los cuales originan capas con diferentes densidades que constituyen en sí mismas una barrera física a la mezcla (Roldán, 2008).

Referente a la Profundidad Secchi que se muestra en la Figura 2, como una línea continua situada a los 40 cm aproximadamente desde la superficie, en los puntos 1, 2 y 3, se puede verificar que la transparencia es mayor en periodos estratificados, así también lo especifica Marín (s. f), que durante la estratificación térmica las aguas superficiales presentan baja turbidez, la cual va incrementándose conforme aumenta la profundidad del agua. Sin

embargo, en los tres puntos de muestreo de la laguna, en ciertos meses (junio, septiembre y octubre), las dos variables actuaron de distinta manera, se halló una menor transparencia en un periodo de estratificación, tal vez por la existencia de material externo.

Con respecto al periodo de mezcla, los meses que comprenden este fenómeno natural son Febrero, Mayo, Julio, Noviembre y Diciembre. El comportamiento natural es muy similar, en los tres puntos de muestreo (muelle, centro y caño) de la laguna de Limoncocha.

La homogenización del agua en el interior de cualquier cuerpo léntico, debe mediar o superar la resistencia de mezcla, que suele ser menor en la época del invierno, ya que la temperatura media en la columna de agua se mantiene uniforme al igual que su densidad, lo que provoca la circulación de agua por convección (Benjumea y Wills, 2007). Si se observa la Figura 1, en el punto 1, la isoterma que se sitúa en los meses del periodo de mezcla conserva una temperatura igual a los 27 °C, lo que representaría uniformidad de la densidad del agua a esa temperatura.

En cuanto a los factores que influyen en la mezcla de agua de la laguna, se podría considerar a las precipitaciones, puesto que en los meses de mezcla, se observó una baja de temperatura en la columna de agua. Relacionando esta eventualidad con el estudio de Benjumea y Wills en el (2007), en la ciénaga de Cachimbero en Colombia, el régimen de mezcla se efectuó en climas lluviosos, cuando la columna de agua perdía calor; por lo tanto, se podría considerar a las precipitaciones como el posible causante de mezcla en laguna de Limoncocha.

No se dispone de información de las condiciones climáticas en la zona de la laguna, sin embargo se procedió a buscar los datos de precipitación y viento de las estaciones climáticas más cercanas. Los registros meteorológicos fueron tomados del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI), correspondientes a la estación Nuevo Rocafuerte y San José de Payamino ubicadas en la provincia de Orellana, respectivamente al este y al oeste

de Limoncocha. De las dos estaciones se hizo un promedio de la precipitación mensual, para estimar la cantidad de lluvia que posiblemente se produjo en Limoncocha en el mismo periodo en que fueron tomados los datos en la laguna.

Tabla 1. Promedio de las precipitaciones mensuales de las estaciones cercanas a Limoncocha, Nuevo Rocafuerte y San José de Payamino.

Promedio de la precipitación mensual de las estaciones Nuevo Rocafuerte y San José de Payamino. Año 2012			
Mes	Precipitación NR	Precipitación SP	Promedio
	(mm)	(mm)	(mm)
Enero	76.7	417.8	247.3
Febrero	155.2	444.9	300.1
Marzo	503.8	581.6	542.7
Abril	219.5	451	335.3
Mayo	307.5	247.3	277.4
Junio	192	248.2	220.1
Julio	411.4	350	380.7
Agosto	169.6	194.9	182.3
Septiembre	262.9	184.4	223.7
Octubre	189.5	345.5	267.5
Noviembre	82.5	273.4	178.0
Diciembre	247.4	404.9	326.2

Elaborado por: Martin Hernández, 2015

De acuerdo a la Tabla 1, las mayores precipitaciones corresponden a los meses de febrero, marzo, abril, julio y diciembre, alcanzando más de 300 (mm) en un mes. El periodo de mezcla coincide con los meses de febrero, julio y diciembre, pero para los meses restantes marzo y abril, no concuerdan con la mezcla-lluvia, ya que se encuentran estratificados. Además, para el mes de noviembre que se halla dentro del régimen de mezcla, la precipitación alcanza apenas los 178 mm, considerándose una precipitación menor a las máximas presentadas en el año. Por lo tanto, no se descarta la posibilidad de considerar a las precipitaciones como uno de los factores de mezcla en la laguna de Limoncocha, sin embargo, no se concluye como la única opción de mezcla, ya que en muchos casos, el viento, también origina la homogenización de agua en los cuerpos lénticos. El viento actúa sobre la superficie

de agua en cierta dirección, la cual descompone gradualmente las capas superiores de la masa de agua; la primera será sustituida por la masa de la capa inferior fría, que se moverá hasta la superficie, provocando turbulencia en el interior de la laguna (Roldán, 2008). Desde esta perspectiva, para el mes de noviembre con una baja precipitación, se acerca la posibilidad de la acción del viento. Si se observa la tabla a continuación del régimen ventoso en la estación San José de Payamino (Orellana), es visible que en dicho mes se produjeron vientos fuertes (2 m/s), capaces de mezclar a la columna de agua, por lo que los lagos tropicales someros que se estratificarían en ausencia de viento, permanecen mezclados bajo la acción constante del mismo (Freneal y Meléndez, 2010).

Tabla 2. Promedio del régimen del viento en la estación San José de Payamino.

Viento y su dirección predominante, medido mensualmente en la Estación San José de Payamino. Año 2012												
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
(m/s)	2.4 NE	2.4 NE	2.0 NE	1.9 NE	1.7 NE	2.0 NE	1.9 NE	1.9 NW	2.0 NW	1.8 NE	2.1 NE	2.1 NE

Elaborado por: Martín Hernández, 2015

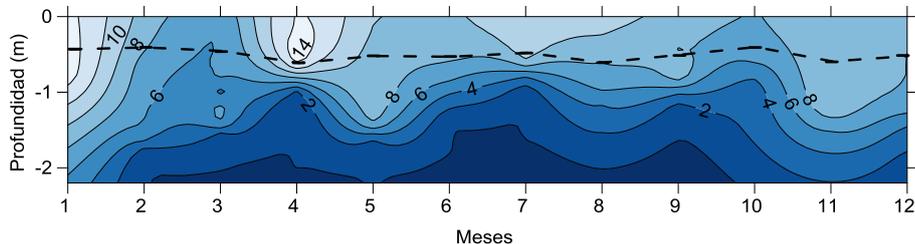
Por el momento la laguna de Limoncocha y el análisis interpretativo que se realizó con anterioridad, dentro de la clasificación de cuerpos lacustres según la estratificación térmica asignada por Lewis, pertenece al cuerpo de agua *polimíctico cálido discontinuo*, mencionado en Roldán (2008), al cual se interpreta como un sistema hídrico con periodos de mezcla no diarias.

4.2.3 Oxígeno Disuelto

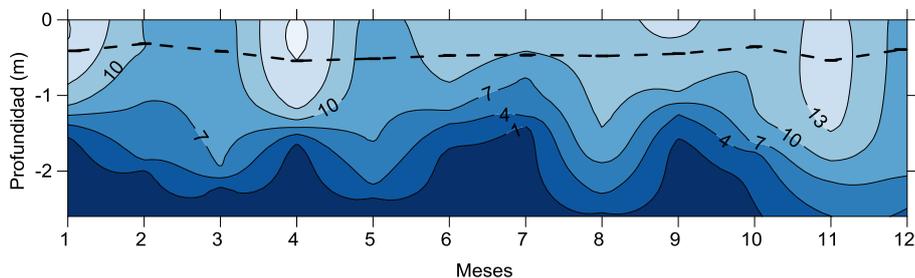
El oxígeno disuelto en la columna de agua de los cuerpos lénticos, proviene principalmente de la actividad fotosintética de organismos autótrofos, ya que de no ser así, el atrapamiento de las moléculas de oxígeno sería inexistente, puesto que la movilidad y circulación de estas aguas es escaso. Sin embargo, la acción del viento y de la lluvia, disuelven el O₂ atmosférico en el agua.

Figura 4. Gráficas de oxígeno disuelto en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha, en el año 2012.

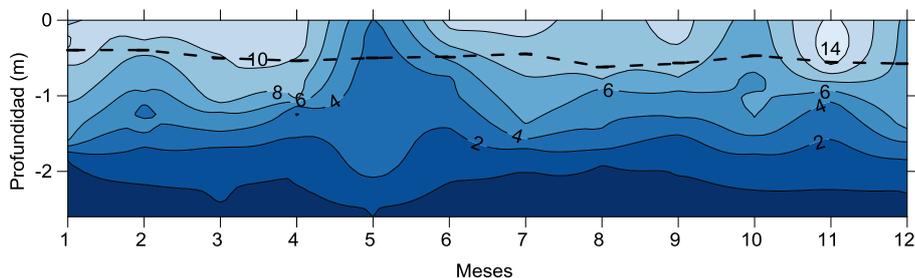
Perfil vertical de Oxígeno disuelto (mg/L) y profundidad secchi en el agua en el Punto 1. (Muelle de la laguna de Limoncocha).



Perfil vertical de Oxígeno disuelto (mg/L) y profundidad secchi en el agua en el Punto 2. (Centro de la laguna de Limoncocha).



Perfil vertical de Oxígeno disuelto (mg/L) y profundidad secchi en el agua en el Punto 3. (En el Caño, laguna de Limoncocha).

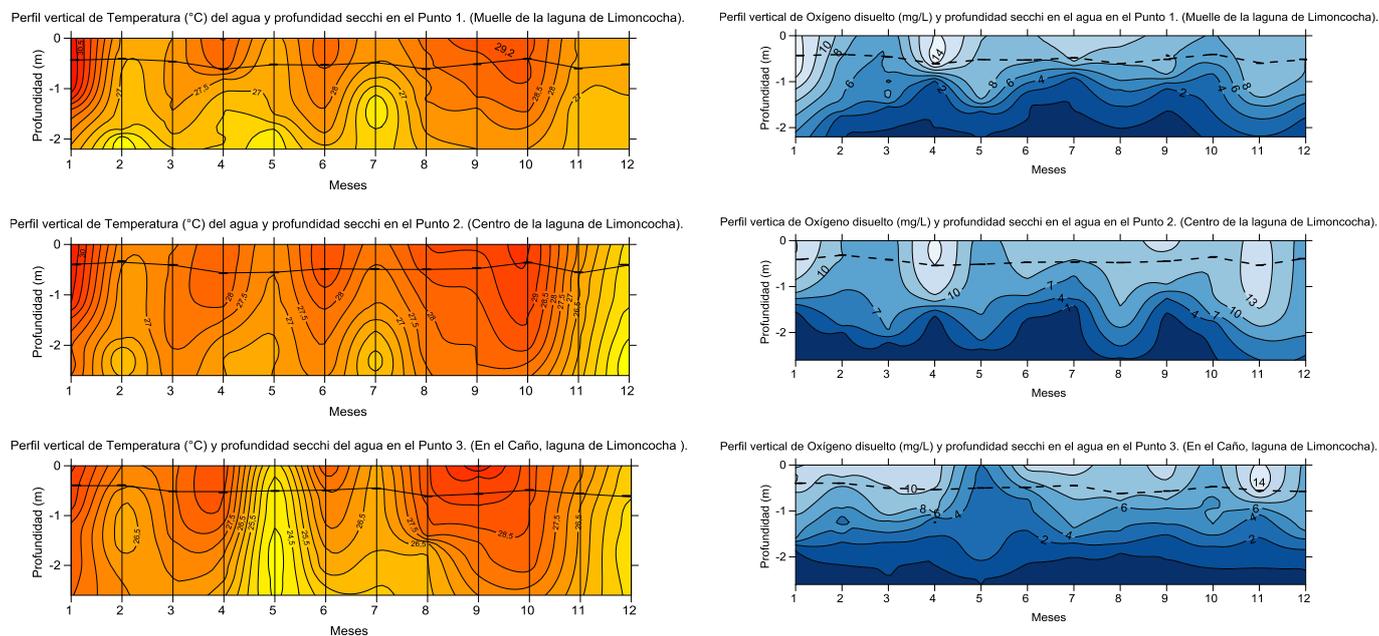


Elaborado por: Martín Hernández, 2015

El perfil vertical de oxígeno disuelto (Figura 4) en la laguna de Limoncocha muestra concentraciones elevadas en ciertos meses, por ejemplo, en el punto 1 y el punto 3, en el mes de enero y abril se midieron cantidades de 14 mg/L desde la superficie hasta un metro de profundidad; en el punto 2, la mayor concentración de oxígeno fue durante los meses de enero, abril y noviembre, los cuales contenían 14, 16 y 13 mg/L de O_2 respectivamente, a pocos centímetros de la superficie. Esta situación es similar y comparable con la ciénaga somera colombiana de Cachimbero, en el cual se argumentó que los niveles más altos de

oxígeno disuelto (5-7,3 mg/l) se encontraron en los primeros 30 cm y durante las horas de mayor acción del sol (12-16 horas).

Figura 5. Comparación del régimen térmico y la concentración de oxígeno disuelto en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha.



Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Por otra parte, se comparó el régimen térmico y la concentración de oxígeno disuelto. Si se observa la Figura 5, es visible que en ciertos meses las capas térmicas de elevada temperatura concuerdan con la mayor concentración de oxígeno disuelto, el caso se ajusta específicamente en punto 1, para los meses de enero y abril, que corresponde a la estratificación térmica, y en el punto 2, en los meses de enero, abril y septiembre. Cabe recalcar que noviembre posee una elevada concentración de O_2 a baja temperatura, y no pertenece al periodo de estabilidad. En el punto 3, las mayores concentraciones de oxígeno a elevadas temperaturas, se visualizaron en enero, abril, junio y septiembre, de igual forma al punto 2, en noviembre no muestra una alta temperatura pero si una concentración de oxígeno elevada.

Claramente en la superficie del agua la temperatura es mayor al igual que el O_2 disuelto, y a medida que se aleje de la superficie, la temperatura y la concentración del gas

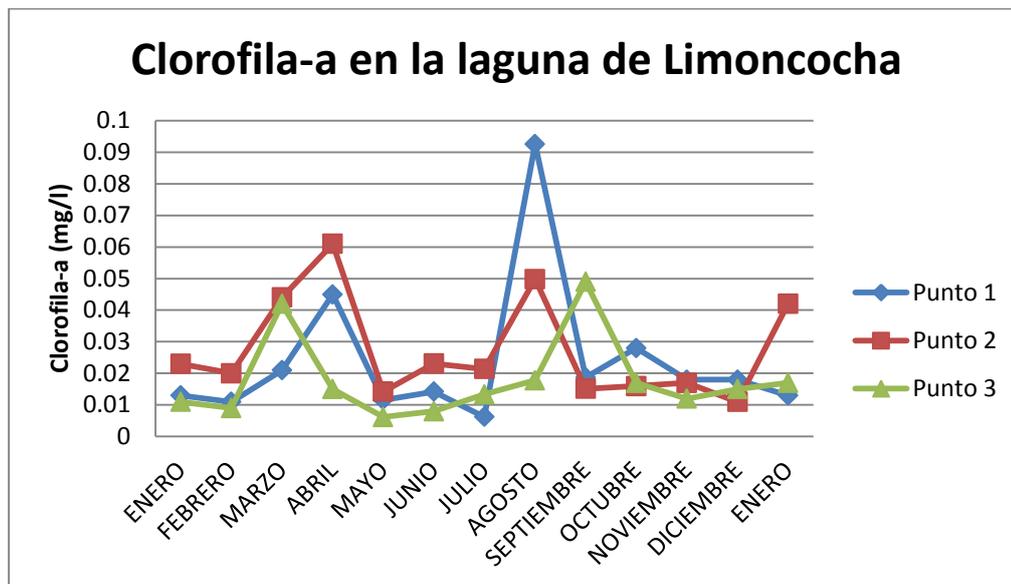
disuelto disminuye. La razón frente a la comparación expuesta, probablemente tenga que ver con la estratificación de la laguna y la transparencia de ciertos meses, permitiendo un incremento de la luz solar en la columna de agua, y por ende una mayor actividad fotosintética la cual aumentaría el oxígeno (Quiroz, 2008).

El límite de la profundidad Secchi, que se observa en la Figura 4, en una línea entrecortada, se denomina zona fótica, y en el cuerpo lacustre de Limoncocha mide alrededor de los 40 a 65 centímetros. Se podría deducir que el oxígeno dentro de esta zona es abundante, no obstante por debajo de ella, la concentración se reduce gradualmente, como en la mayoría de lagos tropicales de Sudamérica, en especial en el Amazonas (Salcedo *et al*, 2012); justamente, por la cantidad de materia orgánica que se puede encontrar en estos sistemas hídricos, y por el cual el consumo de O₂ es excesivo a tal punto que se suele agotar en el fondo (Roldán, 2008).

El comportamiento de distribución vertical de oxígeno que se acaba de describir, es característico de lagos eutróficos, de zonas templadas y en algunos de zonas tropicales de productividad alta (Roldán, 1992), en donde la curva de oxígeno a partir de la zona de compensación cae fuertemente; éste tipo de curva se denomina *clinograda*. (Ídem).

En fin, la incidencia solar que penetró en la superficie del agua en jornadas de estratificación con mayores profundidades Secchi, en la mayoría de los casos, se podría considerar relevante con respecto a la producción de oxígeno. Sin embargo, en ciertos meses las condiciones del régimen térmico, no son las que aseguran la concentración de O₂, probablemente son otras las variables que intervienen en la producción del gas disuelto en la laguna de Limoncocha; quizá el aumento poblacional de organismos autótrofos (Quiroz *et al*, 2008) sea el principal influyente en la producción de oxígeno. La gráfica siguiente muestra la cantidad mensual de clorofila-a de la laguna en el transcurso del año.

Figura 6. Mediciones de clorofila-a en los tres puntos establecidos de la laguna de Limoncocha, en el año 2012 y 2013.



Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Comparando la Figura 6 con la Figura 4 anteriormente propuesta, parece existir una relación directa entre clorofila-a y el aumento de oxígeno en los meses de abril y agosto. No obstante, en el mes de agosto, con la mayor concentración de clorofila-a se establece valores de oxígeno disuelto de 10 mg/L, menor a los 16 mg/L de O_2 medidos en el mes de abril; además en enero del 2012, se midió una concentración máxima de O_2 disuelto de 14 mg/L cuando la cantidad de clorofila-a en éste mes es baja.

De esta manera, la biomasa (clorofila-a) no se encuentra relacionada directamente con la producción primaria de la laguna, ya que los eventos de estratificación y mezcla determinan su concentración, evidenciándose relación con la transparencia y la conductividad eléctrica (Montoya, 2010). Este argumento manifiesta que, una mayor cantidad de clorofila no aumentaría el rendimiento productivo en la columna de agua y por lo tanto la concentración de oxígeno, sino, que son otros los factores que inciden en la productividad de los sistemas lénticos.

Partiendo del análisis anterior con respecto a la concentración de oxígeno disuelto de acuerdo al régimen térmico, la saturación del gas mencionado y el análisis objetivo de la

clorofila-a y nutrientes, determina con más detalle la productividad de la laguna y por ende del oxígeno. La producción primaria permite evaluar la capacidad de captación de energía de los organismos autotróficos (Montoya, 2010). Este rendimiento fitoplanctónico es determinado principalmente por la intensidad de la radiación luminosa, la disponibilidad de nutrientes y la mezcla (Ídem). En contexto aparte de la transparencia, estabilidad y la mezcla de agua, los nutrientes y la saturación de oxígeno podrían aclarar de cierto modo la productividad de la laguna.

La saturación de oxígeno disuelto (% O₂), es el porcentaje máximo del mencionado gas que puede disolverse en el agua a una presión y temperaturas determinadas (Roldán, 2008). Se obtuvo la saturación de oxígeno a partir de la fórmula de Elmore y Hayes, detallada en el Capítulo 3 correspondiente a la Metodología.

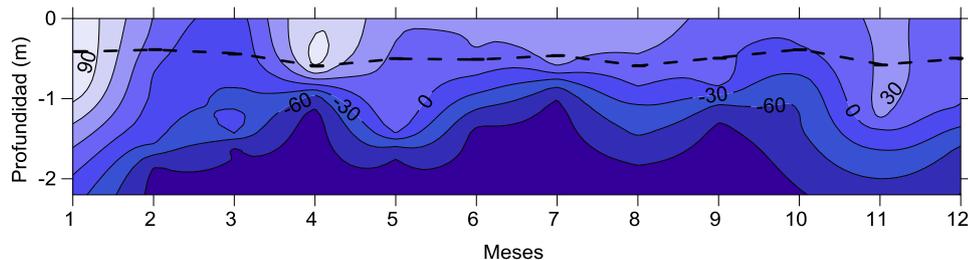
El gráfico que se verá a continuación Figura 7, esquematiza la saturación de O₂ en la laguna de Limoncocha. Para entender es necesario interpretar la gráfica de la siguiente manera: la saturación de oxígeno en el cuerpo lacustre varía de 6 a 8 mg/L, dependiendo de la temperatura, lo que representa en la gráfica el valor de 0%, es decir que en el cero por ciento existe una cantidad normal de O₂ dispuesto bajo las condiciones del lugar. Por encima del 0%, se entiende que existe una sobresaturación de oxígeno, por ejemplo, si el gráfico indica una isopleta del 30%, esto quiere decir que en ese punto se halla un treinta por ciento más de oxígeno, de lo normal. Por el contrario, si el valor está comprendido por debajo del 0%, preexiste un déficit de oxígeno o sub-saturación. Si el valor se lee (-100%), significa que la laguna se encuentra sin oxígeno (anóxica).

En el punto 1, existe una sobresaturación de oxígeno a partir del primer metro de profundidad, por debajo de esta medida existe una deficiencia de O₂, es decir las condiciones se vuelven hipóxicas; no obstante, a partir del 1,20 m y los 2,0 m de profundidad en algunos meses las condiciones se vuelven anóxicas, carentes de oxígeno.

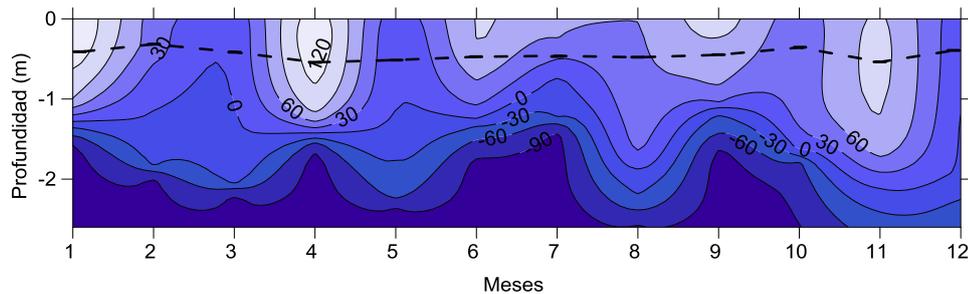
En el punto 2, la sobresaturación de oxígeno es a partir del 1,20 m de profundidad hasta la superficie, a diferencia del mes de agosto empieza en el 1,50 m de profundidad. De igual forma en ciertos meses en el fondo el agotamiento total de oxígeno es evidente.

Figura 7. Gráficas de saturación de oxígeno disuelto en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.

Perfil vertical de Saturación de oxígeno (%) y profundidad secchi en el agua en el Punto 1. (Muelle de la laguna de Limoncocha).

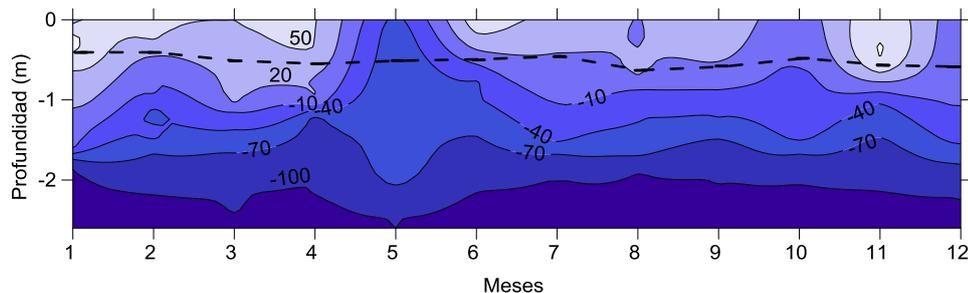


Perfil vertical de Saturación de oxígeno (%) y profundidad secchi en el agua en el Punto 2. (Centro de la laguna de Limoncocha).



70

Perfil vertical de Saturación de oxígeno (%) y profundidad secchi en el agua en el Punto 3. (En el Caño, laguna de Limoncocha).



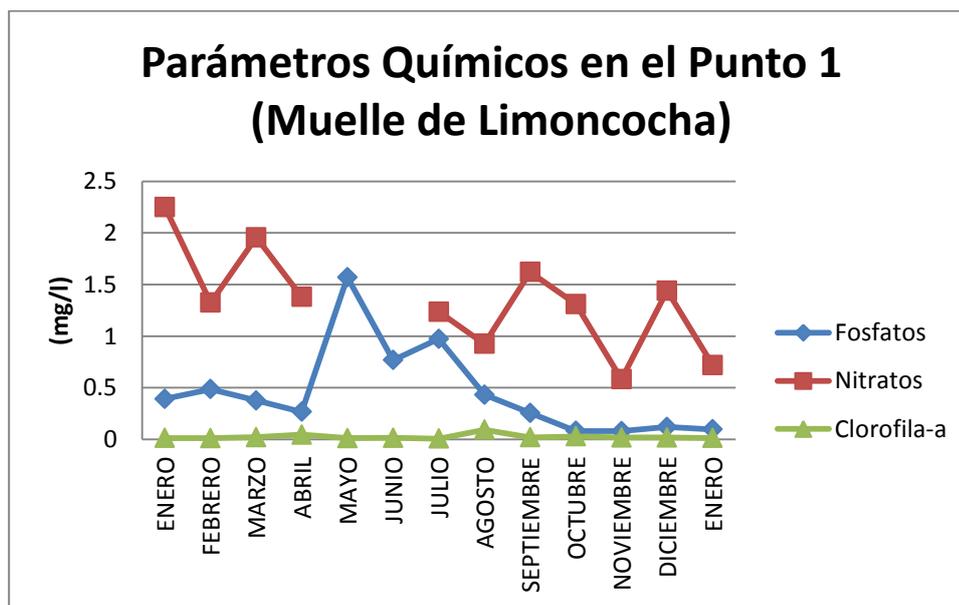
Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Para el punto 3, la sobresaturación de oxígeno empieza en el primer metro, muy cerca de la zona fótica, no obstante, por debajo de 1,0 m de profundidad en todo el año las condiciones fueron hipóxicas (bajos niveles de oxígeno).

Dadas estas interpretaciones la laguna se sobresaesatura en la superficie y más aún en la zona fótica, bajo ésta, generalmente un metro de profundidad decrece la concentración de oxígeno hasta los estados hipóxicos y anóxicos de cuerpos lénticos tropicales.

Previo al análisis de la saturación de oxígeno es necesario interpretar la productividad de la laguna por medio de los parámetros químicos. Según Casallas y Gunkel (2001), la estratificación y la mezcla del cuerpo de agua determinan también el comportamiento de algunos parámetros químicos, interfiriendo en la recirculación y distribución de nutrientes y el contenido del oxígeno. A continuación se analizó los parámetros químicos y su variación, también la profundidad secchi y la saturación de oxígeno expuesto en la Figura 7 (%O₂ disuelto), anteriormente analizada.

Figura 8. Parámetros químicos (nitratos, fosfatos y clorofila-a) medidos en el Punto 1 (Muelle de la laguna de Limoncocha) en el año 2012 y 2013.



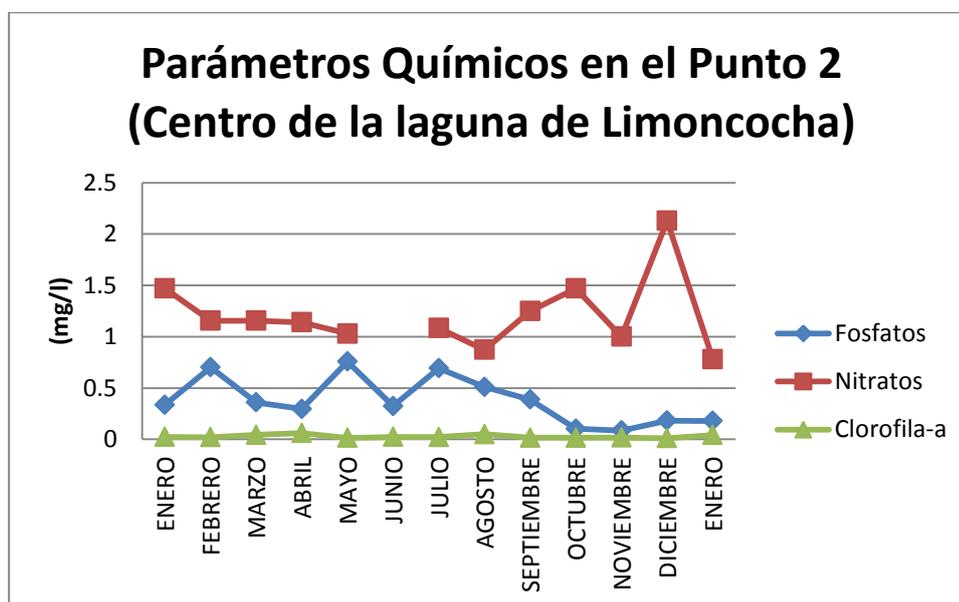
Elaborado por: Martin Hernández, 2015

De acuerdo a la Figura 8, para el punto 1 en la laguna de Limoncocha, dentro del periodo de estratificación (enero, marzo, abril, junio, agosto, septiembre y octubre), el nutriente fosfato tiende a disminuir, y solamente en abril, agosto y octubre disminuyen los nitratos. Por otra parte, las mayores transparencias fueron visibles en abril y agosto. En este periodo de estabilidad se encontraron saturados septiembre y octubre, a partir del primer

metro de profundidad, sobresaturados junio y agosto, y en su punto máximo de sobresaturación enero y abril. Por último, el mes de marzo se encontró con un déficit de oxígeno desde la superficie.

Para el periodo de mezcla (febrero, mayo, julio, noviembre y diciembre), los nutrientes, más aun los fosfatos tienden a aumentar, a diferencia de que en ciertos meses existe una leve disminución por parte de los nitratos, no obstante, solo en el mes de noviembre ambos nutrientes disminuyeron. Las profundidades Secchi en esta jornada se fueron acrecentando conforme se terminaba la estratificación, excepto para los meses de noviembre y diciembre, los cuales tendieron a reducir su transparencia. Los meses que se encontraron saturados de oxígeno fueron febrero y diciembre; sobresaturados mayo, julio y noviembre.

Figura 9. Parámetros químicos (nitratos, fosfatos y clorofila-a) medido en el Punto 2 (Centro de la laguna de Limoncocha), en el año 2012 y 2013.



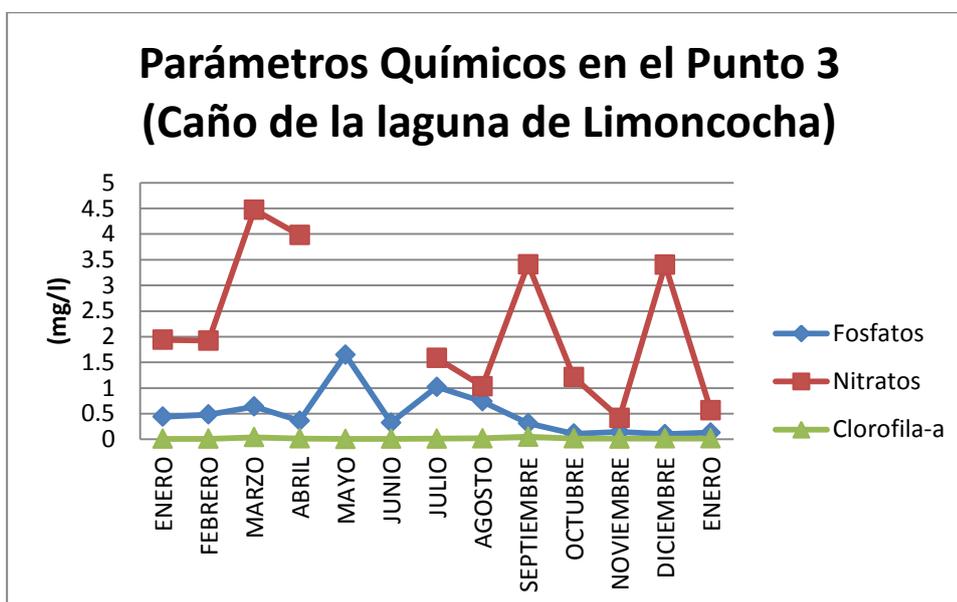
Elaborado por: Martin Hernández, 2015

En la Figura 9, se observa que en el régimen de estabilidad (enero, marzo, abril, junio, agosto, septiembre y octubre), al igual que en el punto 1, el nutriente fosfato disminuye, a diferencia de los nitratos que disminuían y aumentaban en ciertos meses. Las profundidades Secchi tendieron a reducirse en los primeros meses, no así para junio, agosto, septiembre y

octubre; la mayor transparencia se observó en el mes de abril. Con respecto al oxígeno disuelto, el mes que se encontró saturado fue marzo, desde el 1,20 m de profundidad hasta la superficie. Para los meses sobresaturados correspondieron abril, agosto y octubre; y en su punto máximo de sobresaturación enero, abril, junio y septiembre.

En la jornada de mezcla (febrero, mayo, julio, noviembre y diciembre), los fosfatos incrementaron, en el caso de los nitratos solo en el mes de diciembre, ya que en el resto de meses disminuyeron en pequeñas cantidades. Por otra parte, la profundidad Secchi aumentó después de la estratificación, no así para el mes de noviembre. En cuanto al O₂ disuelto, el mes de mayo se encontró saturado a partir de los 1,20 m de profundidad, sobresaturados los meses de febrero, julio y diciembre; y en su punto máximo de sobresaturación fue para noviembre.

Figura 10. Parámetros químicos (nitratos, fosfatos y clorofila-a) medido en el Punto 3 (Caño de la laguna de Limoncocha), en el año 2012 y 2013.



Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Los parámetros químicos en el Caño de la laguna de Limoncocha (Figura 10), sujetos al periodo de estabilidad (enero, marzo, abril, junio, agosto, septiembre y octubre), presentaron una similitud con los demás puntos de muestreo, exactamente con el nutriente fosfato, que tendió a disminuir, excepto para el mes de marzo, que con relación a los puntos

establecidos éste incrementó. En cuanto a los nitratos en marzo y septiembre aumentaron considerablemente, y disminuyeron en abril, agosto y octubre. Referente a la profundidad Secchi, la transparencia se extendió en la columna de agua en varios meses, a excepción de junio, septiembre y noviembre. Concerniente al %O₂ disuelto en Caño, se sobresaturó en marzo, agosto y septiembre; y es su punto máximo de sobresaturación en los meses de enero, abril, y junio. En este punto de muestreo se verificó al mes de octubre con déficit de oxígeno cercano a la superficie.

En el Caño de la laguna de Limoncocha se puede visualizar que la concentración de oxígeno se mantiene muy cerca de la superficie, en los primeros meses (enero-abril) el O₂ no sobrepasa del primer metro de profundidad, y en los meses restantes, por debajo de la zona fótica, las condiciones se vuelven hipóxicas. Además, en algunos meses existe un déficit de oxígeno cerca de la superficie, específicamente en el mes de octubre.

Para el periodo de homogenización del agua o mezcla (febrero, mayo, julio, noviembre y diciembre) en el punto 3, los nutrientes se comportaron de la siguiente manera: los fosfatos tendieron a aumentar levemente en febrero y diciembre, y en cantidades considerables en mayo y julio; en el caso de los nitratos disminuyeron en el mes de febrero y noviembre. Por otra parte, las profundidades secchi se mantuvieron en aumento en la jornada de mezcla, no así, los meses de noviembre y diciembre. Por último el oxígeno disuelto se sobresaturó en el mes de julio y en su punto máximo de sobresaturación en los meses de febrero y noviembre, no obstante, en este punto de la laguna, se encontró déficits de oxígeno cercanos a la superficie, en los meses de mayo y diciembre.

Comparado con los puntos de muestreo 1 y 2, en el punto 3, mayo se identificó como el mes con el mayor déficit de oxígeno en el año. Al parecer en el Caño de la laguna el aporte de material orgánico es abundante, por lo que la concentración de oxígeno es proclive al agotamiento.

El análisis anterior (Figuras 8, 9 y 10) conlleva a entender el comportamiento de la laguna de la siguiente manera. La productividad de la zona lacustre de Limoncocha depende de la estabilidad y del periodo de mezcla que suele efectuarse constantemente a lo largo del año. Claramente se puede relacionar su rendimiento comparando con las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua, pues un exceso de fotosíntesis sobrepasa de O_2 al sistema acuático (Roldán, 2008); para que esto ocurra, es necesaria la disponibilidad de luz solar y de nutrientes, principalmente de nitratos y fosfatos, los cuales son los responsables de la producción primaria (Ídem).

La productividad con relación a los nutrientes y los periodos de estratificación y mezcla en cuerpos lénticos, lo explica Wurtsbaugh et al (1992) en su análisis de nutrientes en el Lago Mayor, donde señalaba que el fitoplancton, en el mencionado lago resultaba limitado por el nitrógeno durante la mayor parte del período de estratificación, pero no durante el período de mezcla profunda. Debido a que, con la llegada de la mezcla invernal en (mayo), el epilimnion se cargaba de nitrógeno en la zona fótica por el movimiento del agua, pero establecida la estratificación en (octubre) el consumo de este nutriente se efectuaba hasta agotarlo.

De manera similar se podría constatar este comportamiento en la laguna de Limoncocha, comparativamente más con los fosfatos. En donde el nutriente tendía a disminuir en los periodos de estratificación y aumentar en los periodos de mezcla de la laguna; no así para los nitratos, ya que variaba independientemente del régimen térmico, pero si se sujetaba a la disminución en algunos meses.

Es importante mencionar que el nutriente fosfato podría considerarse como el factor limitante en la productividad primaria, debido a que se encuentra en bajas cantidades comparado con el nitrato en la laguna de Limoncocha.

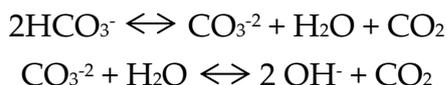
Referente a la profundidad Secchi, la transparencia varió en los periodos de estabilidad y mezcla de la laguna, por lo que no se pudo constatar que en los periodos de estratificación es mayor su transparencia, y en las jornadas de mezcla, menor es su claridad. Sin embargo, se visualizó que cuanto mayor es la profundidad Secchi, las concentraciones de oxígeno disuelto tienden a aumentar. Asimismo, dentro de la profundidad Secchi, que se considera la zona fótica se encontraron los puntos máximos de sobresaturación.

Cabe recalcar que tanto para el régimen de estabilidad y mezcla, la clorofila se mantuvo relativamente igual, excepto para para el mes de agosto en el punto 1 en el cual se acrecentó distintivamente. En contexto, los valores de clorofila se mantienen en un punto productivo para la laguna.

4.2.4 Situación del pH en la laguna.

Primeramente de acuerdo a lo mencionado por Roldán (2008), y visiblemente en los esquemas establecidos a continuación acerca del pH, los valores comunes en la laguna de Limoncocha y en aguas neotropicales de lagos y ciénagas varían entre 6,0 y 9,0. También concuerda Revelo (2012), ya que menciona que el agua en la laguna se mantiene en un estado básico de (9,0), pero tiende a disminuir hacia valores más ácidos (6,0) conforme es mayor su profundidad.

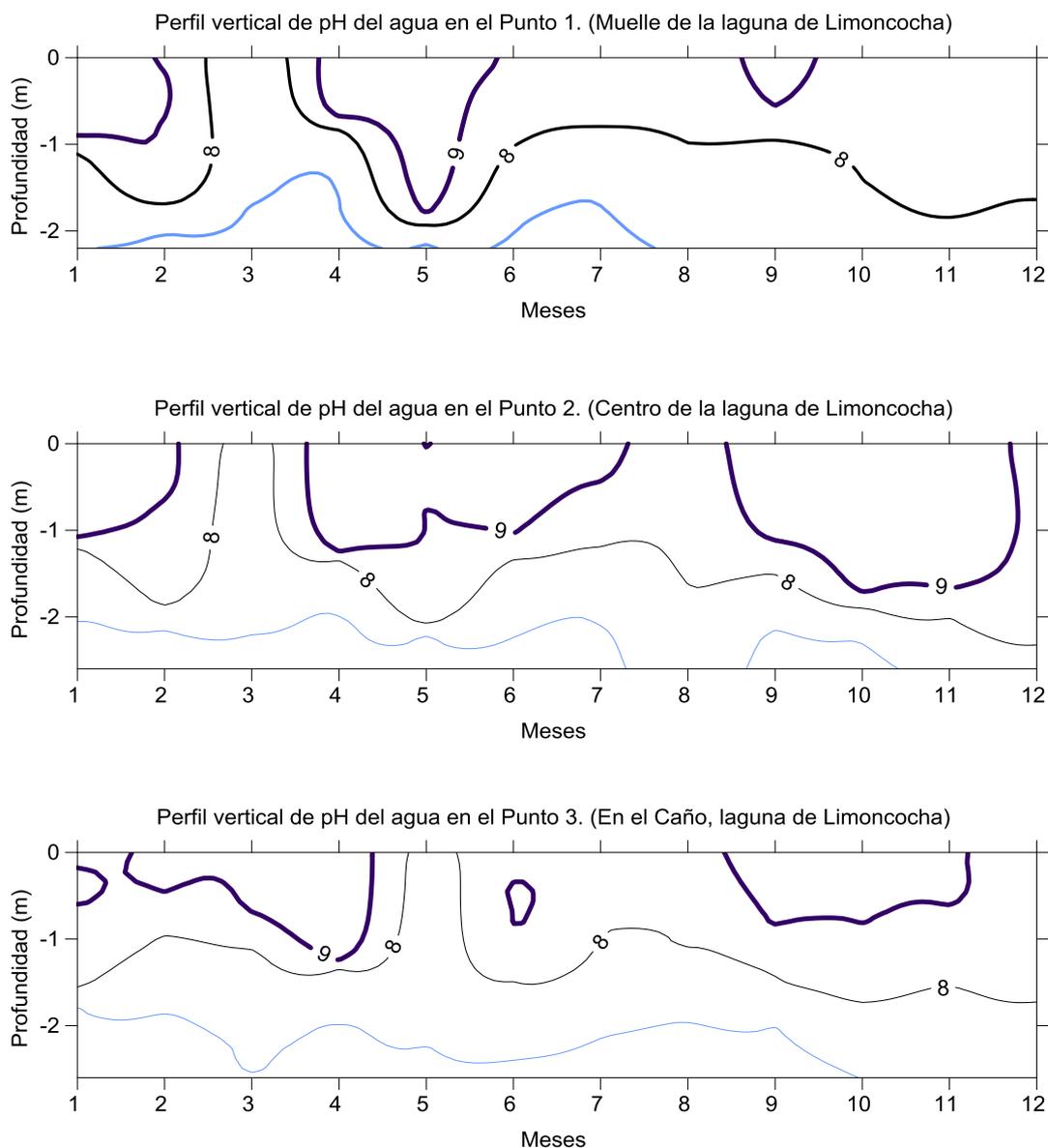
Según Roldán (2008), al incrementarse el pH, las formas de alcalinidad cambian y el CO₂ puede ser extraído por las algas de las formas combinadas del carbono (HCO₃⁻ y CO₃⁻²).



En definitiva, la remoción del CO₂ por las algas tiende a cambiar las formas de alcalinidad presentes, desde bicarbonato a carbonato, y de carbonato para hidróxido. Por lo

que, por medio de estos cambios, las algas pueden continuar extrayendo CO_2 hasta alcanzar un pH alto, y la alcalinidad permanece constante (Ídem).

Figura 11. Gráficas de pH en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.



Elaborado por: Martín Hernández, 2015

Por lo tanto, en el punto 1, la productividad de la laguna se mantuvo a lo largo del año, ya que presentó valores de pH básicos entre 8,0 y 9,0 desde la superficie hasta cierta profundidad (1,8 m), excepto para el mes de marzo que mostró un pH neutro. También es visible un pH de 9,0 en ciertos meses relacionando a una mayor actividad fotosintética y aumento de OH^- , esta situación para los meses de enero (estratificado), febrero (mezcla), abril

(estratificado), mayo (mezcla) y septiembre (estratificado). Sin embargo para el mes de septiembre, es más probable una descarga alóctona por fuentes externas, lo que provocaría un estado básico en el agua, ya que la producción de oxígeno en ese mes no es tan alta. Para el mes de mayo se le atribuye en cambio, una mezcla de agua desde el fondo de la laguna (Betancourt, et al 2009), lo cual removió los sedimentos hasta la superficie, elevando de esta manera el pH.

Para el punto 2, similar al punto 1 se considera productivo, a partir de 1,20 m de profundidad, no así para el mes de marzo que obtuvo un valor neutro. Para los meses con el potencial de hidrogeniones de (9,0), se encontraron los meses de enero (estratificado), abril (estratificado), mayo (mezcla), junio (estratificado), julio (mezcla), septiembre (estratificado), octubre (estratificado) y noviembre (mezcla). De acuerdo con el porcentaje de saturación de oxígeno, es el punto de muestreo con la mayor concentración O₂ disuelto, y donde el gas alcanza una mayor profundidad, por lo que se le atribuye al punto más productivo, y por lo tanto un pH bicarbonatado a mayores profundidades. Sin embargo, en el mes de mayo, en el cual se observó con anterioridad una concentración de oxígeno hasta la saturación, no se puede asociar el pH básico a la productividad de la laguna, sino más bien a la mezcla de sedimentos.

Por último en el punto 3, el pH no varía su rango de 8 a 9 cerca de la superficie, a excepción del mes de mayo, en donde se midió un pH neutro en toda la columna de agua, similar a marzo de los puntos de muestreo 1 y 2. El pH de nueve se sujetó a los meses siguientes: enero (estratificado), febrero (mezcla), marzo (estratificado), abril (estratificado), junio (estratificado), septiembre (estratificado), octubre (estratificado) y noviembre (mezcla). De los cuales se puede relacionar a una alta productividad a enero, febrero, marzo, abril, junio, septiembre y noviembre, ya que se comparó con la saturación de oxígeno.

Del análisis anterior se podría manifestar que el pH en los puntos de muestreo, se relaciona con el oxígeno disuelto, y por ende con la productividad de la laguna; no obstante para ciertos meses esta relación no fue tan evidente, ya que en algunos meses el pH básico se asociaba más a una mezcla de sedimentos o aporte de material alóctono.

Por otra parte, cuando los valores de pH disminuyen del valor de neutralidad (< 7), se relacionan con los procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos (Sánchez, et al 2007). Es posible que en el mes de mayo (periodo de mezcla) del punto 3, el pH se neutralizó debido al arrastre de material orgánico producto de la escorrentía, provocada por las precipitaciones en el Caño de Limoncocha, ya que normalmente en la superficie los valores tienden a ser básicos. Para el mes de marzo en los puntos 1 y 2, el motivo de la neutralidad probablemente ocurrió por la baja productividad, puesto que en dicho mes la temperatura ambiental fue de 25 °C, y se observó un cambio de saturación a un déficit de oxígeno, por lo que la alcalinidad del agua accedió al valor neutro.

4.2.5 Conductividad en el interior de la laguna.

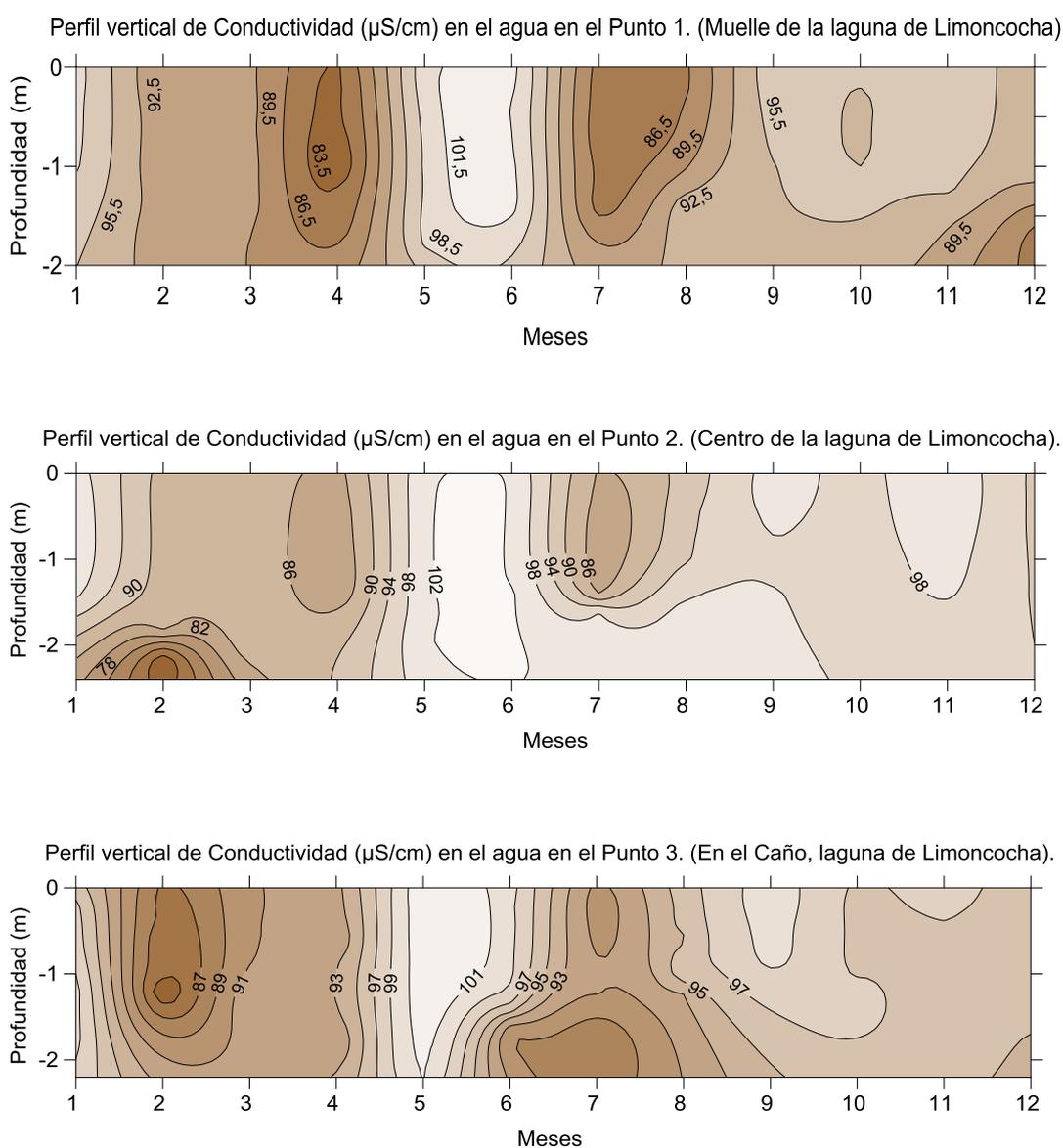
De acuerdo con Castillo (2006), la concentración de nutrientes en los lagos Yahuaraca y Tarapoto en Colombia, medida indirectamente por la conductividad, menciona que es mayor durante el periodo de aguas bajas (limnofase); y que durante el periodo de ascenso es menor la conductividad por la dilución de las aguas. También lo mencionan Montoya y Aguirre en su estudio con respecto al sistema de inundación de Ayapel (Colombia) (2013), argumentando que en estos cuerpos lénticos cuando el nivel de la columna de agua aumenta, implica un mayor volumen de disolvente, lo que puede disminuir la magnitud de esta variable, refiriéndose a la conductividad eléctrica.

La Figura 12, que se mostrará posteriormente, indica un comportamiento variable con respecto a los iones presentes. En el punto 1, las mayores conductividades se encontraron en

los meses de enero, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre, a partir de los 95,5 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), y para mayo 101,5 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Los meses de febrero, marzo, abril, julio, agosto y diciembre se ubican con las menores conductividades ($< 92,5 \mu\text{S}/\text{cm}$).

En el punto 2, al igual que en el punto 1, las mayores y menores conductividades se encontraron en los mismos meses. En ambos puntos de muestreo es observable cierta particularidad en la distribución de iones en el agua.

Figura 12. Gráficas de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los tres puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha en el año 2012.



Elaborado por: Martín Hernández, 2015

Para el punto 3, al igual que el punto 1 y 2 se mantuvo una distribución de electrolitos similar. Sin embargo en ciertos meses la disposición de los iones varió, por ejemplo, en febrero la concentración de iones presentó un conglomerado desigual de electrolitos de diferente conductividad en el primer metro de profundidad, a diferencia de los puntos 1 y 2 que mantuvieron una conductividad homogénea hasta el 1,80 m de profundidad. También en abril se observa una homogenización en la conductividad hasta el fondo, y en puntos anteriores, por el contrario los iones se mantuvieron a profundidades medias.

A pesar de las variabilidades encontradas entre los puntos de muestreo, el comportamiento de conductividad eléctrica en la laguna de Limoncocha, y de acuerdo a los autores mencionados anteriormente, es probable que tenga relación con la hidrología del sistema. Es posible que en los puntos 1, 2 y 3, los meses de febrero, marzo, abril, julio, agosto y diciembre, se hayan encontrado con un aporte de aguas en donde los iones se disolvieron, y debido a esto su conductividad disminuyó.

Si se compara los meses con la mayor alimentación de agua (inundación) a consecuencia del río Napo y a las altas precipitaciones, que comprenden de enero hasta agosto, con un mayor aporte de caudal para los meses de abril, julio y agosto (Carrera, 2014), coinciden con los meses de baja conductividad. Entendiendo que en diciembre y enero las aguas empiezan a acrecentarse, por lo que mantienen una conductividad media; y para los meses restantes septiembre, octubre y noviembre, las aguas permanecerían bajas, por lo tanto la conductividad sería alta.

Con relación a mayo y junio, es muy probable un aporte de material alóctono por una precipitación o agente externo, en donde los sólidos suspendidos todavía no se han disuelto, por esa razón la conductividad es muy alta a comparación con otros meses.

En el Punto 3, el comportamiento se rige a lo acontecido en los puntos anteriores, sin embargo, se podría asociar a un aporte de agua más directo en el mes de febrero ya que su conductividad se mantuvo baja tempranamente, que en el resto de la laguna.

4.2.6 Correlaciones.

En primera instancia se tomó en cuenta las correlaciones de valores mayores a ($r > 0,7$). En el periodo de estratificación en el Punto 1 (Tabla 3.), las correlaciones encontradas fueron, entre el pH y temperatura ($r = 0,751$), asimismo pH con oxígeno disuelto ($r = 0,742$). Estas tres variables posiblemente se relacionen con la productividad de la laguna. Entendiendo que a una mayor temperatura, persista una mayor irradiación solar, por lo tanto aumenta la concentración de oxígeno producto de la fotosíntesis. Y en base a la actividad fotosintética, disminuye el CO_2 , provocando un aumento del pH del agua a un estado básico (8,0-9,0).

Tabla 3. Matriz de correlación de Pearson, $n = 77$, (en el periodo de estratificación) en el punto 1 (Muelle de la laguna de Limoncocha).

	Profundidad	pH	Cond	Temp	NO_3	O_2	Clorofila-a	Fosfatos
Profundidad	1,0	-0,38	-0,264	-0,319	-0,145	0,0	-6,4E-2	-0,11
pH		1,0	-0,393	0,751	-1,8E-2	0,742	-0,153	-0,21
Cond			1,0	0,111	9,1E-2	0,296	-2,7E-4	0,227
Temp				1,0	-5,1E-2	0,436	-0,291	-0,164
NO_3					1,0	-1,0E-1	-0,419	0,865
O_2						1,0	-5,3E-2	2,3E-2
Clorofila-a							1,0	9,7E-2
Fosfatos								1,0

Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Para el Punto 1 en el periodo de mezcla (Tabla 4), la correlación más cercana se observó con las variables de profundidad y conductividad ($r = -0,653$). Probablemente, a razón de un incremento de agua por inundación en esta jornada, los iones tienden a disolverse, convirtiéndose en electrólitos, lo que disminuiría la conductividad eléctrica a medida que aumente la profundidad.

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson, n = 52, (en el periodo de mezcla) en el punto 1 (Muelle de la laguna de Limoncocha).

	Profundidad	pH	Cond	Temp	NO ₃	O ₂	Clorofila-a	Fosfatos
Profundidad	1,0	-0,617	-0,653	-0,497	0,104	-0,409	-2,2E-2	0,0
pH		1,0	0,565	0,627	0,459	0,424	0,1	0,0
Cond			1,0	0,552	0,207	0,381	6,7E-2	0,0
Temp				1,0	0,0	0,465	-9,9E-2	0,0
NO ₃					1,0	0,245	-0,108	0,0
O ₂						1,0	-0,226	0,0
Clorofila-a							1,0	0,0
Fosfatos								1,0

Elaborado por: Martin Hernández, 2015

En cuanto al centro de la laguna de Limoncocha (Punto 2), en el periodo de estratificación (Tabla 5), la correlación encontrada fue entre el pH y el O₂, como ya se mencionó, estas variables se asocian a la productividad de la laguna.

Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson, n = 92, (en el periodo de estratificación) en el punto 2 (Centro de la laguna de Limoncocha).

	Profundidad	pH	Cond	Temp	NO ₃	O ₂	Clorofila-a	Fosfatos
Profundidad	1,0	-0,639	-0,61	-0,308	-3,3E-3	-0,397	6,8E-2	0,119
pH		1,0	-0,502	-0,168	6,2E-2	0,72	-0,206	-0,279
Cond			1,0	-0,144	-4,4E-2	0,507	-8,2E-2	-0,149
Temp				1,0	1,8E-2	0,422	-0,118	-1,6E-2
NO ₃					1,0	-0,105	-0,209	0,271
O ₂						1,0	0,178	-9,1E-3
Clorofila-a							1,0	0,635
Fosfatos								1,0

Elaborado por: Martin Hernández, 2015

En la jornada de mezcla en el centro de la laguna, se correlacionan las variables de profundidad y pH ($r = -0,69$), O₂ disuelto y pH ($r = 0,801$), temperatura y NO₃ ($r = -0,859$), y por último entre Clorofila-a y NO₃ ($r = -0,754$).

La analogía entre profundidad y disminución del pH, es muy probable la relación con los procesos de fotosíntesis y respiración, por debajo de la zona fótica en zonas muy profundas, la actividad fotosintética no es factible, por lo que los procesos de descomposición de materia orgánica se acumulan, promoviendo el exceso de CO₂ y por el cual el ambiente se

acidifica, es decir disminuye el pH. Para las variables de Clorofila-a, temperatura y NO_3 , se vinculan con la productividad de la laguna, la Clorofila-a por lo visto a una mayor temperatura relacionada a una fuerte irradiación solar, maximiza su proceso de fotosíntesis, de manera que se consumen nutrientes, en este caso nitratos.

Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson, $n = 105$, (en el periodo de mezcla) en el punto 2 (Centro de la laguna de Limoncocha).

	Profundidad	pH	Cond	Temp	NO_3	O_2	Clorofila-a	Fosfatos
Profundidad	1,0	-0,69	-0,411	-0,327	3,6E-2	-0,532	-7,7E-3	0,104
pH		1,0	-0,643	0,314	-3,5E-2	0,801	-5,4E-2	-0,297
Cond			1,0	0,119	0,181	0,486	-0,499	-0,305
Temp				1,0	-0,859	0,279	0,628	0,544
NO_3					1,0	-0,114	-0,754	-0,565
O_2						1,0	8,8E-2	-0,486
Clorofila-a							1,0	0,482
Fosfatos								1,0

Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Con respecto al Caño de la laguna de Limoncocha, no se encontraron correlaciones en el periodo de estratificación, pero si se halló en la jornada de mezcla. En el periodo de homogenización del agua las variables correlacionadas fueron temperatura y pH ($r = -0,653$), pH y O_2 (0,851), NO_3 y O_2 ($r = -0,662$), Clorofila-a y NO_3 ($r = -0,798$), Fosfatos y NO_3 ($r = 0,809$), y por último Clorofila-a y Fosfatos ($r = -0,767$). De las variables temperatura, pH y O_2 en puntos anteriores ya se dedujo su posible situación. Referente a los parámetros de Clorofila-a, Nitratos y Fosfatos, lo que indica la correlación fue un consumo de estos nutrientes en la época de mezcla en este punto. El argumento anterior y la relación inversa entre el O_2 y los nitratos, es probable que en esta jornada dentro del escenario de productividad, se haya consumido en gran parte nitratos, posiblemente porque se encuentran en mayor cantidad que los fosfatos.

Tabla 7. Matriz de correlación de Pearson, $n = 105$, (en el periodo de estratificación) en el punto 3 (Centro de la laguna de Limoncocha).

	Profundidad	pH	Cond	Temp	NO_3	O_2	Clorofila-a	Fosfatos
Profundidad	1,0	-0,52	-0,552	-0,461	0,354	-0,124	-0,262	0,342

pH	1,0	-0,301	-0,653	-0,324	0,851	0,212	-0,359
Cond		1,0	-0,432	0,114	4,0E-2	1,0E-2	-8,0E-3
Temp			1,0	-0,161	0,628	-2,3E-2	-5,1E-2
NO3				1,0	-0,662	-0,798	0,809
O2					1,0	0,463	-0,481
Clorofila-a						1,0	-0,767
Fosfatos							1,0

Tabla 7. (Cont). Elaborado por: Martin Hernández, 2015

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- El trabajo realizado interpretó el comportamiento de la laguna de Limoncha a través de las variaciones fisicoquímicas que ocurrieron en el periodo 2012-2013, por medio de un análisis en las gráficas realizadas, correlaciones encontradas entre los parámetros y revisiones bibliográficas de sistemas hídricos lénticos. De esta manera se pudo aclarar ciertos eventos naturales que ocurren comúnmente en los lagos tropicales.
- El periodo de estabilidad en la laguna de Limoncocha se estableció en los meses de Enero, Marzo, Abril, Junio, Agosto, Septiembre y Octubre. La causa principal a la estratificación térmica se rige a la incidencia solar constante, el cual favorece la formación de estratos o capas térmicas superficiales. El factor que delimita éste comportamiento es el periodo de mezcla.
- Para la jornada de mezcla de agua, que inició en los meses de Febrero, Mayo, Julio, Noviembre y Diciembre, se podría mencionar que, una de las fuentes de homogenización de agua en la laguna son las precipitaciones para ciertos meses; sin embargo, no se descarta la idea del régimen del viento como agente de mezcla de la laguna, ya que su efecto fue visible para el mes de noviembre.
- Establecidos los periodos de estratificación y mezcla de agua, la laguna de Limoncocha de acuerdo a la clasificación de cuerpos lacustres según su patrón de mezcla asignado por Lewis, pertenece a los cuerpos de agua *polimíctico cálido discontinuo*.

- La profundidad Secchi no mostró peculiaridad en cuanto al régimen de estabilidad y periodo de mezcla, pero se verificó, que cuanto mayor es la transparencia tienden a aumentar la concentración de oxígeno. Además, en la zona fótica (límite de profundidad Secchi), se observó los puntos máximos de sobresaturación.
- La alta productividad en la laguna de Limoncocha tuvo lugar en el periodo de estabilidad o estratificación térmica, ya que en este intervalo el nutriente fosfato tendió a disminuir. Además, se verificaron los meses con la mayor sobresaturación de oxígeno. Consecuentemente, pasada la estratificación, en el periodo de mezcla se acrecentaron los fosfatos, suponiendo que el aumento en su concentración, fue debido al arrastre de material alóctono por parte de las lluvias.
- En cuanto al pH básico de laguna de Limoncocha que se mantiene en el rango de 8,0 a 9,0 desde la superficie hasta 1,50 m de profundidad aproximadamente, se podría relacionar a la productividad de la laguna y a la alcalinidad de la misma. Pues el proceso de fotosíntesis que consume dióxido de carbono disuelto en el agua, cuando se agota, accede al CO_2 de los bicarbonatos, elevando el pH del agua a medida que se concentra OH^- , manteniendo continuamente formas alcalinas bicarbonatadas. Sin embargo, en todos los meses no se muestra una alta productividad y por ende una concentración de oxígeno elevada, frente a esta situación, se podría asociar a la mezcla de sedimentos en las zonas profundas y entradas de material alóctono por las precipitaciones o crecidas en la laguna, las cuales tiende a elevar el pH a un estado básico. Por último, es visible que cuando el pH disminuye a la neutralidad y después a la acidez, el oxígeno tiende a disminuir, mucho más en las zonas profundas, donde predominan los procesos de descomposición, por esta razón en la laguna es visible casos de anoxia a profundidades mayores a dos metros (>2 m) aproximadamente.

- El comportamiento de conductividad eléctrica en la laguna de Limoncocha, por el momento, se asocia a la disolución de iones en agua debido a caudales de alimentación al cuerpo léntico, por agentes externos (inundaciones o precipitaciones). Los meses con una baja conductividad fueron abril, julio y agosto, donde se presume un aumento en el nivel de agua de la laguna.
- En cuanto a las correlaciones encontradas en los diferentes puntos de muestreo de la laguna de Limoncocha, se hallan ligadas directamente con la productividad de la laguna. Parámetros como temperatura y pH se relacionan proporcionalmente con el aumento de oxígeno, suponiendo que a mayores temperaturas es posible una mayor irradiación solar, por lo tanto una mayor actividad fotosintética y consumo en la concentración de CO_2 , lo cual tiende a elevar el pH. Por otra parte, los nitratos y fosfatos se vincularon inversamente con los parámetros de clorofila-a y O_2 , entendiendo que mientras la clorofila-a consuma nutrientes aumentara el oxígeno disuelto en el agua. Aparte de que las correlaciones indicaron la existencia de productividad en la laguna, también se verificó que su rendimiento productivo es a lo largo del año, tanto en el periodo de estratificación térmica como en las jornadas de mezcla, por lo que la producción de oxígeno se mantiene constante.

5.2 Recomendaciones.

- Retomar el monitoreo permanente de datos físicos y químicos de la laguna de Limoncocha en perfiles verticales. Es necesario el monitoreo de componentes fisicoquímicos en la laguna para su posterior análisis. En el año 2013 los datos obtenidos fueron incompletos, las mediciones realizadas proporcionaron poca información, apenas se tiene mediciones de los parámetros físicos de los meses de julio, octubre y noviembre del mismo año. La Universidad Internacional SEK, podría

establecer un programa anual que solicite a los estudiantes interesados en investigación limnológica, a realizar trabajo de campo en la Reserva Biológica Limoncocha, con la finalidad de implementar nuevos estudios que se encuentren relacionados a temas de conservación, estado actual de la laguna, cambio climático, entre otros.

- Plantear un estudio acerca de variaciones fisicoquímicas con datos obtenidos en la noche. Muchos artículos limnológicos de cuerpos lénticos en zonas tropicales mencionan que el periodo de mezcla de agua ocurre a la llegada de la noche y a partir de la madrugada, a razón del cambio brusco de temperatura.
- Se recomienda realizar las mediciones de parámetros fisicoquímicos, de manera que a lo largo de todo el espesor del cuerpo de agua, se obtengan datos sistemáticamente. Es decir a lo largo del perfil vertical de la columna de agua, medir los parámetros establecidos.
- Es importante obtener datos meteorológicos de la laguna, para verificar momentos de desvanecimiento de estructuras térmicas a causa de la precipitación y régimen del viento.
- Implementar al programa de estudio de ingeniería ambiental, el uso y manejo del software SURFER, en la modalidad de mapas de contorno. Esta herramienta es útil para interpretar cambios de componentes fisicoquímicos temporales de cuerpos lénticos. Los datos monitoreados se representan en una gráfica que muestra la evolución del sistema hídrico. Por lo tanto si se necesita recurrir a verificar el comportamiento de la laguna, simplemente se introduciría en el programa los datos de entrada, es decir las mediciones de campo y se analizaría el mapa.

- Recolectar datos acerca de sólidos disueltos o iones en los ecosistemas acuáticos, como por ejemplo, carbonatos, cloruros, sulfuros, entre otros, esenciales para la productividad en los lagos.
- No está demás realizar un estudio dirigido a la parte biológica de la laguna, enfocándose en la productividad y comunidades acuáticas de la zona lacustre, específicamente en organismos fitoplanctónicos, macroinvertebrados, entre otros, importantes en los procesos metabólicos de ecosistemas acuáticos.

6. Bibliografía:

- Ayala, H. (2003). *Caracterización limnológica de la laguna de Limoncocha e identificación de las características hidrológicas*. Tesis de Grado. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Bastidas, D. (2009). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) –Versión 2006-2008*. Reserva Biológica de Limoncocha. Categorías aprobadas en la Recomendación 4.7 (1999) y modificadas por la Resolución VIII.13 de la 8ª Conferencia de las Partes Contratantes (2002) y Resoluciones IX.1, Anexo B, IX.6, IX.21 y IX. 22 de la 9ª Conferencia de las Partes Contratantes (2005).
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds. (2008). *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Secretaría del IPCC. Ginebra. pp. 224.
- Benjumea Hoyos, Carlos Augusto y Wills Toro, Álvaro. (2007). *Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, septiembre, 48-65.
- Betancourt, C., Suarez, R y Toledo, L. (2009). *Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y químicas en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba*. Limnetica, 28 (1): 23-34. Madrid.
- Carrera, J. (2014). *Comportamiento hídrico de la laguna Limoncocha y su relación con el Río Napo*. Tesis de Grado. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.

- Casallas, J y Gunkel, G. *Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador.* Asociación española de Limnología. Limnética 20(2): 215-232. España.
- Castillo, C. (2006). *Productividad y biomasa fitoperofítica en los lagos Yahuaraca y Tarapoto (Amazonas-Colombia).* Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. Vol. 1, Núm. 1
- Cervantes, M. (2007). *Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México.* En Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R y Zambrano, L, Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Criterios para sitios RAMSAR. Recuperado el 06 de mayo de 2015, en: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsarsites_criteria_sp.pdf
- Dávila Newman, G. (2006). *El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales.* Laurus, vol. 12, núm. Ext, 2006, pp. 180-205. Venezuela.
- Delgado, M., Juncosa, R., Gonzales, R y Fernández, A. (2011). *Fenómenos transitorios asociados a la formación del lago minero de Meirama (La Coruña, España).* Boletín Geológico y Minero, 122 (2): 247-258.
- ECOLAP y MAE. (2007). *Guía del Patrimonio de Areas Naturales Protegidas del Ecuador.* ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador.
- Fregenal, M.A. y Meléndez, N., (2010). *Lagos y Sistemas lacustres.* En: Arche A. Editor. *“Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria”*. Servicio de Publicaciones del CSIC. Colección Textos Universitarios, 46, Cp. IX: 299-396. ISBN: 978-84-00-09145-3.

- Gómez, J. (2003). *Diagnóstico del estado trófico de la laguna de Limoncocha y determinación de la calidad del agua del sistema Hídrico de la zona de Limoncocha*. Tesis de Grado. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Granado, C. (1996). *Ecología de peces*. 1ª Edición. Universidad de Sevilla. España. ISBN: 84-472-0242-9
- Hernández, R., Fernández-Collado, C y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. Cuarta Edición. McGraw-Hill. México.
- Marín, R. Características Físicas, Químicas y Biológicas de las Aguas. Revisado el 07 de junio de 2015, en:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf
- Mata, A y Quevedo, F. (2005). *Diccionario didáctico de ecología*. 2ª edición. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 558 p.
- Montoya, Y & Aguirre, N. (2010). *Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un lago tropical (ciénaga Escobillitas) a lo largo del pulso de inundación*. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 55 pp. 76-89.
- Montoya, Y & Aguirre, N. (2013). *Dinámica fisicoquímica de las aguas de un sistema de planicies inundables tropicales*. Rev.fac.ing.univ. Antioquia no.69 Medellín.
- Moreano, M. *La Tierra Húmeda*. Recuperado el 06 de mayo de 2015, de Humedales Ecuatorianos:
http://www.paramo.org/dvd/Paramo%20Andino%20Ecuador/COMPONENTE%204/PROPU%20PARA%20MUSEO%20yAKU_%20Ecosistemas%20de%20los%20andes/Humedales.pdf
- Moreno, D., Quintero, J y López, A. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochi-

milco. CBS. Departamento El Hombre y su Ambiente. Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal ICyTDF.

- Mosquera, A. (2014). *Desarrollo de un modelo de balance hídrico de la laguna de Limoncocha*. Tesis de Grado. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Moya, G y Ramon, G. (1987). *Disco de Secchi y Clorofila-a en dos embalses de aguas mineralizadas*. *Limnetica* 3: 165-170. Madrid. España.
- Ortiz, J. (2012). *Estado Trófico de la laguna de Limoncocha en base a los índices de Carlson y Lacat*. Tesis de Grado. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Prat, N y Munné, A. (2009). *Agua y Cambio Climático. Diagnóstico de los impactos previstos en Cataluña*. Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. pp. (237-248).
- Quiroz Castelán, H., Mondragón Eslava, O., Molina Astudillo, I., García Rodríguez, J y Díaz Vargas, M. (2008). *Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua*. Universidad de Guanajuato. *Acta Universitaria*, vol. 18, núm. 1, enero-abril, pp. 57-65.
- Revelo, G. (2012). *Muestreo y determinación de variaciones físicas en la Laguna de Limoncocha*. Tesis de Grado. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Richerson, P., (1992): *El régimen de estratificación termal*. En: "El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual" (Dejoux, C y Iltis, A). ORSTOM, Bolivia.
- Rivera, C., Zapata, A., Perez, D., Morales, Y, Ovalle, H y Álvarez, J.P. (2010). *Caracterización Limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquía, Colombia)*. *Acta biol. Colomb.*, Vol. 15 N. ° 1, 145 – 166.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 1ª. Edición. Colombia: Universidad de Antioquia de Medellín.

- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2ª. Edición. Colombia: Universidad de Antioquia de Medellín.
- Salcedo, M., Duque, S., Palma, L., Torres-Bejarano, A., Montenegro, D., Bahamón, N., Lagos, L., Alvarado, L., Gómez, M y Alba, A. (2012). *Ecología del fitoplancton y dinámica hidrológica del sistema lagunar de Yahuaraca, Amazonas, Colombia: Análisis Integrado de 16 años de estudio*. Mundo Amazónico 3, 9-41.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R y Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología (México), U. S. Fish and Wildlife Service. México.
- Secretaria de la Convención Ramsar. (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Iran, 1971)*. 4ª. Edición. Suiza.
- SEO. (2015). *Proteger los Humedales una respuesta al Cambio Climático*. Recuperado de:
http://www.seo.org/wp-content/uploads/tmp/docs/Cuaderno_Proteger_Humedales.pdf
- Valdiviezo, J., Carrillo, C., Madera, R y Albarracín, M. (2012). *Guía de Peces de Limoncocha*. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Wurtsbaugh, W., Vincent, W., Vincent, C., Carney, H, Richerson, P., Lazzaro, X y Tapia, R. (1992): Nutrientes y su limitación del crecimiento del fitoplancton. En: (Dejoux, C y Iltis, A) Editores. “*El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual*”. ORSTOM, Bolivia.

7. ANEXOS

Anexo 1: Datos de parámetros fisicoquímicos.

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 1 (Muelle)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	99.5	89.6	90	83.1	100.4	102.5	85.4	86.1	97.5	95.9	98.5	92.9
0.2	99.3	89.8	90	83	100.1	102	85.3	86.1	96.9	95.5	98.2	92.9
0.4	99.1	90.9	90.2	83.1	99.6	101.3	85.2	86.8	96.5	95	97.9	92.9
0.6	99.1	90.8	90	82.9	99.3	101.5	84.8	87.3	96.1	95.3	97.6	93
0.8	99	90.8	90.2	82	99	101.7	85.2	87.9	95.8	95.2	97.5	93
1.0	98.8	90.3	90.3	80.8	99	102.1	89.5	89.3	95.4	95.5	96.3	92.8
1.2		91.2	90.2	83.5	98.8	102.3	93	91.1	91.8	96.4	96.5	92.6
1.4		91.6	90.3	96.3	99	102.5	85.2	94.8		98.3	93.7	89.2
1.6		90.8	107	84.8	99.2	103.8						86.3
1.8		90.8		87.5	98.9							85.4
2.0		70.1			96.1							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 2 (Centro)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	99.4	88.7	89.1	84.8	101	101.4	85.6	91.5	99.4	97	100.7	93.3
0.2	99.9	88.6	89.2	84.9	100.9	101.5	85.3	91.7	99.4	96.9	100.6	93.4
0.4	100.1	88.6	89.3	84.1	100.9	101.4	85	92.9	98.6	96.7	100.4	93.4
0.6	100.2	88.7	89.2	84	101	101.3	84.4	92.8	98.2	96.6	99.7	93.4
0.8	100.2	88.7	89.2	83.8	101	101.2	84.5	93.3	97.9	96.7	99.3	93.5
1.0	100.2	88.7	89.1	83.5	101	101.2	84.3	93.3	97.9	96.2	99	93.6
1.2	99.8	88.6	89	83	101	101.4	84.3	96.1	97.6	96.1	98.8	93.7
1.4	98.9	88.5	89	82.9	101	102.5	85.1	96.8	98.3	95.9	98.4	93.7
1.6		88	89	86.4	100.4		97.8			96.1	97.3	93.8
1.8		88.1	89	88	101.1		99.4				96.9	93.9
2.0		75.8	88.9		101.5						97.4	94
2.2					100.3							94.3
2.4					100.2							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 3 (Caño)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	95.9	86.6	90.7	92.4	102.7	99.8	90.5	96.1	100	96.7	98.2	95.8
0.2	97.5	86.4	90.7	92.3	102.2	99.4	90.3	95.6	99.8	96.5	97.4	95.6
0.4	97.8	86.7	90.8	92.1	102.3	99.6	90.5	95.9	99.3	96.6	97.1	95.7
0.6	97.9	85.4	90.7	90.9	102.3	99.5	90.6	94.7	99.3	96.6	95.7	95.8
0.8	98.2	85.7	89.9	92.6	102.1	99.4	91	96	99.6	96.5	95	95.8
1.0	99	85.8	89.7	93	102.1	99.4	91.3	96.7	101.7	96.6	95.6	95.8
1.2	99.6	82.9	92.3	86.5	102	98.7	91.2	93.1	101.6	98.4	95.6	95.6
1.4	99.5			98.6	101.9	96.4	90					95.7
1.6	99.5			94.9	101.7	90.4	88.2					95.1
1.8	99.5			91	101.4	89	87.1					94.9
2.0				91.3	101.3							
2.2					101.1							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Oxígeno Disuelto (mg/L) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 1 (Muelle)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	14.6	9.2	6.3	14.1	10.1	9.5	11.1	10.5	9.3	7.8	9.8	8.2
0.2	14.8	8.9	6.3	14.2	9.9	9.5	11.3	10.1	9.0	7.7	9.7	8.1
0.4	14.9	8.3	6.1	14.9	9.5	9.5	11.2	9.6	7.6	7.1	9.7	8.0
0.6	14.9	7.3	6.2	14.9	9.2	7.9	9.7	7.9	9.2	6.2	9.7	7.9
0.8	14.9	6.9	6.3	8.3	9.0	6.6	3.7	7.6	9.3	4.0	9.8	8.0
1.0		6.8	3.4	1.5	9.5	4.3	0.7	5.8	4.3	3.1	9.9	7.5
1.2		6.2	6.5	0.2	8.9	2.2	0.2	3.7	1.2	2.9	10.1	6.9
1.4		6.0	6.3	0.2	8.5	0.2	0.1	3.6	0.4	2.8	6.9	4.5
1.6		4.9	0.2	0.1	2.4	0.1	0.1	1.3				2.8
1.8		0.8	0.9	0.1	0.3	0.1		0.9				1.9
2.0		0.3	0.1	0.0	0.2							1.0
2.2		0.3			0.2							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Oxígeno Disuelto (mg/L) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 2 (Centro)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	16.1	9.8	8.2	16.4	8.6	12.3	12.4	11.6	14.3	10.2	13.9	8.5
0.2	16.2	9.9	8.3	16.8	8.4	12.3	12.2	11.4	13.2	10.3	14.1	8.5
0.4	15.4	10.2	8.4	16.3	8.4	12.0	9.8	11.3	12.1	10.2	14.2	8.4
0.6	14.6	8.6	8.3	15.9	8.2	10.7	9.3	11.0	11.8	10.2	14.1	8.4
0.8	13.1	7.9	8.0	15.4	8.1	10.2	6.5	10.8	11.1	10.2	14.0	8.1
1.0	12.6	7.3	7.9	14.4	8.1	9.0	6.4	10.8	9.8	10.1	13.8	8.1
1.2	8.6	6.6	7.6	13.3	7.8	7.3	6.1	10.4	4.3	10.0	13.7	7.8
1.4	3.5	6.3	7.6	8.0	7.3	3.4	0.3	10.1	3.2	9.0	13.4	7.7
1.6	0.3	5.9	7.4	0.8	7.2	1.9	0.2	9.8	0.6	8.1	12.4	7.7
1.8	0.2	5.4	7.2	0.3	5.2	0.2	0.1	8.4	0.2	2.4	10.9	7.6
2.0	0.2	0.3	7.2	0.2	5.0	0.1	0.1	5.5	0.1		8.2	7.5
2.2	0.1	0.1	0.2	0.2	4.2	0.0		5.3	0.1			6.0
2.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0		2.7	0.1			4.3
2.6	0.1		0.1					0.5				

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Oxígeno Disuelto (mg/L) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 3 (Caño)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	9.0	10.7	11.5	11.0	3.9	10.7	10.8	8.6	10.6	7.1	12.2	7.5
0.2	12.3	10.5	11.2	10.8	3.4	9.4	10.1	8.6	10.6	7.1	12.7	7.4
0.4	12.1	8.9	10.2	10.8	3.6	7.4	9.2	8.7	9.7	7.0	13.4	7.4
0.6	9.8	6.0	9.5	9.2	3.1	5.2	8.5	9.3	8.6	6.6	12.2	7.3
0.8	9.3	6.1	9.8	8.3	2.6	3.5	7.8	7.9	7.8	5.1	8.2	7.3
1.0	9.1	6.1	9.8	9.2	3.3	3.8	7.0	4.3	5.0	6.4	4.8	7.2
1.2	6.7	2.5	5.9	1.4	2.3	3.0	6.5	4.6	4.8	6.1	2.8	6.9
1.4	6.7	5.4	4.4	3.2	2.7	2.0	6.0	4.0	3.1	5.9		6.6
1.6	6.1	2.3	3.4	1.6	3.1	1.5	3.7	3.8	1.2	2.9		4.0
1.8	0.1		0.1	0.1	3.3	1.3	0.2	0.5	0.3	1.0		2.4
2.0			0.1	0.1	3.3	0.3	0.1	0.0	0.2			0.7
2.2			0.2	0.0	0.1							
2.4			0.1		0.1							
2.6					0.0							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

pH - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 1 (Muelle)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	9.5	8.8	7.0	9.5	9.4	8.9	8.7	8.4	9.3	8.6	9.0	8.5
0.2	9.6	9.1	7.2	9.6	9.3	8.9	8.7	8.4	9.2	8.6	9.0	8.5
0.4	9.6	9.2	7.2	9.6	9.3	8.7	8.7	8.4	9.2	8.6	9.0	8.6
0.6	9.6	9.1	7.3	9.5	9.4	8.4	8.6	8.3	9.0	8.5	9.0	8.6
0.8	9.7	8.9	7.3	8.1	9.3	8.4	8.0	8.1	8.3	8.4	8.9	8.6
1.0	8.3	8.9	7.3	7.3	9.3	8.0	7.4	8.0	7.9	8.2	8.8	8.6
1.2	7.8	8.9	7.4	7.2	9.4	7.8	7.3	7.8	7.5	8.1	8.7	8.5
1.4	7.6	9.0	7.4	7.1	9.3	7.5	7.1	7.8	7.1	8.0	8.6	8.4
1.6		8.5	7.1	7.0	9.2	7.4	7.0	7.7				8.2
1.8		7.3	6.9	7.0	9.1	7.2		7.5				7.4
2.0		7.1	6.9	6.9	7.4							7.2
2.2		6.8			6.9							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

pH - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 2 (Centro)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	9.9	9.3	7.5	9.8	9.0	9.5	9.3	8.4	9.7	9.4	9.7	8.7
0.2	9.9	9.3	7.6	9.8	9.0	9.5	9.3	8.4	9.8	9.5	9.7	8.7
0.4	9.8	9.3	7.6	9.8	9.0	9.5	9.1	8.3	9.7	9.5	9.7	8.8
0.6	9.8	9.1	7.6	9.7	9.0	9.4	8.6	8.3	9.6	9.5	9.7	8.8
0.8	9.7	8.8	7.6	9.7	9.0	9.3	8.3	8.2	9.5	9.5	9.7	8.8
1.0	9.6	8.6	7.6	9.6	9.0	9.1	8.2	8.2	9.4	9.5	9.6	8.8
1.2	8.0	8.6	7.6	9.4	9.0	8.4	8.0	8.2	8.7	9.5	9.6	8.8
1.4	7.4	8.4	7.6	7.6	8.9	7.8	7.7	8.1	8.2	9.4	9.4	8.7
1.6	7.5	8.4	7.6	7.3	8.8	7.5	7.2	8.0	7.8	9.4	9.2	8.7
1.8	7.3	8.3	7.6	7.2	8.7	7.4	7.1	8.0	7.6	8.7	8.7	8.7
2.0	7.1	7.4	7.3	7.0	8.7	7.3	7.1	7.9	7.5	7.3	8.0	8.7
2.2	6.6	6.9	7.0	6.7	6.9	7.0	6.9	7.8	6.8			8.6
2.4	6.6	6.6	6.8	6.9	6.8	6.9	6.8	7.7	6.8			7.7
2.6	6.7		6.7					7.7				

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

pH - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 3 (Caño)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	8.4	9.1	9.1	9.8	7.6	8.9	8.5	8.7	9.4	9.3	9.1	8.7
0.2	9.1	9.2	9.1	9.8	7.6	8.7	8.6	8.6	9.4	9.3	9.1	8.7
0.4	9.1	9.2	9.2	9.8	7.6	9.2	8.4	8.7	9.3	9.3	9.2	8.7
0.6	9.0	8.3	9.2	9.7	7.6	9.0	8.4	8.2	9.1	9.2	9.1	8.7
0.8	8.9	8.4	8.8	9.7	7.5	9.0	8.1	8.0	9.1	9.1	8.6	8.7
1.0	8.9	7.9	8.4	9.6	7.5	9.0	8.0	8.3	8.4	8.2	8.4	8.7
1.2	8.4	7.8	7.7	9.4	7.5	8.9	7.9	7.6	8.2	8.7	8.2	8.8
1.4	8.5	7.4	7.7	7.6	7.5	8.1	7.8	7.7	8.0	8.5		8.7
1.6	7.9	7.2	7.5	7.3	7.5	7.9	7.6	7.3	7.9	8.2		8.5
1.8	7.0		7.3	7.2	7.6	7.6	7.3	7.1	7.7	7.9		7.7
2.0			7.1	7.0	7.6	7.3	7.1		7.0	7.5		
2.2			7.0	6.7	7.0							
2.4			7.1	6.9	6.9							
2.6					6.9							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Temperatura (°C) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 1 (Muelle)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	30.8	27.4	27.5	29.1	27.3	28.7	27.5	28.7	29.5	29.2	27.4	27.5
0.2	30.8	27.4	27.6	28.7	27.2	28.8	27.6	28.6	29.1	29.2	27.4	27.4
0.4	30.9	27.1	27.7	28.9	27.2	28.8	27.6	28.3	28.8	29.0	27.5	27.4
0.6	30.9	27.0	27.7	28.8	27.1	28.5	27.3	28.5	28.7	29.1	27.2	27.4
0.8	30.9	26.9	27.7	27.4	27.1	28.3	27.0	28.0	28.6	29.1	27.2	27.3
1.0	30.8	26.9	27.7	27.1	27.1	28.3	26.3	27.8	28.6	28.8	27.2	27.2
1.2	30.1	26.9	27.5	26.8	27.1	28.2	25.8	28.1	28.5	28.7	26.9	26.9
1.4	29.0	26.8	27.6	26.5	27.1	28.0	25.6	27.7	27.9	28.6	26.6	26.8
1.6		26.8	27.0	26.5	26.9	27.8	25.7	27.7				26.8
1.8		26.8	27.2	26.3	25.9	27.7	0.0	27.6				26.7
2.0		25.0	26.8	26.6	25.7							
2.2		25.2			25.7							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Temperatura (°C) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 2 (Centro)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	30.5	27.2	27.3	28.4	27.0	28.9	27.7	29.0	29.3	29.6	26.9	24.8
0.2	30.4	27.2	27.6	28.5	27.1	28.9	27.7	28.9	28.8	29.5	26.9	24.7
0.4	30.3	27.0	27.6	28.3	27.0	28.9	27.5	28.9	28.7	29.5	26.8	24.7
0.6	30.3	26.9	27.6	28.3	27.0	28.8	27.2	28.5	28.6	29.4	26.5	24.6
0.8	30.2	26.8	27.7	28.3	26.9	28.6	27.1	28.4	28.6	29.3	26.5	24.5
1.0	30.1	26.8	27.7	28.2	26.9	28.3	27.0	28.2	28.5	29.3	26.6	24.6
1.2	30.0	26.8	27.7	28.1	26.9	28.1	27.0	28.1	28.4	29.2	26.3	24.6
1.4	29.1	26.7	27.7	27.6	26.6	27.9	26.8	27.9	28.3	29.0	26.4	24.2
1.6	28.8	26.7	27.7	27.4	26.6	27.8	26.1	27.8	28.2	29.0	26.3	24.2
1.8	28.3	26.7	27.7	27.0	26.5	27.6	25.9	27.8	28.1	28.8	26.1	24.1
2.0	28.0	26.1	27.6	26.7	26.4	27.5	25.7	27.8	28.0	28.7	26.1	23.8
2.2	28.1	25.5	27.3	26.5	26.4	27.4	25.3	27.7	28.0			23.7
2.4	28.3	25.6	27.4	26.5	26.5	27.4	25.3	27.5	28.0			23.5
2.6	28.0		27.3					27.4				

Elaborado por: Martín Hernández, 2015.

Temperatura (°C) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 3 (Caño)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	29.7	27.5	27.8	28.8	24.7	28.5	26.3	28.9	30.6	28.7	27.1	25.2
0.2	29.4	27.3	27.9	28.7	24.5	28.0	26.4	28.9	29.5	28.7	27.1	25.0
0.4	29.3	27.2	27.9	28.6	24.3	27.7	26.3	28.9	29.2	28.7	26.8	25.1
0.6	29.3	26.5	27.9	28.5	24.1	27.3	26.3	28.8	29.1	28.7	26.7	25.1
0.8	29.2	26.5	27.8	28.4	24.1	27.3	26.3	28.5	29.0	28.5	26.5	24.8
1.0	28.8	26.3	27.8	28.3	24.1	27.2	26.3	28.5	28.8	28.5	26.4	24.7
1.2	28.4	26.3	27.7	27.9	24.0	27.0	26.2	28.4	28.6	28.5	26.4	24.8
1.4	28.4	26.3	27.7	27.6	23.9	26.8	26.2	28.4	28.2	28.4		24.7
1.6	28.4	26.3	27.3	27.2	23.8	26.6	26.1	26.1	27.9	28.3		24.5
1.8	28.4		27.2	27.0	23.8	26.3	25.9	26.0	27.8	28.2		24.5
2.0	28.4		27.1	26.7	23.8	26.4	25.6		27.8	28.2		
2.2			27.0	26.7	23.9							
2.4			27.0		23.9							
2.6					23.9							

Elaborado por: Martín Hernández, 2015.

Saturación de oxígeno (%) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 1 (Muelle)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	114.1	28.7	-17.4	88.4	34.3	31.3	53.0	48.2	17.0	6.0	34.0	11.1
0.2	117.2	25.0	-17.7	89.7	31.7	31.2	55.8	42.4	13.3	4.7	32.1	10.7
0.4	118.8	16.4	-20.2	98.8	26.6	31.2	55.5	34.7	-4.0	-3.0	32.0	9.2
0.6	119.8	2.1	-18.1	98.1	22.6	8.7	34.5	10.8	16.1	-15.1	32.7	7.9
0.8	118.8	-3.8	-16.9	10.6	19.5	-8.1	-49.5	6.6	16.8	-45.4	33.5	8.3
1.0		-4.9	-55.6	-80.2	26.3	-41.2	-91.0	-18.5	-45.5	-57.7	35.6	2.3
1.2		-13.2	-14.8	-96.9	17.9	-69.7	-97.6	-48.3	-85.2	-60.4	38.6	-5.9
1.4		-16.3	-17.7	-97.6	13.1	-97.5	-98.3	-49.9	-95.1	-61.8	-5.1	-39.2
1.6		-30.9	-97.8	-98.1	-67.8	-98.5	-98.8	-81.8				-62.6
1.8		-88.5	-88.4	-98.9	-95.6	-98.8		-87.5				-73.7
2.0		-96.2	-98.4	-99.5	-97.5							-85.9
2.2		-96.5			-97.5							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Saturación de oxígeno (%) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 2 (Centro)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	145.3	44.2	5.2	135.4	8.2	91.2	68.3	60.6	110.0	42.2	94.0	8.2
0.2	147.9	45.2	6.2	141.9	6.2	91.1	65.6	57.0	92.7	43.7	96.0	7.5
0.4	135.6	49.3	6.7	134.6	6.0	87.7	33.0	55.6	77.0	42.5	98.4	6.7
0.6	123.6	25.3	5.5	128.5	3.1	67.5	26.3	52.7	73.2	42.3	96.7	6.1
0.8	100.3	15.2	2.6	121.5	1.4	58.8	-11.8	49.8	62.4	42.3	95.6	3.2
1.0	93.1	6.5	0.3	107.4	2.2	40.7	-13.1	49.3	44.1	41.2	92.5	2.3
1.2	31.4	-2.8	-2.6	91.0	-1.8	13.1	-17.2	43.2	-37.7	39.4	90.4	-0.5
1.4	-46.5	-7.5	-2.8	15.0	-7.8	-47.1	-95.9	39.9	-53.7	26.1	86.9	-2.4
1.6	-95.1	-13.5	-5.1	-88.9	-8.9	-70.8	-97.3	35.0	-90.6	13.0	73.0	-2.7
1.8	-96.9	-21.4	-7.7	-96.4	-34.8	-97.7	-98.6	15.7	-97.5	-66.5	51.9	-3.7
2.0	-96.5	-95.8	-7.5	-97.1	-37.3	-99.1	-98.6	-24.2	-98.1		13.8	-4.8
2.2	-98.0	-97.9	-96.9	-97.3	-47.5	-99.5		-26.3	-98.5			-24.4
2.4	-98.2	-98.5	-98.0	-98.1	-98.7	-99.5		-62.8	-98.7			-45.6
2.6	-97.9		-99.4					-93.8				

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Saturación de oxígeno (%) - Laguna de Limoncocha (2012) - Punto 3 (Caño)												
Profundidad (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.0	38.2	58.2	50.0	51.5	-48.0	68.5	41.2	18.4	40.9	-1.6	69.1	-4.7
0.2	88.1	55.2	46.0	50.0	-54.3	47.6	32.0	18.4	40.8	-1.6	76.3	-5.3
0.4	85.0	31.6	33.1	49.8	-51.9	16.6	20.3	20.2	28.6	-3.0	85.4	-6.0
0.6	49.6	-11.1	23.6	27.0	-58.3	-17.6	11.1	28.7	14.4	-8.5	68.1	-6.2
0.8	42.7	-9.1	27.3	14.1	-65.0	-44.9	2.0	8.6	4.3	-29.3	13.2	-6.2
1.0	38.9	-10.3	27.7	27.1	-56.4	-40.2	-8.5	-40.1	-33.4	-11.3	-33.6	-8.5
1.2	2.6	-62.4	-22.5	-80.4	-69.6	-52.5	-15.0	-37.1	-36.7	-15.4	-61.7	-12.5
1.4	2.2	-20.1	-43.1	-55.5	-63.9	-68.5	-21.6	-44.7	-59.0	-18.2		-15.4
1.6	-5.9	-65.8	-55.5	-77.7	-58.8	-75.8	-51.6	-47.7	-84.1	-59.8		-48.4
1.8	-98.2		-98.7	-98.1	-56.3	-79.7	-97.4	-93.8	-95.6	-86.1		-69.5
2.0			-99.1	-99.0	-55.8	-94.8	-98.7		-97.5			-91.3
2.2			-97.9	-99.7	-98.9							
2.4			-99.0		-99.1							
2.6					-100.0							

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Laguna de Limoncocha - Fosfatos (mg/L)													
PUNTOS	2012												2013
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO
1	0.392	0.486	0.376	0.266	1.570	0.768	0.973	0.432	0.255	0.081	0.079	0.119	0.096
2	0.336	0.701	0.359	0.295	0.757	0.324	0.692	0.511	0.387	0.102	0.086	0.182	0.179
3	0.439	0.483	0.639	0.362	1.650	0.325	1.021	0.737	0.310	0.110	0.144	0.100	0.132

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Laguna de Limoncocha - Nitratos (mg/L)													
PUNTOS	2012												2013
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO
1	2.250	1.324	1.957	1.380	ND	ND	1.236	0.925	1.622	1.310	0.582	1.440	0.718
2	1.470	1.156	1.156	1.140	1.030	ND	1.085	0.873	1.249	1.470	1.000	2.130	0.781
3	1.940	1.922	4.473	3.980	ND	ND	1.584	1.034	3.409	1.210	0.417	3.400	0.562

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.

Laguna de Limoncocha - Clorofila α (mg/L)													
PUNTOS	2012												2013
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO
1	0.013	0.011	0.021	0.045	0.0116	0.0142	0.00623	0.09256	0.01869	0.028	0.018	0.018	0.013
2	0.023	0.02	0.044	0.061	0.0142	0.0231	0.02136	0.04984	0.01513	0.016	0.017	0.011	0.042
3	0.011	0.009	0.042	0.015	0.0062	0.008	0.01335	0.0178	0.04895	0.017	0.012	0.015	0.017

Elaborado por: Martin Hernández, 2015.