

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
Facultad de Ciencias Ambientales

**Trabajo de Fin de Carrera previo a la obtención del Título
de Ingeniera Ambiental**

**ESTUDIO SOBRE EL ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE
LA LAGUNA DE LIMONCHA**

Autora:
Diana Carolina Peñaherrera Cabrera

Director:
Dr. Carlos Ordóñez

Quito – Ecuador

2010

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Descripción del Proyecto	3
1.2. Antecedentes	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Zona de Estudio	5
1.4.1. Ubicación y Descripción General.....	5
1.4.2. Características	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Limnología.....	7
2.1.1. Definición	7
2.1.2. Zonas de un Lago	7
2.2. Proceso de Eutroficación	9
2.2.1. Descripción.....	9
2.2.2. Estados Tróficos	11
2.2.3. Efectos de la Eutroficación.....	12
2.3. Lagos Cálidos Tropicales.....	13
2.4. Índice de Estado Trófico	14
2.4.1. Índice de Estado Trófico Modificado (IET _M)	15
2.5. Parámetros Analizados	16
2.5.1. Temperatura.....	16

2.5.2. pH.....	17
2.5.3. Conductividad	17
2.5.4. Sólidos Disueltos Totales	18
2.5.5. Transparencia o Distancia Secchi.....	18
2.5.6. Clorofila <i>a</i>	19
2.5.7. Fósforo Total	19
3. METODOLOGÍA	22
3.1. Determinación de puntos y Frecuencia de muestreo	22
3.2. Recolección de Muestras	24
3.3. Medición de la Transparencia	24
3.4. Medición de Parámetros “In Situ”.....	25
3.5. Análisis de Muestras	25
3.5.1. Determinación de Clorofila <i>a</i>	26
3.5.2. Determinación de Fósforo Total.....	27
3.6. Tratamiento de Datos.....	28
3.6.1. Índice de Estado Trófico Modificado para la Transparencia	28
3.6.2. Índice de Estado Trófico Modificado para la Clorofila <i>a</i>	28
3.6.3. Índice de Estado Trófico Modificado para el Fósforo Total	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1. Resultados de Mediciones “In Situ”	30
4.1.1. Transparencia o Distancia Secchi.....	32
4.2. Datos y Cálculos de Laboratorio	33
4.2.1. Clorofila <i>a</i>	33
4.2.2. Fósforo Total	36
4.3. Cálculo del Índice de Estado Trófico Modificado (IET _M)	39
4.4. Gráficos y Discusión.....	43
4.4.1. Parámetros “In Situ”	43

4.4.2. Transparencia	47
4.4.3. Clorofila <i>a</i>	49
4.4.4. Fósforo Total	51
4.4.5. Correlación de los Principales Parámetros de Medición	53
4.4.6. Índice de Estado Trófico Modificado (IET _M)	56
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. Conclusiones	60
5.2. Recomendaciones	61
GLOSARIO.....	63
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS FOTOGRÁFICOS	69

DEDICATORIA

*A Dios y a mis padres por su
amor incondicional.*

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por todas las bendiciones que da a mi vida cada día y por las pruebas que pone en mi vida, mediante las cuales y a pesar de todo Él me demuestra que siempre estará mi lado.

A mis padres por su gran amor y apoyo en todo momento y en especial a lo largo de esta carrera, por sus consejos, por los valores que me han inculcado, por todo su esfuerzo y por sus cuidados.

A mi hermano, mi familia y mis amigos que forman parte importante en mi vida, gracias por estar conmigo en cada momento y compartir sus vidas con la mía.

A mi compañera y gran amiga Estefanía Fierro, gracias por tu amistad, por tu ayuda y tu compañía durante la elaboración de este trabajo.

A mi director de trabajo de fin de carrera Dr. Carlos Ordóñez, por la confianza depositada en mí, por su guía, sus conocimientos y su gran apoyo durante los cinco años de carrera y en especial en el desarrollo del presente trabajo.

A mi tribunal: Biól. Francisco Neira e Ing. Santiago Gómez quienes colaboraron con este trabajo y con sus conocimientos los cuales fueron de gran aporte para el mejor desarrollo del mismo.

Un especial agradecimiento al Sr. Jendry Moya y a su familia por todas las atenciones brindadas y por su ayuda durante la elaboración de mi trabajo de fin de carrera.

Finalmente agradezco a la Universidad Internacional SEK, a la Facultad de Ciencias Ambientales y a cada uno de sus profesores, quienes ayudaron en mi formación como ingeniera y persona.

RESUMEN

Durante el período de Febrero a Julio del 2010 se realizaron seis muestreos del agua de la laguna de Limoncocha en ocho diferentes puntos. En cada uno de los puntos se analizaron “in situ” los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales y la medición de la transparencia mediante la observación del disco Secchi, mientras que en el laboratorio se analizó la clorofila *a* y el fósforo total de cada muestra recolectada con el fin de conocer las características físicas y químicas que posee la laguna y determinar el estado trófico actual en el que se encuentra. Para la determinación del estado trófico se utilizó el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr., en el cual se emplearon los datos obtenidos de transparencia, clorofila *a* y fósforo total. La determinación del estado trófico de la laguna se lo realizó para cada punto de muestreo, para cada mes y uno global de toda la laguna de Limoncocha, llegando a la conclusión de que la laguna se encuentra en estado **mesotrófico**. Además, según los resultados obtenidos durante el período del estudio se determinó que la laguna posee altas concentraciones de clorofila *a*.

Palabras Clave: Laguna de Limoncocha, eutroficación, índice de estado trófico modificado (IET_M), lago cálido tropical, distancia Secchi.

ABSTRACT

During the period from February to July 2010 six samples of the water from the Limoncocha lagoon were taken in eight different places. In each one of the different places were analyzed “in situ” the following parameters: temperature, pH, conductivity, total dissolved solids and the measurement of the transparency through observing of the Secchi disc, while, in the laboratory was analyzed the chlorophyll *a* and total phosphorus of each sample collected in order to know the physical and chemical characteristics the lagoon owns and determine the actual trophic state of the lagoon. For the determination of the trophic state was used the Trophic State Index Modified (TSI_M) by Toledo Jr., in which were used the data obtained from the transparency, chlorophyll *a* and the total phosphorus. The determination of the trophic state was made for each point of the sample, for each month and a total of the entire Limoncocha lagoon, getting to the conclusion that the lagoon was found in **mesotrophic** state. Besides according to the obtained results during the period of the research was determined that the lagoon owns high concentrations of chlorophyll *a*.

Key Words: Limoncocha lagoon, eutrophication, trophic state index modified (TSI_M), tropical lake, Secchi distance.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente trabajo de fin de carrera se realiza un estudio sobre el estado trófico actual de la laguna de Limoncocha ubicada en la Reserva Biológica de Limoncocha, provincia de Sucumbíos. Debido a que la laguna es considerada como el sistema principal de la Reserva por su gran importancia ecológica, turística y para los habitantes de la zona como fuente de pesca para consumo doméstico, es importante conocer la situación actual en la que se encuentra, obteniendo datos que permitan determinar las características físicas y químicas que posee la laguna. Conjuntamente y, a partir de este estudio pueden realizarse futuros proyectos para la conservación, protección o mejoramiento del estado actual de este importante ecosistema acuático.

El fenómeno de eutroficación sucede naturalmente, pero es acelerado por la intervención del hombre. El control del proceso de eutroficación es hoy uno de los problemas más importantes y urgentes de la ecología y en particular de la limnología. Además es uno de los problemas ambientales que genera interés de los países desarrollados y en desarrollo por el impacto que tiene en el valor biológico, paisajístico y recreativo de los ecosistemas.

Para la determinación del estado trófico actual de la laguna se analizaron tres parámetros durante un período de seis meses (Febrero a Julio del 2010): la transparencia de la laguna, la clorofila *a* y el fósforo total presentes en el agua y, mediante la aplicación del Índice de Estado Trófico Modificado de Toledo Jr., empleado para lagos cálidos tropicales, se realizó además la clasificación trófica de la laguna de Limoncocha.

Además, con los datos actuales obtenidos y con el último estudio del estado trófico de la laguna (2002- 2003), se pudo establecer los cambios que ha experimentado la laguna durante estos últimos siete años.

1.2. ANTECEDENTES

El estado trófico de la laguna de Limoncocha ha sido determinado en dos trabajos realizados en años anteriores, en estos se evaluaron diferentes parámetros y se aplicaron métodos para establecer en qué estado se encontraba la laguna en esa época.

El primer trabajo de fin de carrera realizado fue la “Evaluación de los estados tróficos de la laguna de Limoncocha en el período 2000 – 2001”. En este proyecto se determinó el estado trófico de la laguna de Limoncocha realizando mediciones del fósforo total contenido en el agua. Se realizaron muestreos durante los meses de enero a junio del 2001 en seis puntos en la laguna y dos puntos en los principales afluentes de la laguna (río Playayacu y río Pishira). Utilizando el sistema de clasificación del estado trófico para fósforo total se concluyó que la laguna de Limoncocha se encuentra en un estado mesotrófico (Espinoza, 2001).

El segundo trabajo de fin de carrera fue el “Diagnóstico del estado trófico de la laguna de Limoncocha y determinación de la calidad del agua del sistema hídrico de la zona de Limoncocha en el período 2002 – 2003”. En este proyecto se evaluó la calidad del agua de la laguna de Limoncocha y de los afluentes cercanos, además se realizó un análisis del estado trófico de la laguna. El estado trófico de la laguna se determinó mediante análisis de las concentraciones de fósforo total, nitrógeno total y clorofila *a* a través de muestreos durante los meses de noviembre a abril del período 2002- 2003. Con respecto al estado trófico de la laguna, se pudo concluir que ésta se encuentra en estado de mesotrofia a eutrofia moderada (Gómez, 2003).

Para el presente estudio se empleará el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr., el cual ha sido aplicado en el embalse UHE Luís Eduardo Magalhaes en Brasil debido a que es el índice más adecuado para la determinación del estado trófico de lagos cálidos tropicales. Este trabajo tuvo por objetivo evaluar la aplicabilidad del índice de estado trófico (IET) propuesto por Carlson (1977) y la modificación (IET_M) propuesta por Toledo Jr. (1985), verificando la variación temporal del nivel trófico del embalse de la UHE Luís Eduardo Magalhaes como de la variación entre los puntos de muestreo. Se observó que de acuerdo a los valores promedio del IET el estado trófico del embalse se clasifica como eutrófico durante todo el año y en todos los puntos de muestreo, y con relación al IET_M , el

embalse presenta características mesotróficas en todo el período de estudio y en todos los puntos de muestreo, obteniéndose que, para ambos índices los sitios que mostraron los valores más altos se refieren a aquellos puntos situados en el área de influencia de los centros urbanos. De acuerdo a los estudios ya realizados, se entiende que el índice modificado (IET_M) es más apropiado para la clasificación de este embalse, además la utilización de un índice en lugar de un solo parámetro permite obtener resultados más confiables (Pena *et al.*, 2004).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Determinar el estado trófico actual de la laguna de Limoncocha utilizando el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr. (1985).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer la variación de las concentraciones de clorofila *a*, fósforo total y de la medición de la transparencia de la laguna en cada uno de los puntos de muestreo seleccionados.
- Analizar la correlación entre pH, fósforo total, clorofila *a* y transparencia (distancia Secchi) obtenidos en la laguna de Limoncocha.

1.4. ZONA DE ESTUDIO

1.4.1. Ubicación y Descripción General

La laguna de Limoncocha se encuentra ubicada a 230 m.s.n.m. en la Reserva Biológica Limoncocha perteneciente a la parroquia de Limoncocha en el cantón Shushufindi de la provincia de Sucumbíos, aproximadamente a 210 km de Quito. La Reserva comprende un área total de 4613,25 ha y según el sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge la Reserva Biológica Limoncocha está constituida por una formación de Bosque Húmedo Tropical. La laguna de Limoncocha es uno de los atractivos turísticos más importante de la

Reserva Biológica, además es usada por los nativos para la pesca (Rivera, 2007; Bastidas & Lasso, 2009).

1.4.2. Características

- **Clima**

El promedio de la menor precipitación mensual se registra en el mes de diciembre de 183,7 mm, y la mayor en el mes de abril de 325,7 mm. Su precipitación anual supera los 3200 mm (Rivera, 2007). Se registra una temperatura promedio entre 23 °C y 25 °C con una máxima mensual de 31 °C y la mínima de 16 °C. Debido a una constante cobertura nubosa que existe sobre la Reserva, es raro que la irradiación solar supere las 1200 horas de sol, considerando a los meses de agosto y noviembre los que presentan el número total de horas más alto. La humedad relativa es constante, encontrándose muy rara vez por debajo del 80% (Bastidas & Lasso, 2009).

- **Profundidad**

La laguna de Limoncocha posee una profundidad promedio de 1,8 m y una máxima de 2,6 m. Su longitud máxima es de 3 km por 1 km de ancho. Aproximadamente la superficie de agua de la laguna es de 2,7 km² (Espinoza, 2001; Gómez, 2003; Bastidas & Lasso, 2009).

- **Características de los sedimentos**

En la laguna de Limoncocha los depósitos de sedimento son inicialmente altos en material orgánico y macronutrientes, pero oxidados en el lecho de la laguna. En la profundidad, los sedimentos están dominados por componentes minerales como arena, limo y arcilla (Bastidas & Lasso, 2009).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. LIMNOLOGÍA

2.1.1 Definición

Es la ciencia que estudia las características físicas, químicas y biológicas de lagos, lagunas, ríos, embalses y estuarios, además de las relaciones funcionales y de productividad de los organismos que se encuentran en dichos ecosistemas acuáticos (Roldán, 1992).

Los lagos y las lagunas pertenecen a la categoría de aguas lénticas, las cuales son depresiones de terreno que contienen aguas estancadas, generalmente de profundidad que va desde un metro hasta los 2000 metros. Según su tamaño se considera de mayor extensión a los lagos que a las lagunas (Roldán, 1992; Smith & Smith, 2001). Sufren el proceso de sucesión debido a la acumulación de sedimentos y materia orgánica que puede ser de origen autóctono, es decir por el propio metabolismo del lago, o de origen alóctono por materiales arrastrados por la lluvia o por las corrientes produciendo de esta manera la desaparición del lago (Roldán, 1992).

El origen de los lagos generalmente es producto de procesos geológicos, es decir por efecto del deshielo de los glaciares, por la actividad volcánica y por movimientos tectónicos (Cole, 1988). Sin embargo en la gran mayoría de lagunas ubicadas en el neotrópico su origen es producto de lluvias y por influencia del mar sobre las costas, mientras que los lagos ubicados en la parte alta de los Andes son principalmente de origen glaciar (Roldán, 1992).

2.1.2. Zonas de un lago

- **Zona Litoral**

Comprende la orilla y las aguas someras, y se encuentra sujeta a fluctuaciones de temperatura y a la erosión de materiales costeros por acción de las olas. Es poco profunda, bien iluminada, rica en nutrientes y con plantas que se encuentran enraizadas hasta cierta profundidad de las cuales sus tallos y hojas sobresalen del agua. Posee una gran variedad de hábitats y nichos

ecológicos. En esta zona es donde se desarrolla la mayor productividad acuática, contribuyendo mayormente con el suministro de materia orgánica al sistema lacustre (Cole, 1988; Roldán, 1992; Smith & Smith, 2001).

- **Zona Sublitoral**

Se encuentra debajo de la zona litoral. Posee escasa disponibilidad de luz, no contiene vegetación acuática, siendo pobre en fauna béntica. En esta zona se acumulan restos de organismos, por lo que se la considera como el cementerio de la zona litoral (Cole, 1988; Roldán, 1992).

- **Zona Profunda**

Presenta una estratificación térmica en verano (Cole, 1988). Sin embargo para lagos tropicales no se aplica esto ya que su temperatura a lo largo del año es más o menos constante (Roldán, 1992).

En los lagos tropicales esta zona se asocia con la zona hipolimnética de los lagos de zonas templadas donde ocurren los fenómenos de respiración y oxidación de la materia orgánica, no existe penetración de luz y es habitual la ausencia de oxígeno y altas concentraciones de dióxido de carbono y ácido sulfhídrico (Roldán, 1992).

- **Zona Limnética o Pelágica**

Corresponde a las aguas abiertas. En esta zona habitan algunos organismos como el plancton, los cuales flotan libremente en el agua. Su parte superior se llama zona trofогénica, es donde se realiza la fotosíntesis y predominan los productores primarios y el fitoplancton. La zona trofогénica se extiende hasta donde la luz solar ya no penetra y por ende ya no se realiza la fotosíntesis. En la parte inferior se encuentra la zona trofолítica donde ocurre la respiración y oxidación de la materia orgánica (Roldán, 1992).

2.2. PROCESO DE EUTROFICACIÓN

2.2.1. Descripción

Eutroficación significa literalmente “el proceso de la buena nutrición” (Parra, 1989). Se refiere a cambios físicos, químicos y biológicos debidos a una fertilización excesiva de la masa de agua de lagos y lagunas que reciben ingresos de nutrientes enriqueciendo los ecosistemas acuáticos principalmente de nitrógeno y fósforo, lo que provoca un alto crecimiento de fitoplancton (algas), las cuales al morir van al fondo creando una acumulación de materia orgánica (Parra, 1989; Roldán 1992; Miller, 1994).

Un lago o laguna originalmente se encuentran en estado oligotrófico, es decir que poseen poca cantidad de nutrientes en el agua, sin embargo de forma natural y a través de miles de años dicho estado puede variar, ocurriendo una sucesión acuática del lago que lo lleva a convertirse en pantano hasta desaparecer (Nebel & Wright, 1999).

Desde el punto de vista científico se relaciona más a la eutroficación con las causas que ocasiona dicho problema, es decir con la excesiva nutrición de las aguas; y no tanto con sus efectos como es el florecimiento de plantas acuáticas y la disminución en la concentración de oxígeno disuelto. Sin embargo también se ha descrito a la eutroficación como el proceso de envejecimiento de lagos y lagunas, enfatizándose más en los efectos que en las causas (Parra, 1989).

Los sistemas lacustres reciben constantemente entradas de agua desde su cuenca o área de drenaje y desde la atmósfera por precipitación. La calidad del agua de un lago depende de los efectos acumulados de estos eventos. Durante toda la vida de un lago, éste recibe y acumula materiales traídos por las corrientes de entrada, alterándose la relación superficie-volumen ya que se disminuye poco a poco la profundidad. Debido a ésta continua transformación se origina una fase de pantano y finalmente un sistema terrestre, ocurriendo la sucesión. En forma natural este proceso demora miles de años en completarse (Parra, 1989; Roldán 1992).

El proceso de eutroficación conlleva muchos cambios los cuales suceden a partir del enriquecimiento de nutrientes de una masa oligotrófica (pobre en nutrientes). Este

enriquecimiento favorece el crecimiento y la multiplicación de fitoplancton lo que produce un aumento en la turbidez del agua, con lo cual el agua tiende a oscurecerse o volverse verdosa, disminuyendo de esta manera el paso de luz necesario para la fotosíntesis por parte de las plantas acuáticas. Como no llega la luz y la fotosíntesis es imposible de llevarse a cabo, las plantas acuáticas que se encuentran en el fondo desaparecen y con esto se pierde alimento, hábitat y principalmente oxígeno disuelto, esenciales para el desarrollo del ecosistema acuático. La pérdida de oxígeno disuelto se agrava debido al incremento del fitoplancton, el cual está compuesto de organismos fotosintéticos que también producen oxígeno. Como el fitoplancton ocupa gran parte de la superficie de la masa de agua, ésta se satura del gas, escapando el exceso de oxígeno a la atmósfera. Se puede apreciar este suceso cuando se observan burbujas de oxígeno que son liberadas en la superficie después de quedar atrapadas en las algas filamentosas. Consecuentemente la fotosíntesis que realiza el fitoplancton no reabastece de oxígeno disuelto a la parte más profunda de los lagos y lagunas como lo hacen las plantas acuáticas al realizar la fotosíntesis (Nebel & Wright, 1999).

El crecimiento del fitoplancton es muy rápido, en condiciones óptimas puede duplicar su biomasa en tan solo 24 horas, sobrepasando de gran manera la capacidad de desarrollo que poseen las plantas acuáticas. Al morir, el fitoplancton se asienta en el fondo produciendo depósitos espesos de detritos y a su vez una gran cantidad de descomponedores, principalmente bacterias, las cuales a causa de su elevada tasa de crecimiento requieren gran cantidad de oxígeno disuelto que lo consume durante la respiración. De esta manera la demanda de oxígeno crece más, agotando rápidamente este recurso, lo que provoca la sofocación y muerte de los seres que habitan en el lago, como son peces, crustáceos, etc. A pesar de la escasez de oxígeno disuelto las bacterias no mueren, ya que tienen la capacidad de cambiar de aerobias a anaerobias, por lo cual no requieren de oxígeno para sobrevivir mientras existan detritos que las alimenten. Además al cambiar su metabolismo a anaerobias, generan NH_3 , CH_4 , H_2S (Spiro & Stigliani, 2004). En conclusión se puede decir que la eutroficación inicia con el enriquecimiento de nutrientes que lleva al crecimiento y muerte de fitoplancton, la acumulación de detritos, el aumento de bacterias, y finalmente el agotamiento del oxígeno disuelto y sofocación y muerte de los organismos superiores que habitan en un cuerpo de agua (Nebel & Wright, 1999).

Los asentamientos humanos, la deforestación, el manejo y uso de fertilizantes, las descargas de aguas negras e industriales no tratadas y cualquier proceso artificial producto de las actividades que realiza el ser humano en el área de la cuenca de drenaje de los ecosistemas acuáticos pueden cambiar la velocidad del proceso de eutroficación, haciendo que ésta sea más rápida. Este proceso se conoce como eutroficación cultural (Parra, 1989; Roldán 1992).

2.2.2. Estados Tróficos

- **Oligotrófico**

Los cuerpos de agua como lagos y lagunas que pertenecen a este estado trófico tienen una reducida relación superficie – volumen. Sus aguas son claras y cristalinas, generalmente de tonalidad azul claro, lo cual permite que la luz penetre hasta el fondo donde las plantas acuáticas (flora béntica) realizan la fotosíntesis. Contiene bajo contenido de nutrientes en el agua, en ciertos caso aunque el contenido de nitrógeno sea alto la disponibilidad del fósforo es muy limitada. Esto se debe a un aporte mínimo desde los ecosistemas terrestres y otras fuentes externas (Smith & Smith, 2001).

Debido a la escasez de nutrientes el crecimiento de fitoplancton es limitado, lo que favorece al desarrollo de la flora béntica, la cual mantiene en equilibrio al ecosistema acuático al suministrar alimento, hábitat y principalmente oxígeno disuelto (Nebel & Wright, 1999).

Posee una baja productividad primaria, en este estado trófico la producción primaria anual fijada y convertida en moléculas orgánicas por las plantas por metro cuadrado de superficie del lago es de 7 a 25 gramos (Cole, 1988).

- **Eutrófico**

En este estado trófico los lagos y lagunas presentan una alta relación superficie – volumen, ya que el área es más grande en comparación con su profundidad. El agua es turbia y de color verde oscuro. Contiene gran abundancia de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo lo que estimula el crecimiento del fitoplancton, especialmente de algas. Debido al excesivo crecimiento de algas la luz no puede penetrar, impidiendo que la flora béntica realice la fotosíntesis. Los restos de las algas muertas se depositan en el fondo de la masa de agua junto

con los aportes de sedimentos y desechos orgánicos. Las bacterias descomponen a toda esta materia orgánica consumiendo el oxígeno y agotándolo. Con esto la vida acuática en esta zona se reduce (Smith & Smith, 2001). La producción primaria anual se encuentra en un rango de 75 a 250 gramos de carbono por metro cuadrado de superficie del cuerpo de agua (Cole, 1988).

- **Mesotrófico**

Este estado corresponde a los lagos y lagunas que se encuentran entre los dos extremos de contenido de nutrientes, riqueza de nutrientes (eutrófico) y pobreza de nutrientes (oligotrófico). Posee entre 25 a 75 gramos de producción primaria anual fijada y convertida en moléculas orgánicas por las plantas (Cole, 1988; Miller, 1994).

2.2.3. Efectos de la Eutroficación

Uno de los principales problemas de contaminación del agua y afectación a su calidad es la eutroficación cultural o artificial, provocada por la acción del ser humano. Entre los efectos más importantes que produce este problema están:

- Afectación a la industria de pesca comercial y deportiva a causa del cambio en las especies de peces presentes en el lago debido a los bajos niveles de oxígeno dentro del cuerpo de agua (Henry & Heinke, 1999).
- Pérdida de la biodiversidad existente dentro del lago o laguna y reducción de su vida útil debido al aumento de sedimentos (Jiménez, 2001).
- Abundante crecimiento de fitoplancton (algas y cianobacterias) que producen un sabor y olor desagradable al agua, impidiendo el consumo de agua de fuentes de abastecimiento que se encuentran afectadas por la eutroficación, además la gran cantidad de algas obstruyen canales y drenes en zonas de riego, filtros de las plantas de tratamiento y tomas de plantas hidroeléctricas (Henry & Heinke, 1999; Jiménez, 2001).

- Restricción al turismo y la recreación por el excesivo crecimiento de algas que impiden nadar en los lagos y lagunas y realizar paseos en lanchas o botes (Henry & Heinke, 1999; Jiménez, 2001).

2.3. LAGOS CÁLIDOS TROPICALES

Se encuentran ubicados en el neotrópico, región que comprende los 20° de latitud norte y los 20° de latitud sur. Según muestreos realizados a nivel mundial se obtuvo que menos del 10% del los lagos son tropicales, esto debido principalmente a que las glaciaciones tuvieron poca influencia en esta área (Roldán, 1992; Schiemer & Boland, 1996).

Es posible estratificar un lago térmicamente, esto es más aplicado para lagos de zonas templadas puesto que en los lagos que se encuentran en los trópicos la temperatura permanece constante a lo largo del año debido al eje de inclinación con relación al sol que poseen las regiones tropicales y ecuatoriales, lo que causa que la radiación solar sea igualmente constante; sin embargo, esto varía de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar. Es por esto que la estratificación utilizada para lagos templados no se aplica a lagos tropicales (Roldán, 1992).

Los lagos cálidos tropicales se encuentran en el piso cálido o tropical que va desde los 0,0 y 1000 m.s.n.m., con temperatura ambiente superior a los 24°C. Este tipo de lagos poseen poca profundidad y sufren estratificaciones y destratificaciones térmicas debido a las variaciones de temperatura del agua durante el día y la noche. La estratificación sucede durante el día, mientras que durante la noche ocurre una destratificación debido a una pérdida de calor a la atmósfera. De igual manera los vientos y los períodos de lluvia no permiten que la estratificación dentro del lago sea duradera y estable. Es por esto, que este tipo de lagos pueden reutilizar los nutrientes limitantes que se encuentra en los sedimentos, para de esta manera nutrir a las comunidades de plancton (Roldán, 1992; Schiemer & Boland, 1996).

La temperatura mínima de los lagos cálidos tropicales es de 10°C y de 15°C máximo de promedio anual. Según la estratificación térmica y la circulación del agua existe otro tipo de clasificación, en la cual los lagos cálidos tropicales están dentro de los lagos polimícticos cálidos que poseen frecuentes períodos de circulación a temperaturas superiores a 4°C y

pequeñas variaciones de temperatura durante el año, el calentamiento ocurre durante el día y en la noche un rápido enfriamiento (Roldán, 1992).

2.4. ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO

Para determinar el estado trófico de un cuerpo de agua se han utilizado varios criterios, lo que ha contribuido a establecer que éste depende de muchos factores como la carga de nutrientes, la producción primaria de fitoplancton, la cantidad de fauna y flora, la calidad del lago, la concentración de sedimentos de materia orgánica, entre otros, por lo tanto la evaluación del estado trófico no se puede realizar con la medición de solo un parámetro (Carlson, 1977; Rocha, 2006).

El Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) es uno de los índices más utilizados en la evaluación, determinación y clasificación del estado trófico de los sistemas acuáticos lacustres debido a su sencillez y objetividad. Para la elaboración de este índice se empleo una transformación lineal de la transparencia obtenida con el disco Secchi, lo cual evalúa la concentración de la biomasa. Además de este valor, el índice también puede ser determinado con los valores de la concentración de clorofila *a* y de fósforo (Carlson, 1977; Duarte *et al.*, 2001).

Las fórmulas que se aplican en el Índice de Estado Trófico IET de Carlson (1977) para la transparencia, clorofila *a* y fósforo total según Pena *et al.* (2004) son:

Transparencia (Tra):

$$IET (Tra) = 10*(6 - ((\ln Tra)/\ln 2)) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

ln Tra = Logaritmo natural del promedio de la transparencia, en metros, medida con el disco Secchi.

Clorofila a (Cla):

$$IET (Cla) = 10 * \{6 - [2,04 - 0,68 * ((\ln Cla) / \ln 2)]\} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$\ln Cl a$ = Logaritmo natural de la clorofila a en $\mu\text{g/L}$.

Fósforo Total (PT):

$$IET (PT) = 10 * [6 - ((\ln (65/PT) / \ln 2)] \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

$\ln PT$ = Logaritmo natural de la medición de fósforo total en $\mu\text{g/L P}$.

2.4.1. Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M)

El Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) por Toledo Jr. (1985) es mucho más apropiado para determinar el estado trófico de lagos y embalses tropicales que el IET de Carlson, ya que este último fue desarrollado para evaluar lagos y embalses de zonas templadas (Santos & Florencio, 2001). Los ecosistemas acuáticos de zonas tropicales poseen un alto grado de productividad debido a una alta tasa de asimilación de nutrientes, teniendo una capacidad para metabolizar las cantidades de nutrientes mucho mayor a la que poseen los ecosistemas de zonas templadas. Dicha capacidad para metabolizar los nutrientes permite que los límites establecidos para cada estado trófico (oligotrófico, mesotrófico y eutrófico) sean más altos en relación con los cuerpos de agua en épocas de frío (Rocha, 2006).

El Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) tiene menos categorías para su clasificación, sin embargo el rango numérico es mayor, lo que permite detectar pequeñas concentraciones de cada variable (García *et al.*, 2007).

Las fórmulas que se aplican en el Índice de Estado Trófico Modificado IET_M de Toledo Jr. (1985) para la transparencia, clorofila a y fósforo total según Pena *et al.* (2004) son:

Transparencia (Tra):

$$IET_M (Tra) = 10^* \{6 - [(0,64 + \ln Tra)/\ln 2]\} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$\ln Tra$ = Logaritmo natural del promedio de la transparencia, en metros, medida con el disco Secchi.

Clorofila *a* (Cl a):

$$IET_M (Cl a) = 10^* \{6 - [(2,04 - 0,695 * (\ln Cl a))/\ln 2]\} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$\ln Cl a$ = Logaritmo natural de la clorofila *a* en $\mu\text{g/L}$.

Fósforo Total (PT):

$$IET_M (PT) = 10^* \{6 - [(\ln (80,32/PT))/\ln 2]\} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

$\ln PT$ = Logaritmo natural de la medición de fósforo total en $\mu\text{g/L P}$

2.5. PARÁMETROS ANALIZADOS

2.5.1. Temperatura

La temperatura está determinada por la cantidad de energía calórica que un cuerpo de agua absorba. Es muy importante para todos los procesos biológicos e influye sobre las tasa de crecimiento biológico, en las reacciones químicas y en el desarrollo de la vida (Roldán, 1992; Jiménez, 2001). Si la temperatura en el agua es mayor, la solubilidad de un sólido también lo es, mientras que la solubilidad de un gas será menor. Es por esto que al existir contaminación térmica la vida dentro de un cuerpo de agua se encuentra en peligro ya que elimina el oxígeno disuelto vital para el desarrollo de vida acuática (Jiménez, 2001).

2.5.2. pH

El pH o potencial de hidrógeno indica la concentración de iones hidrógeno $[H^+]$ presentes en una solución acuosa y determina la naturaleza ácida o básica de dicha solución (Roldán, 1992). Matemáticamente el pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno: $pH = -\log [H^+]$, y la escala de medición va desde 0,0 a 14,0. La neutralidad absoluta está representada por un pH de 7,0 a 25°C, mientras que si la solución posee un pH menor a 7,0 significa que es ácida y si es mayor a 7,0 la solución es básica (Roldán, 1992; Sawyer *et al.*, 2001).

En aguas naturales los valores de pH oscilan entre 6,0 a 9,0. Los lagos de las partes bajas tropicales presentan una variación de pH que va desde 5,0 a 9,0 dependiendo del estado de eutroficación en el que se encuentre y del grado de alcalinidad que posee (Roldán, 1992).

2.5.3. Conductividad

La conductividad se denomina a la capacidad que posee una solución de transmitir corriente eléctrica y varía con el tipo y número de iones que contiene la solución (Jiménez, 2001). Mediante este parámetro se mide la cantidad total de iones presentes en el agua. Entre la conductividad, la salinidad y los sólidos disueltos presentes en un cuerpo de agua existe una gran relación. La conductividad se expresa en micro siemens por centímetro ($\mu S/cm$) (Roldán, 1992).

Mediante la conductividad se puede conocer información acerca del ecosistema, como la concentración iónica, los iones responsables de la conductividad más conocidos como macronutrientes, que son el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, cloruros y sulfatos, la detección de fuentes de contaminación, además que la conductividad puede proporcionar información sobre la variación de la productividad primaria y descomposición de materia orgánica (Roldán, 1992).

Los valores de conductividad en los trópicos se encuentran más relacionados con la naturaleza geoquímica del terreno y su concentración varía de acuerdo a la época sea esta de lluvia o seca y con el estado trófico. Los lagos de zonas cálidas tropicales presentan altos valores de

conductividad, ya que en ellos se recoge una mayor cantidad de escorrentía y de los aportes de los ríos (Roldán, 1992).

2.5.4. Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales o TDS por sus siglas en inglés se refiere a la concentración total de minerales presentes en el agua, y posee una relación directamente proporcional con la conductividad (Jiménez, 2001; Roldán, 2003).

Todo tipo de agua contiene sólidos disueltos totales debido a la disolución de rocas, minerales y descomposición de materia, entre otros factores (Jiménez, 2001). Los valores que presentan los lagos neotropicales van de entre 10 y 200 ppm o mg/L (Roldán, 1992).

2.5.5. Transparencia o Distancia Secchi

La transparencia de los cuerpos de agua puede disminuirse por la presencia de materia orgánica e inorgánica, el plancton y las partículas disueltas y en suspensión que se encuentran presentes en el agua, además afecta a la cantidad de luz que penetra en el agua (Roldán, 1992).

El disco Secchi es el instrumento utilizado para medir la profundidad de la zona fótica de un lago, que es aquella distancia a la que desaparece el 99% de la luz superficial. Debajo de esta zona es casi nula la productividad primaria ya que no se realiza la fotosíntesis (Cole, 1988; Roldán, 1992).

Generalmente el disco tiene 20 a 25 cm de diámetro es de color blanco dividido en cuatro franjas, dos negras y dos blancas lo que facilita la visibilidad. Para la observación se introduce el disco en el agua hasta perderlo de vista y luego se lo sube hasta volver a verlo, la distancia a la que se observa el disco es conocida como transparencia Secchi y representa la mitad de la distancia que recorre la luz hasta el disco y su regreso hasta el ojo del observador. Además es inversamente proporcional a la suma de la absorción de la luz por el agua, las sustancias disueltas y la concentración del material particulado. La transparencia se expresa en metros y depende de algunos factores como la agudeza visual del observador, de la reflexión del disco,

las sombras en el agua y del contraste entre el disco y el agua (Carlson, 1977; Cole, 1988; Roldán, 1992).

2.5.6. Clorofila *a*

La clorofila es el pigmento verde que poseen las plantas y las algas y es fundamental en el proceso de la fotosíntesis. Este pigmento interviene en la conversión de energía solar a energía química durante la fotosíntesis de las plantas. El pigmento más importante es la clorofila *a* (Allinger *et al.*, 1984; Brown *et al.*, 2004).

La clorofila *a* permite determinar la cantidad total de biomasa fitoplanctónica presente en un momento dado y en una cantidad determinada de agua, además es empleado como un indicativo del estado trófico de un ecosistema acuático. La presencia de clorofila *a* es un indicador confiable en la cuantificación y seguimiento de las variaciones de la biomasa, permitiendo determinar la calidad del agua y la salud del ecosistema (Contreras *et al.*, 1994; Rocha, 2006; Sánchez *et al.*, 2007).

2.5.7. Fósforo Total

El fósforo es un elemento importante dentro del metabolismo biológico. Se presenta en el agua en forma de fosfatos: ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y polifosfatos) y fosfatos orgánicos. El fósforo en forma natural se encuentra en rocas fosfatadas y en cerca de 200 minerales más (Roldán, 1992; Jiménez, 2001).

La forma más sencilla de los fosfatos son los ortofosfatos (PO_4^{3-}) los cuales se encuentran principalmente en rocas y son de gran importancia en la limnología ya que es la forma como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo. Su disponibilidad en el agua aumenta a pH básicos y disminuye a pH ácidos. En los trópicos el consumo de ortofosfatos es más rápido debido a que las altas temperaturas aumentan el metabolismo de las plantas y el fitoplancton (Roldán, 1992; Jiménez, 2001).

A pesar de ser menos abundante que el nitrógeno, el fósforo es el factor limitante de la productividad primaria y además posee un efecto mayor sobre la eutroficación, puesto que

cantidades mínimas de este elemento pueden favorecer el crecimiento de fitoplancton afectando la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático (Roldán, 1992; Roldán, 2003).

El fósforo también se encuentra en los sedimentos, siendo su cantidad mucho mayor a la que se encuentra en el agua. Esto tiene que ver con la habilidad de los sedimentos de retornar el fósforo, el tipo de biota en los sedimentos y las condiciones del agua; todo esto puede afectar el retorno del fósforo a la zona trofógena (zona donde se realiza la fotosíntesis) (Roldán, 1992).

Debido a la actividad humana existe un aumento en la cantidad de fósforo en diversos cuerpos de agua, esto es producido por fertilizantes, detergentes, descargas industriales y humanas (Roldán, 1992; Jiménez, 2001).

- **Ciclo del Fósforo**

El fósforo es liberado desde los depósitos naturales de fosfatos por lixiviación, desgaste, erosión o por la extracción minera. Parte del fósforo pasa a través de los ecosistemas terrestres y acuáticos por medio de las plantas, de los herbívoros, de depredadores y de parásitos, y regresa al suelo y al agua por la excreción de los estos organismos. De igual manera por la muerte y descomposición de todos los organismos de la cadena alimentaria el fósforo regresa a la tierra y al medio acuático. En la tierra las bacterias transforman los fosfatos orgánicos, que no pueden ser tomados por las plantas, en fosfatos inorgánicos, de estos una parte queda dentro de los organismos de las bacterias y otra es tomada por las plantas. Finalmente parte del fósforo de la tierra se escapa hacia el mar y los lagos (Smith & Smith, 2001).

El fósforo en los ecosistemas acuáticos (marinos y de agua dulce) circula como fósforo orgánico particulado, fosfatos orgánicos disueltos y fosfatos inorgánicos. Las bacterias y el fitoplancton toman rápidamente los fosfatos orgánicos. Luego estos organismos se convierten en el alimento para el zooplancton el cual por medio de la excreción devuelve el fósforo al ciclo. El zooplancton es el responsable de que el fósforo se encuentre disponible en el agua (Roldán, 1992; Smith & Smith, 2001). Al morir los organismos que conforman la cadena

alimentaria en los ecosistemas acuáticos liberan fósforo y una parte de este elemento se deposita en los sedimentos (Roldán, 2003).

3. METODOLOGÍA

3.1. DETERMINACIÓN DE PUNTOS Y FRECUENCIA DE MUESTREO

Se seleccionaron ocho puntos representativos de la laguna de Limoncocha, y se ubicaron las coordenadas de cada punto de muestreo empleando un GPS.

En cada punto se tomo una muestra mensual. El período de estudio fue realizado durante seis meses, desde Febrero hasta Julio del 2010.

La ubicación de los puntos se presenta a continuación:

Cuadro 1: Puntos de Muestreo

PUNTOS DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	REFERENCIA
Punto 1	S 00° 23' 20,7'' W 076° 35' 55,0''	Cañón (canal de conexión con la Laguna Negra)
Punto 2	S 00° 23' 20,4'' W 076° 36' 16,8''	Frente a río Pishira
Punto 3	S 00° 23' 10,4'' W 076° 36' 21,0''	Lateral al río Pishira
Punto 4	S 00° 23' 40,3 '' W 076° 36' 52,0''	Río Playayacu
Punto 5	S 00° 23' 55,1'' W 076° 36' 47,0''	Frente a la antena (centro de la laguna)
Punto 6	S 00° 24' 12,0'' W 076° 36' 39,8''	Frente a la antena (zona de lechuguines)
Punto 7	S 00° 24' 24,1'' W 076° 36' 58,7''	Frente al muelle de la Estación Científica de Limoncocha
Punto 8	S 00° 24' 30,6'' W 076° 37' 08,3''	Esquina de los militares

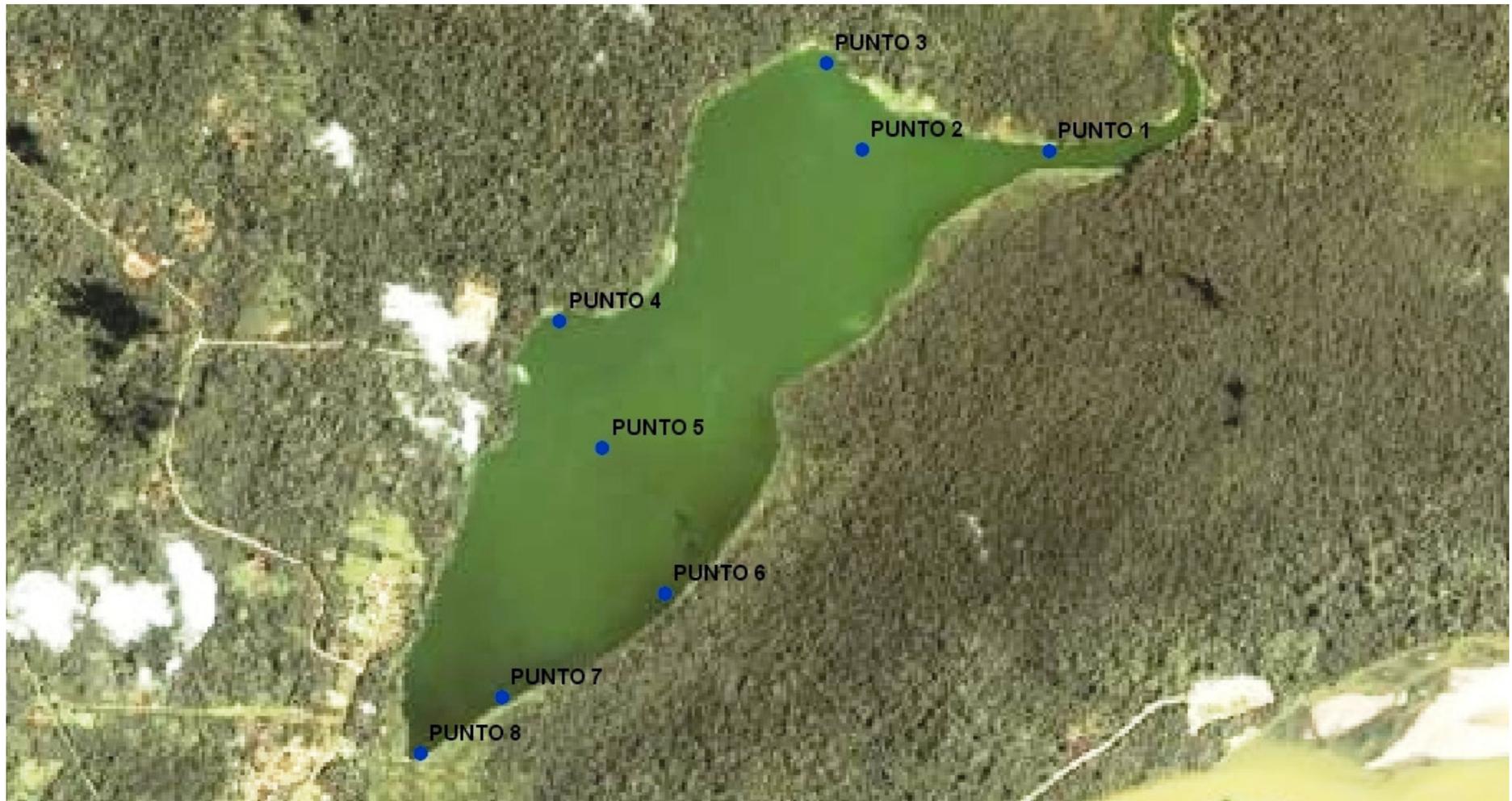


Figura 1: Puntos de Muestreo en la Laguna de Limoncocha

Fuente: Imagen adaptada de Google Earth, 2003

3.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Para la recolección de las muestras en cada punto de la laguna se utilizaron ocho envases plásticos de dos litros. Cada envase fue rotulado e identificado, además fueron cubiertos con papel aluminio y cinta adhesiva para evitar que la luz incida con el contenido del envase.

En cada punto se recolectó una muestra compuesta, es decir una muestra con agua superficial y agua tomada a 50 cm de profundidad.

La muestra superficial se la realizó utilizando una jarra plástica, mientras que para el agua recolectada a medio metro de profundidad se utilizó un muestreador de agua tipo Van Dorn de dos litros de capacidad.

La técnica aplicada utilizando el muestreador tipo Van Dorn se describe a continuación:

- Se sumergió el muestreador con las dos tapas de los extremos abiertas hasta una profundidad de 50 cm.
- Se dejó caer el mensajero para que cierre las tapas y recolecte la muestra a la profundidad determinada.
- Se guarda las muestras en cada envase que contenía el agua superficial.

3.3. MEDICIÓN DE LA TRANSPARENCIA

Los datos para la transparencia de la laguna fueron tomados en cada punto mediante la utilización del disco Secchi.

Del lado sombreado de la lancha se realizó la observación vertical del disco de dos formas, obteniendo dos datos en cada punto de medición:

1. Se sumergió el disco a una profundidad hasta que se lo deje de observar.
2. Se sumergió totalmente el disco y luego se lo subió hasta que reaparezca y pueda ser observado.

Después de cada observación se midió la profundidad, en metros, a la que fue observado el disco.

3.4. MEDICIÓN DE PARAMETROS “IN SITU”

Una vez recolectada la muestra de cada punto se analizaron en el sitio de muestreo los siguientes parámetros:

- Temperatura (°C)
- pH
- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Sólidos Disueltos Totales, TDS (mg/L)

Para la medición se utilizó un potenciómetro/conductivímetro digital marca Thermo Scientific, modelo Orion-5-star.

3.5. ANÁLISIS DE MUESTRAS

Cada muestra recolectada fue llevada inmediatamente al laboratorio donde se procedió al análisis de los siguientes parámetros:

- Clorofila *a*
- Fósforo Total

Los métodos y equipos utilizados para el análisis de las muestras son:

Cuadro 2: Métodos de Análisis

PARÁMETROS	EQUIPO	MÉTODO
Clorofila <i>a</i>	Espectrofotómetro UV- visible HACH DR 2800	Longitud de onda múltiple
Fósforo Total	Digestor HACH DRB 200	150°C- 30 minutos
	Espectrofotómetro UV- visible HACH DR 2800	Fósforo reactivo

3.5.1. Determinación de Clorofila *a*

- **Filtración de las muestras**

Para la determinación de la clorofila *a* se filtraron 500 ml de cada muestra utilizando una bomba al vacío y filtros de fibra de vidrio. Una vez filtrada el agua se añadió acetona al 90% + carbonato de magnesio y se maceraron los filtros que contenían la muestra.

Se colocaron los extractos obtenidos en diferentes tubos de ensayo y se los llevó a refrigeración a 4 °C por un mínimo dos horas.

- **Análisis Espectrofotométrico**

A continuación se analizaron las muestras en el espectrofotómetro para obtener los datos de longitud de onda a 664, 665 y 750 nm. Se realizó una lectura sin ácido clorhídrico y otra después de añadir 0,3 ml del ácido.

- **Cálculo de Clorofila *a***

De las dos lecturas obtenidas se realizaron correcciones para la longitud de onda a 664 nm y 665 nm y a partir de los datos corregidos se calculó la clorofila *a* empleando la siguiente fórmula según Hach Company (2003):

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg/L)} = \{26,7 (664b - 665a) * V1\} / V2 \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

26,7 = Valor de corrección de absorbancia

664b = Corrección de la lectura antes de la acidificación (664 sin ácido clorhídrico – 750 sin ácido clorhídrico).

665a = Corrección de la lectura después de la acidificación (665 con ácido clorhídrico – 750 con ácido clorhídrico).

V1 = Volumen del extracto en litros.

V2 = Volumen de la muestra filtrada en litros.

3.5.2. Determinación de Fósforo Total

La determinación del fósforo total se realizó el día siguiente a la recolección. Las muestras fueron colocadas en refrigeración a 4 °C hasta su análisis.

- **Digestión de las muestras**

Se realiza la digestión de las muestras para transformar los compuestos de fosfatos presentes en forma orgánica e inorgánica a ortofosfatos. Mediante el proceso de adición de ácido y el calentamiento de la muestra se puede conseguir la transformación a fosfatos para su posterior análisis. El procedimiento fue el siguiente:

- Se obtuvo 5ml de cada una de las muestras.
- A cada muestra se añadió 1 ml de “disolución ácida fuerte”.
- Luego se añadió persulfato de potasio y se mezcló completamente.
- Se realizó la digestión de las muestras a una temperatura de 150 °C durante 30 minutos.
- Finalmente se deja enfriar las muestras a temperatura ambiente.

- **Análisis Espectrofotométrico**

Una vez realizada la digestión de las muestras se procede al análisis de fósforo en el espectrofotómetro con el programa 490 P. react. PV usando el siguiente procedimiento:

- Se añadió a cada muestra 2 ml de hidróxido de sodio 1,5N.
- Se colocaron las muestras en celdas de 25 ml y se agregó agua destilada hasta 25 ml.
- Se añadió el reactivo PhosVer 3.
- Luego de 2 minutos se realizó la lectura en el espectrofotómetro, en mg /L PO_4^{3-}

Los datos obtenidos como fosfatos (PO_4^{3-}) se los convirtió a fósforo total (PT) multiplicando por el factor 0,326 el cual se obtiene de la relación estequiométrica: 30,98 (P)/ 94,98 (PO_4^{3-}).

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS

El proceso de eutroficación es considerado un fenómeno multidimensional y no se lo puede determinar utilizando un único parámetro. El Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr. es el más utilizado para cuerpos de agua cálidos. Relaciona la concentración de fósforo total, la cantidad de clorofila a y la transparencia del agua para evaluar la situación trófica del ecosistema (Rocha, 2006).

Es por esta razón que en el presente estudio, para determinar el estado trófico actual de la laguna de Limoncocha se emplean las fórmulas del IET_M correspondientes a los tres parámetros mencionados anteriormente.

3.6.1. Índice de Estado Trófico Modificado para la Transparencia

Se calculó el promedio de los dos datos obtenidos de profundidad (Tra) de la observación del disco Secchi en cada punto, empleando la ecuación (4).

3.6.2. Índice de Estado Trófico Modificado para la Clorofila a

Los datos de clorofila a previamente calculados en mg/L fueron transformados a $\mu\text{g/L}$ para poder emplear la fórmula y calcular el estado trófico con clorofila a mediante la ecuación (5).

3.6.3. Índice de Estado Trófico Modificado para el Fósforo Total

Con los datos ya convertidos a fósforo total en $\mu\text{g/L}$ se aplicó la ecuación (6).

Finalmente para determinar el estado trófico se realizó un promedio de los tres índices: Transparencia, Clorofila a , y Fósforo Total. El promedio se lo hizo para cada punto de la laguna y para cada mes de muestreo:

$$IET_M = [IET_M (\text{Tra}) + IET_M (\text{Cl } a) + IET_M (\text{PT})]/3 \quad \text{Ecuación (8)}$$

Los datos obtenidos fueron comparados con la clasificación que posee el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M):

Cuadro 3: Clasificación de Acuerdo al Nivel Trófico (IET_M)

ÍNDICE	CLASIFICACIÓN
<45	Oligotrófico
45 – 55	Mesotrófico
> 55	Eutrófico

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE MEDICIONES “IN SITU”

Del Cuadro 4 al Cuadro 11 se muestran los datos recolectados de los parámetros “in situ” de cada punto de muestreo durante las seis jornadas de trabajo.

Cuadro 4: Punto 1

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	30,1	27,3	28,6	32,5	29,1	26,8
pH		9,07	9,30	8,90	8,02	7,84	6,28
Conductividad	μS/cm	109,0	84,8	90,7	83,4	74,8	83,9
TDS	mg/L	57,6	44,7	47,9	43,6	39,3	44,2

Cuadro 5: Punto 2

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	30,2	26,1	28,6	32,3	30,0	26,4
pH		8,93	9,00	8,73	8,12	7,66	6,71
Conductividad	μS/cm	103,0	86,0	88,3	101,5	55,1	80,9
TDS	mg/L	54,4	45,3	46,6	48,9	28,8	42,6

Cuadro 6: Punto 3

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	29,6	27,5	28,4	33,6	31,7	26,4
pH		8,91	9,40	8,83	8,12	7,44	6,53
Conductividad	μS/cm	105,9	84,9	89,4	94,2	56,0	81,2
TDS	mg/L	55,9	44,7	47,1	49,7	29,3	42,7

Cuadro 7: Punto 4

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	30,0	25,8	28,1	33,7	30,6	27,7
pH		9,15	8,82	8,39	8,01	6,96	7,55
Conductividad	μS/cm	107,9	92,0	89,9	98,3	64,5	76,2
TDS	mg/L	57,0	48,5	47,3	51,9	33,1	40,1

Cuadro 8: Punto 5

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	30,1	25,8	28,3	30,0	30,5	27,9
pH		8,71	8,84	8,89	8,32	7,02	7,63
Conductividad	μS/cm	108,7	86,3	89,0	97,6	78,0	75,4
TDS	mg/L	57,4	45,5	46,9	51,5	41,1	39,7

Cuadro 9: Punto 6

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	29,1	25,6	28,7	29,0	31,4	27,7
pH		8,47	9,05	8,58	7,38	7,34	6,82
Conductividad	μS/cm	100,8	85,5	85,1	99,6	74,5	73,2
TDS	mg/L	53,2	45,0	44,8	49,0	39,1	38,5

Cuadro 10: Punto 7

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	29,2	25,2	28,7	31,6	31,1	27,9
pH		8,98	8,64	8,92	8,15	7,58	6,62
Conductividad	μS/cm	103,9	86,8	86,8	91,5	72,0	73,1
TDS	mg/L	54,9	45,8	45,7	48,3	37,8	38,4

Cuadro 11: Punto 8

Parámetros	Unidades	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Temperatura	°C	29,6	25,1	28,5	33,2	30,8	27,9
pH		8,80	8,67	9,01	8,12	7,66	6,40
Conductividad	μS/cm	102,7	87,3	88,7	94,3	70,3	74,6
TDS	mg/L	54,2	46,0	46,8	49,7	36,9	39,2

4.1.1. Transparencia o Distancia Secchi

El Cuadro 12 contiene el promedio de la transparencia para cada uno de los puntos de muestreo durante las seis jornadas de trabajo.

Cuadro 12: Puntos de Medición

PUNTOS	Promedio (m)	FECHA DE MUESTREO					
		19/02/10	20/03/10	23/04/10	29/05/10	18/06/10	08/07/10
Punto 1		0,47	0,37	0,38	0,40	0,63	0,46
Punto 2		0,45	0,37	0,33	0,40	0,63	0,48
Punto 3		0,38	0,36	0,38	0,43	0,68	0,49
Punto 4		0,39	0,33	0,39	0,40	0,70	0,52
Punto 5		0,37	0,33	0,37	0,42	0,61	0,45
Punto 6		0,35	0,32	0,38	0,41	0,54	0,51
Punto 7		0,41	0,30	0,39	0,42	0,61	0,62
Punto 8		0,40	0,32	0,39	0,39	0,63	0,68

4.2. DATOS Y CÁLCULOS DE LABORATORIO

4.2.1. Clorofila *a*

Del Cuadro 13 al Cuadro 20 se encuentran los datos obtenidos del volumen del extracto, de la longitud de onda a 664 b y de la longitud de onda a 665a aplicados en la ecuación (7) para el cálculo de la clorofila *a* de cada muestra durante las seis jornadas de trabajo. Los cálculos indican que las concentraciones de clorofila *a* obtenidas en cada muestra son elevadas.

Cuadro 13: Muestra 1

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,003	0,076	0,083	ND	ND
21/03/10	0,005	0,406	0,263	0,039	39
24/04/10	0,004	0,229	0,150	0,017	17
30/05/10	0,004	0,329	0,207	0,026	26
19/06/10	0,005	0,142	0,099	0,011	11
09/07/10	0,004	0,365	0,255	0,026	26

ND: No Detectable por el método utilizado.

Cuadro 14: Muestra 2

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,007	0,209	0,135	0,025	25
21/03/10	0,004	0,382	0,251	0,030	30
24/04/10	0,003	0,340	0,219	0,019	19
30/05/10	0,005	0,404	0,357	0,013	13
19/06/10	0,003	0,106	0,088	0,003	3
09/07/10	0,004	0,266	0,245	0,005	5

Cuadro 15: Muestra 3

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,003	0,219	0,011	0,011	11
21/03/10	0,005	0,310	0,197	0,030	30
24/04/10	0,007	0,335	0,218	0,044	44
30/05/10	0,004	0,266	0,169	0,022	22
19/06/10	0,004	0,187	0,153	0,008	8
09/07/10	0,004	0,555	0,347	0,046	46

Cuadro 16: Muestra 4

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,003	0,148	0,028	0,019	19
21/03/10	0,005	0,398	0,267	0,035	35
24/04/10	0,006	0,396	0,266	0,042	42
30/05/10	0,003	0,305	0,269	0,006	6
19/06/10	0,004	0,217	0,166	0,013	13
09/07/10	0,004	0,095	0,075	0,004	4

Cuadro 17: Muestra 5

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,003	0,217	0,101	0,019	19
21/03/10	0,005	0,607	0,401	0,055	55
24/04/10	0,005	0,318	0,208	0,029	29
30/05/10	0,004	0,395	0,249	0,033	33
19/06/10	0,004	0,119	0,087	0,007	7
09/07/10	0,005	0,406	0,278	0,038	38

Cuadro 18: Muestra 6

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,005	0,223	0,116	0,029	29
21/03/10	0,006	0,444	0,296	0,047	47
24/04/10	0,005	0,410	0,272	0,037	37
30/05/10	0,003	0,384	0,244	0,027	27
19/06/10	0,003	0,148	0,134	0,003	3
09/07/10	0,003	0,127	0,081	0,009	9

Cuadro 19: Muestra 7

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,003	0,191	0,091	0,016	16
21/03/10	0,006	0,621	0,418	0,069	69
24/04/10	0,005	0,289	0,19	0,029	29
30/05/10	0,004	0,296	0,19	0,025	25
19/06/10	0,005	0,201	0,136	0,017	17
09/07/10	0,003	0,152	0,104	0,009	9

Cuadro 20: Muestra 8

FECHA DE MEDICIÓN	Volumen Extracto (L)	Longitud de onda a 664b	Longitud de onda a 665a	Clorofila <i>a</i> (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
20/02/10	0,006	0,193	0,087	0,034	34
21/03/10	0,005	0,564	0,391	0,050	50
24/04/10	0,005	0,345	0,247	0,029	29
30/05/10	0,004	0,340	0,225	0,025	25
19/06/10	0,004	0,188	0,128	0,013	13
09/07/10	0,003	0,103	0,093	0,002	2

4.2.2. Fósforo Total

Del Cuadro 21 al Cuadro 28 se encuentran los datos obtenidos del análisis de fósforo medido como fosfato y los datos transformados a fósforo total de cada muestra durante las seis jornadas de trabajo.

Cuadro 21: Muestra 1

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,01	10	3
21/03/10	0,06	60	20
24/04/10	0,04	35	11
30/05/10	0,14	140	46
19/06/10	0,17	165	54
09/07/10	0,15	145	47

Cuadro 22: Muestra 2

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,03	25	8
21/03/10	0,04	40	13
24/04/10	0,06	60	20
30/05/10	0,10	100	33
19/06/10	0,13	125	41
09/07/10	0,13	125	41

Cuadro 23: Muestra 3

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,08	75	24
21/03/10	0,04	35	11
24/04/10	0,10	95	31
30/05/10	0,10	100	33
19/06/10	0,21	210	68
09/07/10	0,22	215	70

Cuadro 24: Muestra 4

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,15	145	47
21/03/10	0,04	40	13
24/04/10	0,05	50	16
30/05/10	0,02	15	5
19/06/10	0,13	130	42
09/07/10	0,14	140	46

Cuadro 25: Muestra 5

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,14	140	46
21/03/10	0,03	25	8
24/04/10	0,06	60	20
30/05/10	0,05	50	16
19/06/10	0,22	215	70
09/07/10	0,21	205	67

Cuadro 26: Muestra 6

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,16	155	51
21/03/10	0,03	30	10
24/04/10	0,09	90	29
30/05/10	0,08	75	24
19/06/10	0,13	125	41
09/07/10	0,13	125	41

Cuadro 27: Muestra 7

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,08	80	26
21/03/10	0,02	20	7
24/04/10	0,12	115	38
30/05/10	0,09	90	29
19/06/10	0,22	220	72
09/07/10	0,21	210	68

Cuadro 28: Muestra 8

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo (mg/L PO₄³⁻)	Fósforo (µg/L PO₄³⁻)	Fósforo Total (µg/L P)
20/02/10	0,17	170	55
21/03/10	0,01	10	3
24/04/10	0,08	80	26
30/05/10	0,10	95	31
19/06/10	0,13	130	42
09/07/10	0,13	125	41

4.3. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO MODIFICADO (IET_M)

Del Cuadro 29 hasta el Cuadro 36 se muestran los datos obtenidos del cálculo del Índice de Estado Trófico Modificado para la transparencia IET_M (Tra), para la clorofila *a* IET_M (Cla) y para el fósforo total IET_M (PT), además mediante la aplicación de la ecuación (8) se obtuvo el promedio de los tres índices (IET_M) para cada punto durante los seis meses de muestreo.

En el Cuadro 37 se muestran los promedios del Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) para cada punto de muestreo, mientras que en el Cuadro 38 se muestran los promedios del Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) para cada mes de muestreo.

Cuadro 29: Punto 1

MES	IET _M (Tra)	IET _M (Cla)	IET _M (PT)	IET _M
Febrero	62	ND	14	38
Marzo	65	67	40	57
Abril	65	59	32	52
Mayo	64	63	52	60
Junio	58	55	54	56
Julio	62	63	52	59

ND: No Detectable

Cuadro 30: Punto 2

MES	IET _M (Tra)	IET _M (Cla)	IET _M (PT)	IET _M
Febrero	62	63	27	51
Marzo	65	65	34	55
Abril	67	60	40	56
Mayo	64	56	47	56
Junio	58	43	50	50
Julio	61	47	50	53

Cuadro 31: Punto 3

MES	IET_M (Tra)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M
Febrero	65	55	43	54
Marzo	66	65	32	54
Abril	65	68	46	60
Mayo	63	61	47	57
Junio	56	52	58	55
Julio	61	69	58	63

Cuadro 32: Punto 4

MES	IET_M (Tra)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M
Febrero	64	60	52	59
Marzo	67	66	34	56
Abril	65	68	37	56
Mayo	64	48	20	44
Junio	56	57	51	54
Julio	60	45	52	52

Cuadro 33: Punto 5

MES	IET_M (Tra)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M
Febrero	65	60	52	59
Marzo	67	71	27	55
Abril	65	64	40	56
Mayo	63	66	37	55
Junio	58	51	58	55
Julio	62	67	57	62

Cuadro 34: Punto 6

MES	IET_M (Tra)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M
Febrero	66	64	53	61
Marzo	67	69	30	55
Abril	65	67	45	59
Mayo	64	64	43	57
Junio	60	40	50	50
Julio	60	52	50	54

Cuadro 35: Punto 7

MES	IET_M (Tra)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M
Febrero	64	58	44	55
Marzo	68	73	24	55
Abril	64	64	49	59
Mayo	63	63	45	57
Junio	58	59	58	59
Julio	58	53	58	56

Cuadro 36: Punto 8

MES	IET_M (Tra)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M
Febrero	64	66	55	62
Marzo	67	70	14	50
Abril	65	64	44	58
Mayo	64	63	46	58
Junio	58	57	51	55
Julio	56	37	50	48

Cuadro 37: Promedio de cada Punto de Muestreo

PUNTOS	IET_M
P1	54
P2	53
P3	57
P4	54
P5	57
P6	56
P7	57
P8	55

Cuadro 38: Promedio Mensual de todos los Puntos de Muestreo

MES	IET_M
Febrero	55
Marzo	55
Abril	57
Mayo	55
Junio	54
Julio	56

4.4. GRÁFICOS Y DISCUSIÓN

4.4.1. Parámetros “In Situ”

- Temperatura

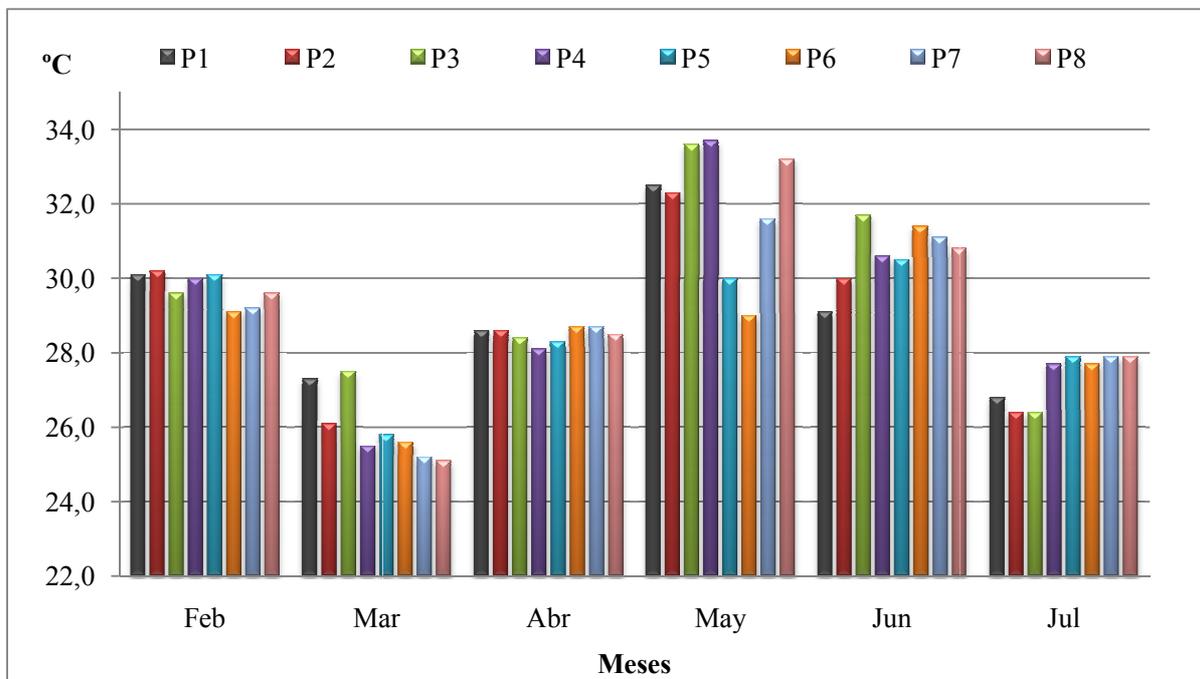


Gráfico 1: Evolución Mensual de cada Punto de Muestreo

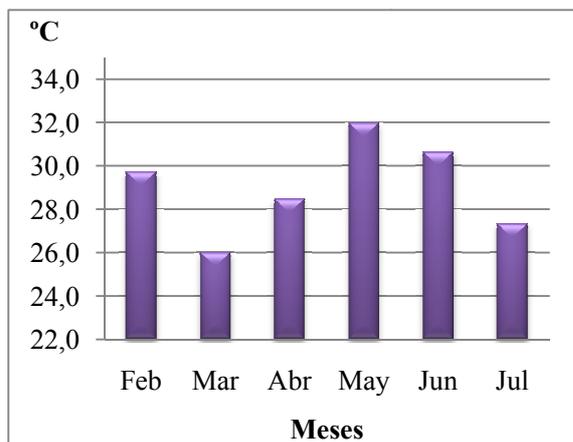


Gráfico 2: Promedios Mensuales

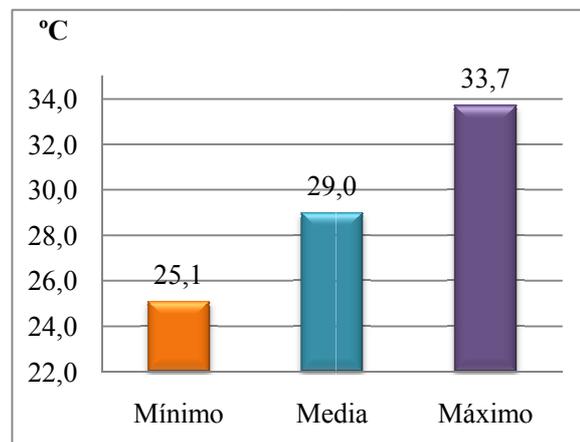


Gráfico 3: Valores Estadísticos

De acuerdo con los datos recolectados, la laguna de Limoncocha presenta un aumento de la temperatura durante el mes de mayo con un valor promedio de 32,0 °C, los puntos P3 y P4 muestran los valores más altos durante este mes. Mientras que el mes de marzo es el que menor temperatura presenta con un valor promedio de 26,0 °C, en este mes los puntos P7 y P8

muestran los valores más bajo. La media obtenida es de 29,0 °C, un valor mínimo de 25,1 °C y un máximo de 33,7 °C.

- pH

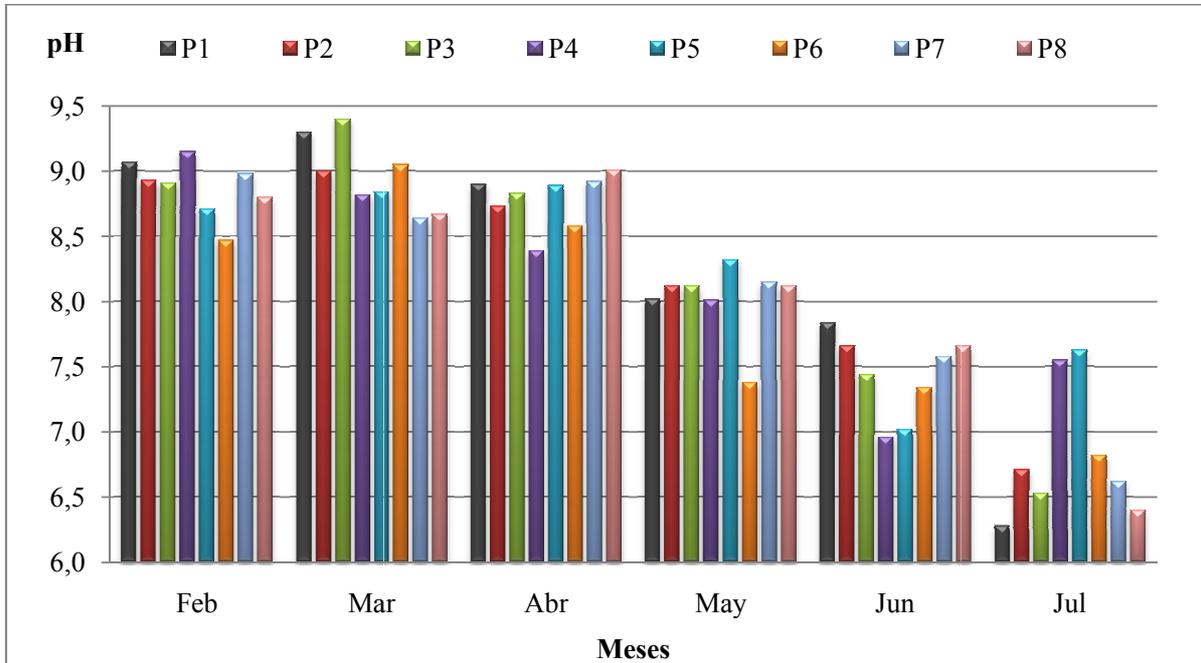


Gráfico 4: Evolución Mensual de cada Punto de Muestreo

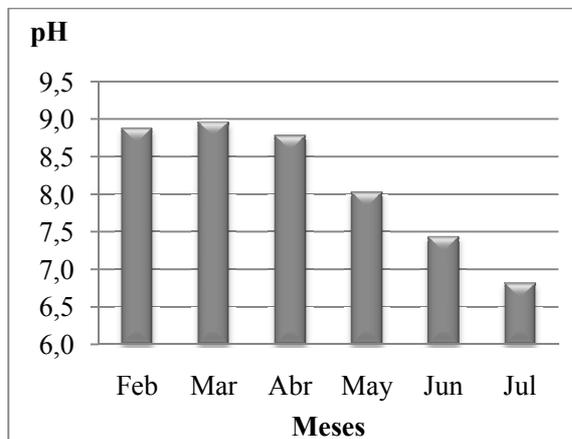


Gráfico 5: Promedios Mensuales

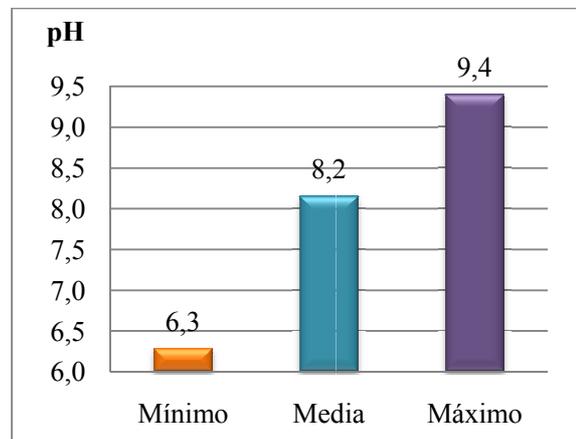


Gráfico 6: Valores Estadísticos

Los meses de febrero y marzo presentan los pH más básicos de 8,9 y 9,0 respectivamente, en el mes de febrero el punto P4 muestra el pH más básico, mientras que en el mes de marzo el valor más básico está en el punto P3. El pH disminuye en los meses de junio y julio a 7,4 y 6,8 respectivamente, el punto que posee el pH más bajo en el mes de junio es el P4, mientras

que en el mes de julio es el P1. En general la laguna presenta características básicas, con una media de 8,2, un mínimo de 6,3 y un máximo de 9,4.

La ligera acidificación que demostró la laguna de Limoncocha durante el mes de julio fue debido a que la noche anterior al muestreo ocurrió una fuerte precipitación. Por efecto de la lluvia el CO₂ que se encuentra en la atmósfera se disuelve y se incorpora al agua formando ácido carbónico (H₂CO₃), con lo cual el pH de la laguna se vuelve ácido.

- **Conductividad**

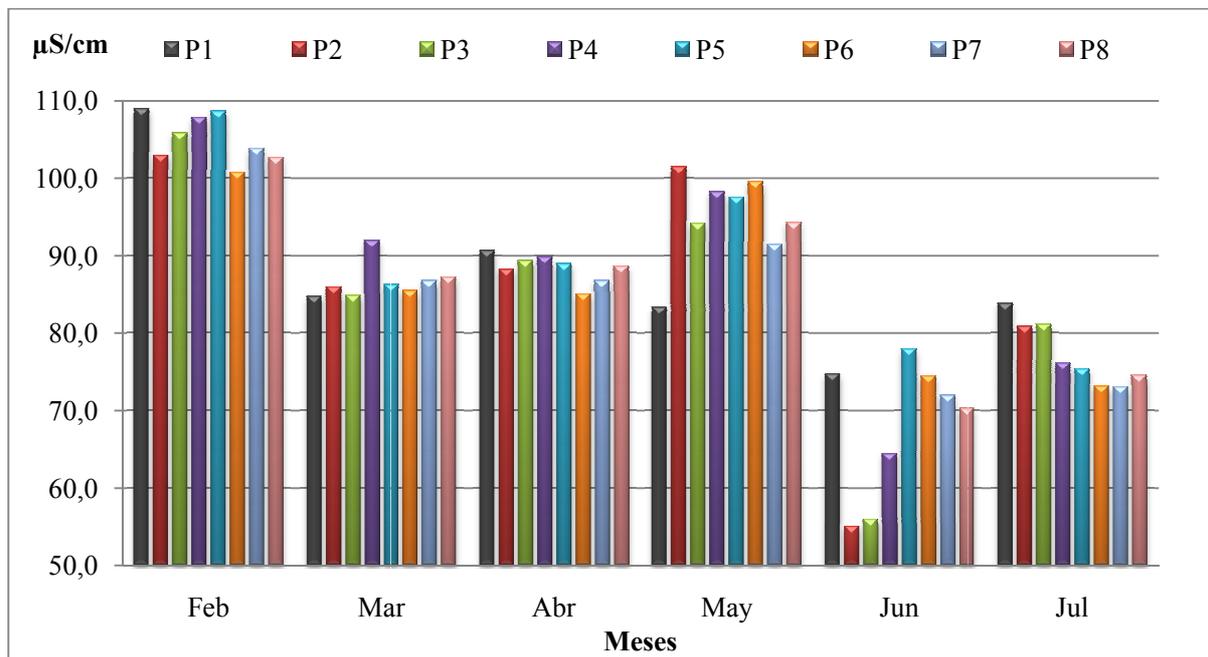


Gráfico 7: Evolución Mensual de cada Punto de Muestreo

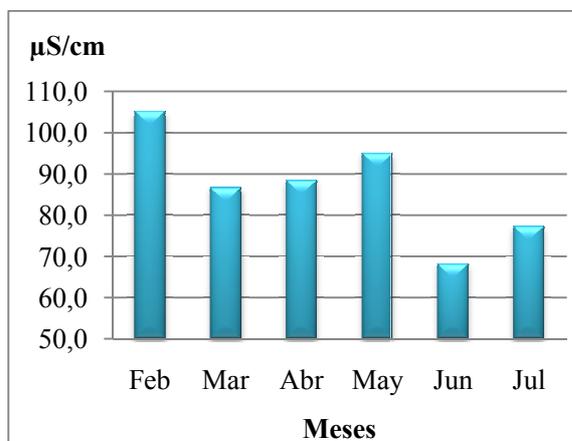


Gráfico 8: Promedios Mensuales

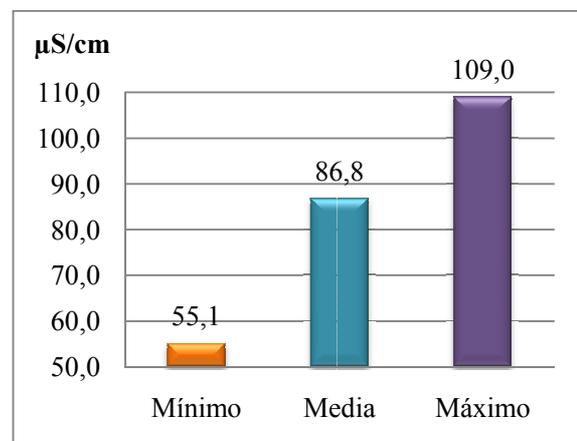


Gráfico 9: Valores Estadísticos

- **Sólidos Disueltos Totales**

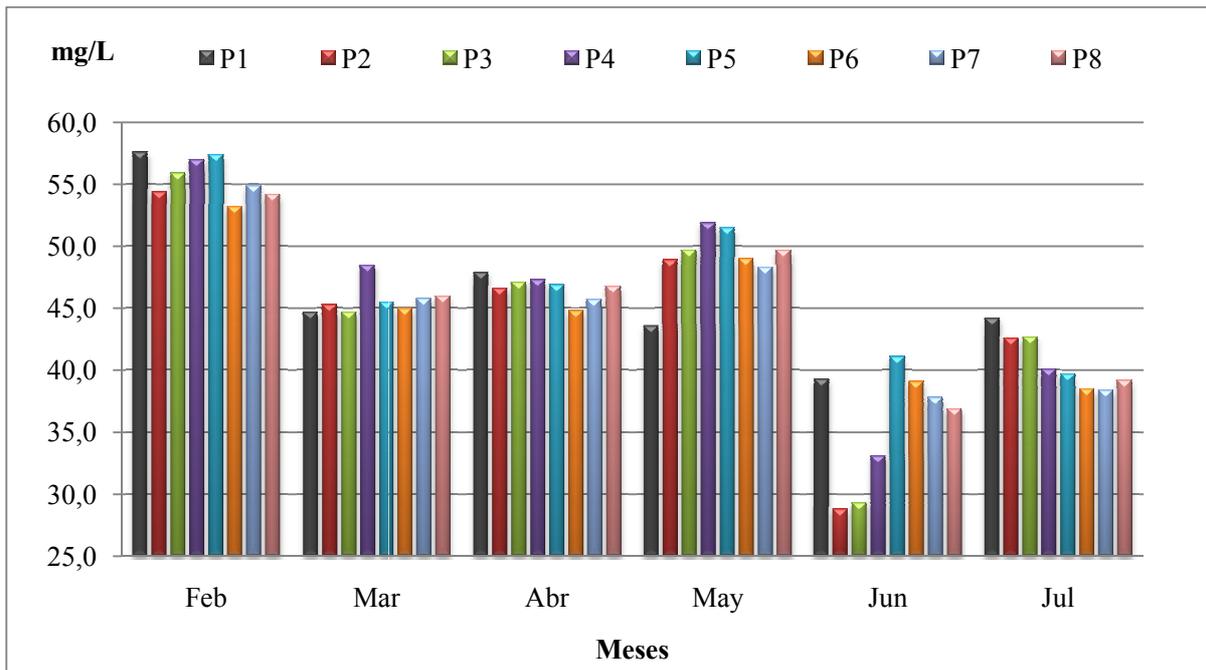


Gráfico 10: Evolución Mensual de cada Punto de Muestreo

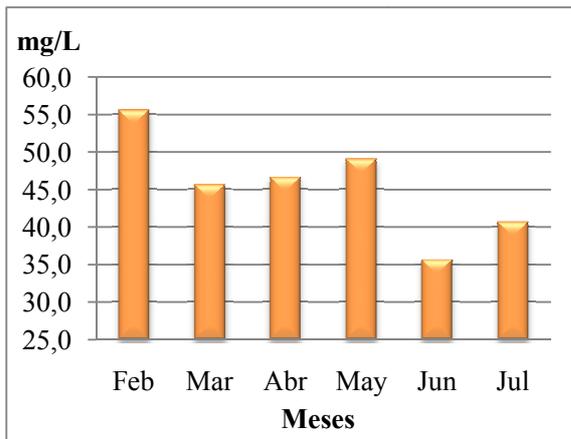


Gráfico 11: Promedios Mensuales

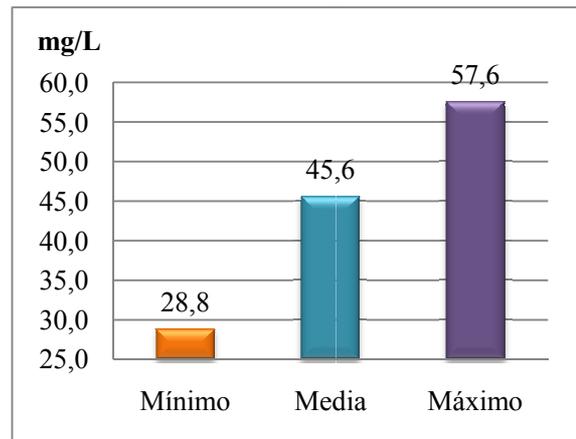


Gráfico 12: Valores Estadísticos

En cuanto a la concentración de conductividad y sólidos disueltos totales el mes que presenta los mayores valores es febrero con un promedio de 105,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 55,6 mg/L respectivamente, donde el punto que muestra los valores más altos es el punto P1. En los meses de junio y julio la concentración de conductividad y sólidos disueltos totales disminuye, 68,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en junio y 77,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en julio para la conductividad y 35,7 mg/L en junio y 40,7 mg/L en julio para los sólidos disueltos totales. Los puntos que presentan los valores más bajos son P2 y P3 en junio y P6 y P7 en julio.

La media para la conductividad es de 86,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 45,6 mg/L para sólidos disueltos totales, valores mínimos de 55,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 28,8 mg/L, y máximos de 109,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 57,6 mg/L respectivamente.

4.4.2. Transparencia

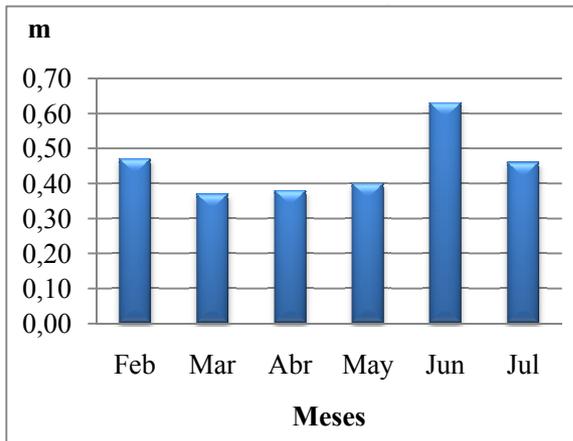


Gráfico 13: Punto 1

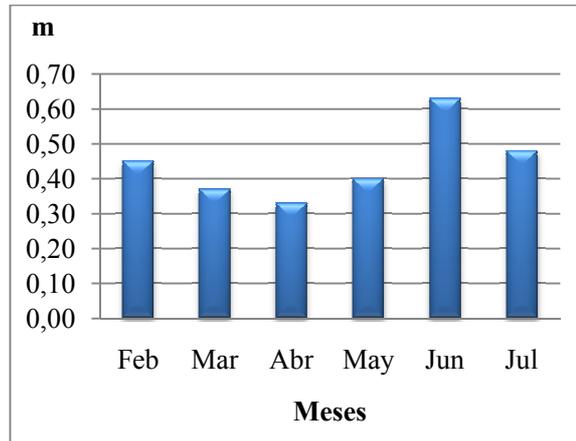


Gráfico 14: Punto 2

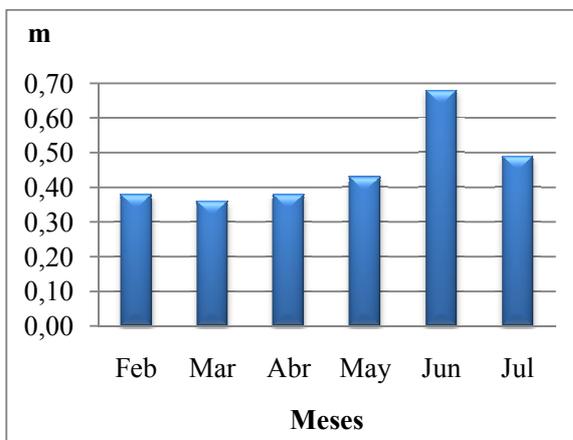


Gráfico 15: Punto 3

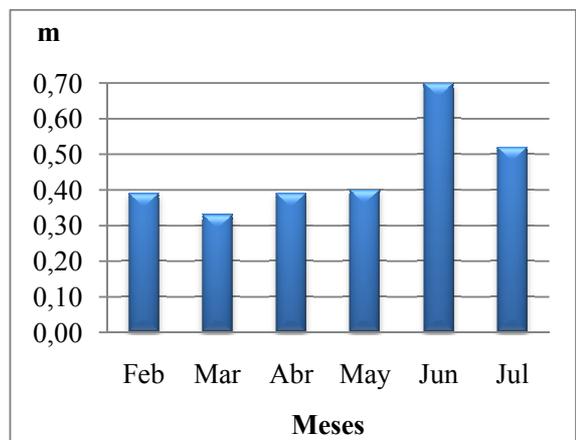


Gráfico 16: Punto 4

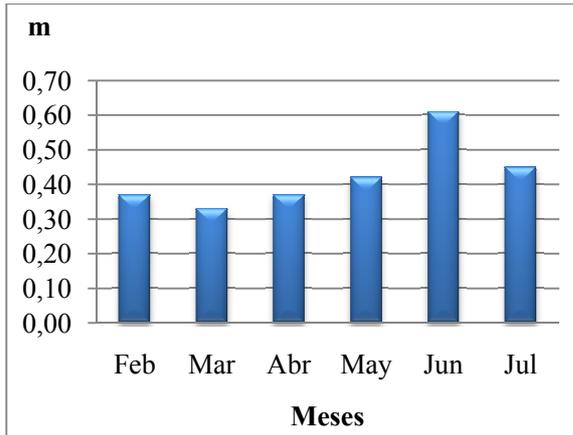


Gráfico 17: Punto 5

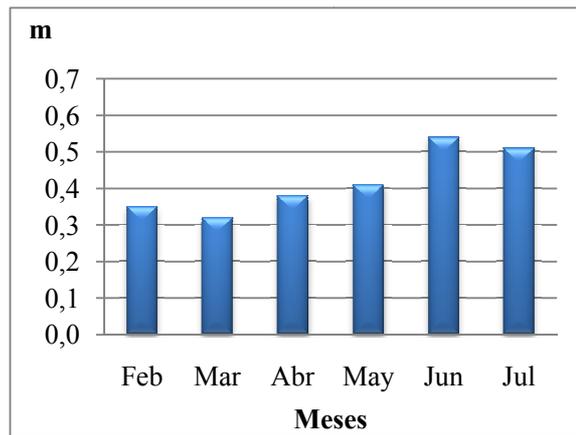


Gráfico 18: Punto 6

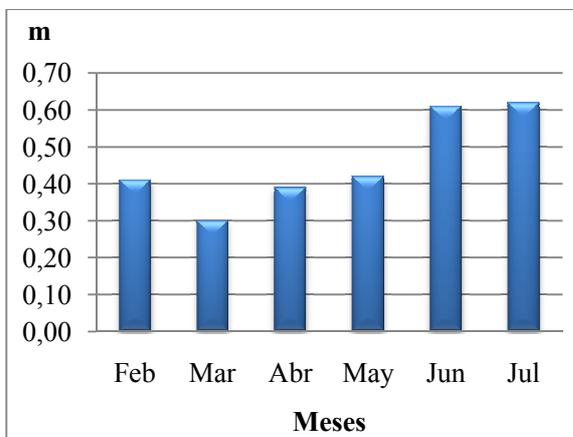


Gráfico 19: Punto 7

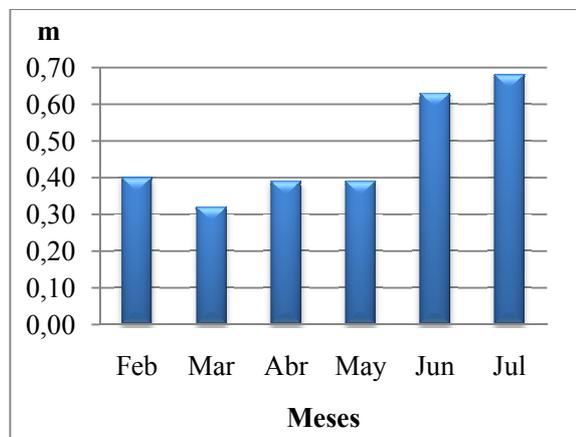


Gráfico 20: Punto 8

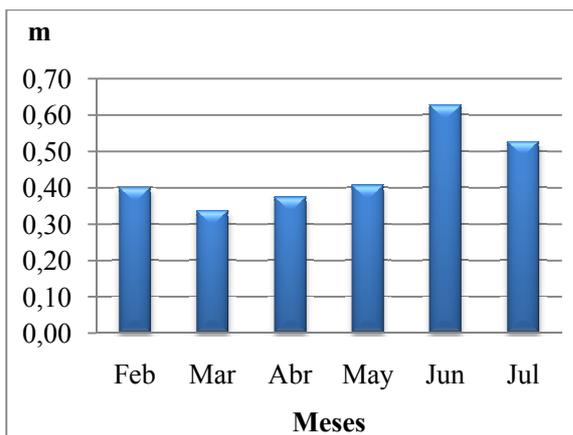


Gráfico 21: Promedios Mensuales

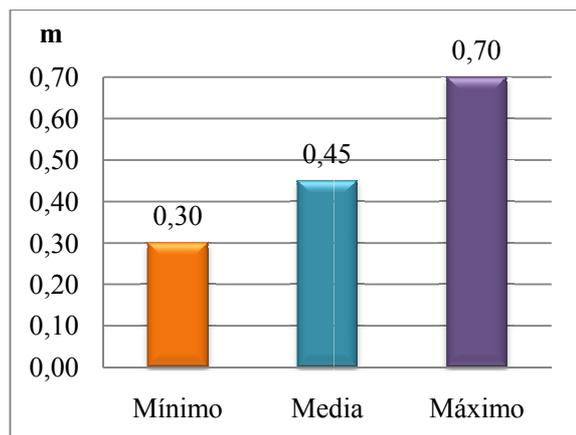


Gráfico 22: Valores Estadísticos

De acuerdo a los Gráficos 13 al 21, los meses en que se pudo observar a mayor profundidad el disco Secchi en cada uno de los puntos de muestreo fueron junio con una medición promedio

de 0,63 m y julio con una medición promedio de 0,53 m, mientras que en el mes de marzo la observación del disco fue menor en todos los puntos de muestreo a excepción del Punto 2 donde la menor observación se registró en el mes de abril. El valor promedio de la transparencia para el mes de marzo fue de 0,34 m. Cabe mencionar que durante la medición correspondiente al mes de junio el agua de la laguna no tenía el color verde que la caracteriza, por el contrario el agua era muy clara, observando una mayor transparencia que la registrada en los demás meses de medición. Según el Gráfico 22 la transparencia de la laguna se encuentra en un rango de 0,30 m a 0,70 m, con una media de 0,45 m.

4.4.3. Clorofila *a*

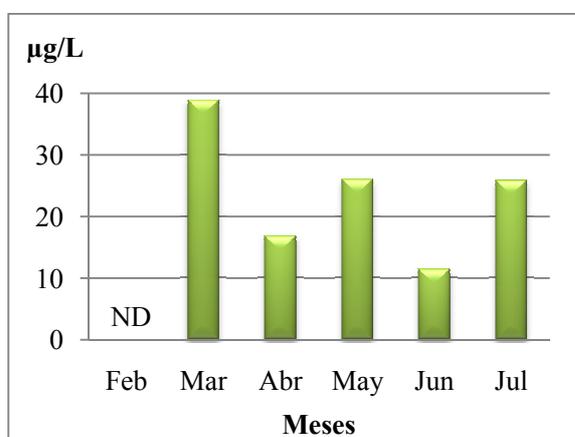


Gráfico 23: Punto 1

ND: No Detectable por el método utilizado.

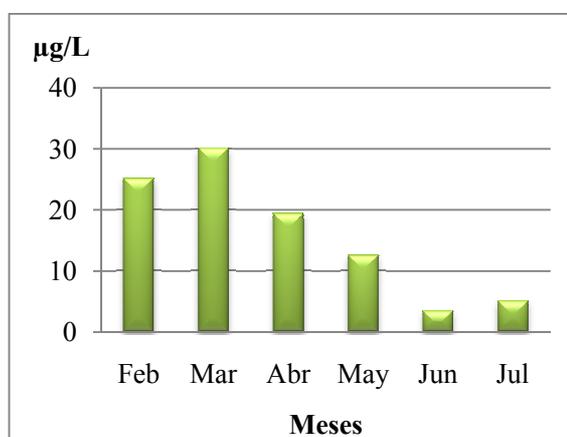


Gráfico 24: Punto 2

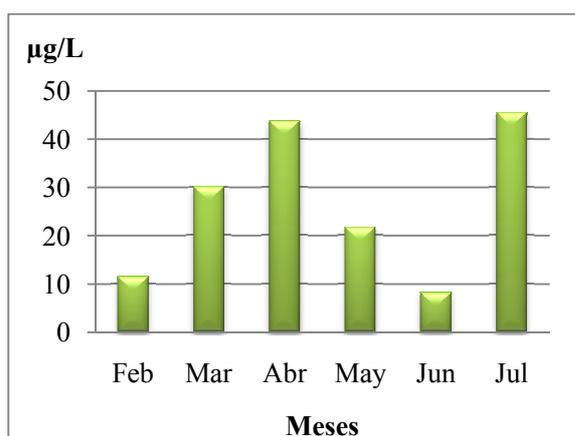


Gráfico 25: Punto 3

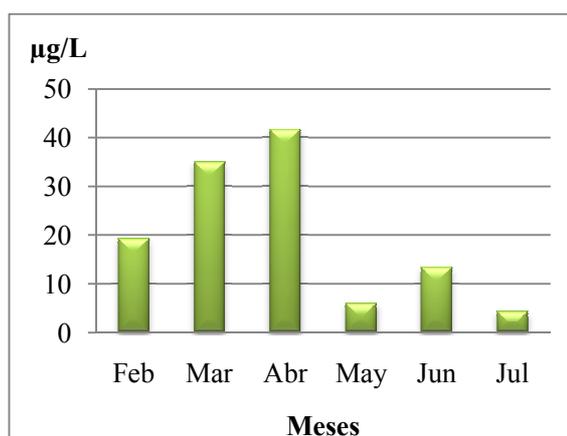


Gráfico 26: Punto 4

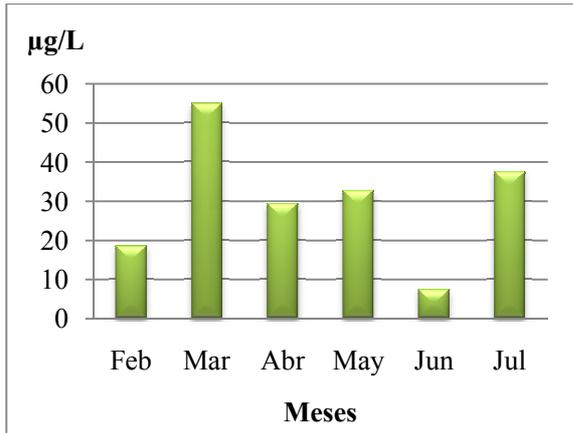


Gráfico 27: Punto 5

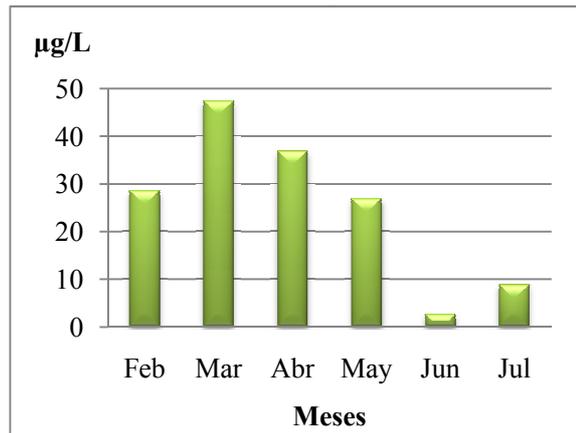


Gráfico 28: Punto 6

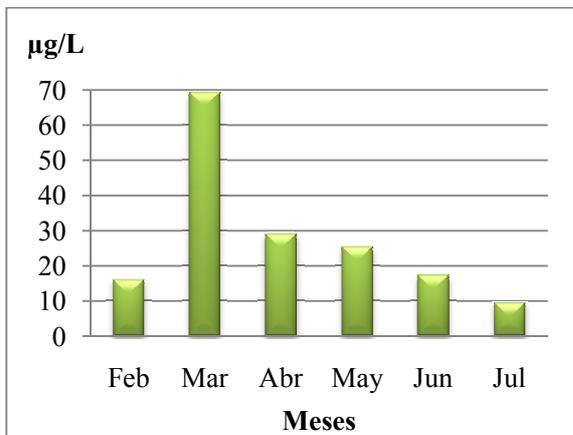


Gráfico 29: Punto 7

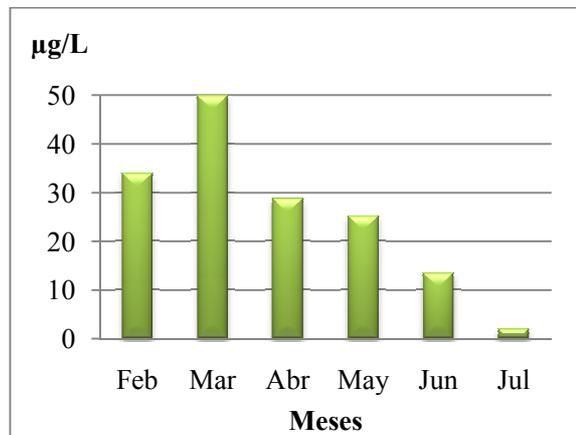


Gráfico 30: Punto 8

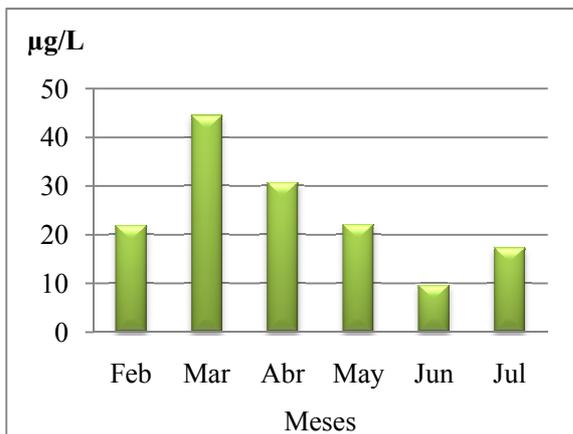


Gráfico 31: Promedios Mensuales

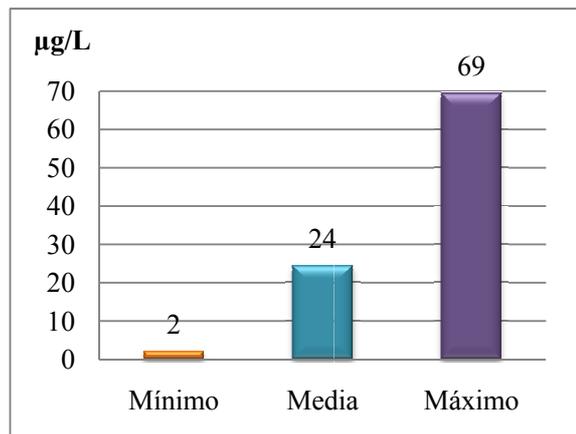


Gráfico 32: Valores Estadísticos

En los Gráficos 23 al 30 se muestra que para los Puntos 1, 2, 5, 6, 7 y 8 la mayor concentración de clorofila *a* se registró en el mes de marzo, para el Punto 3 en el mes de julio y para el Punto 4 en el mes de abril. Mientras que el mes que presentó una menor

concentración de clorofila *a* para los Puntos 1, 2, 3, 5 y 6 fue junio y para los Puntos 4, 7 y 8 fue julio.

De acuerdo al Gráfico 31, en promedio el mes que muestra la mayor concentración de clorofila *a* es marzo con un valor de 44 µg/L, y el mes que presenta menor concentración del pigmento es junio con un valor de 10 µg/L. Esta marcada disminución en el mes de junio se debe a que el agua de la laguna no era de color verde, esto debido a fuertes lluvias sucedidas los días anteriores lo que provocó una mejor mezcla de la masa de agua y una mayor dilución de los componentes presentes en el agua de la laguna. Los valores estadísticos según el Gráfico 32 muestran una media para la clorofila *a* de 24 µg/L, un valor mínimo de 2 µg/L y un máximo de 69 µg/L.

4.4.4. Fósforo Total

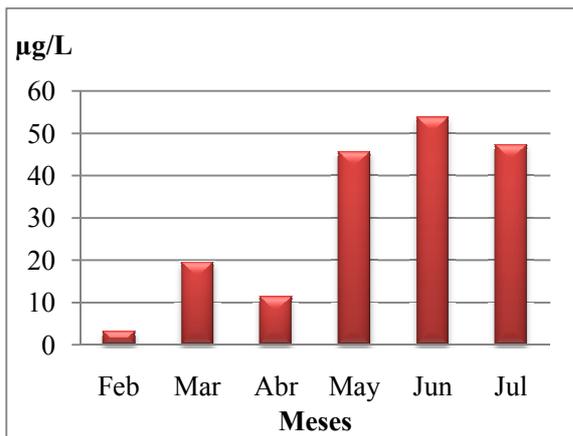


Gráfico 33: Punto 1

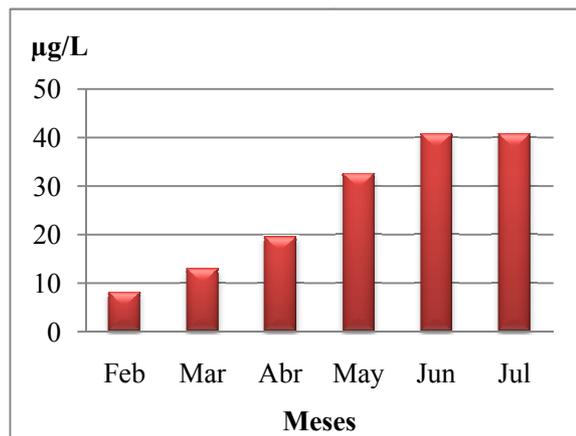


Gráfico 34: Punto 2

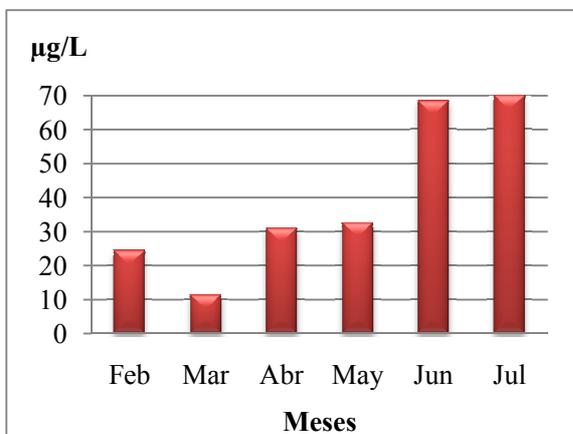


Gráfico 35: Punto 3

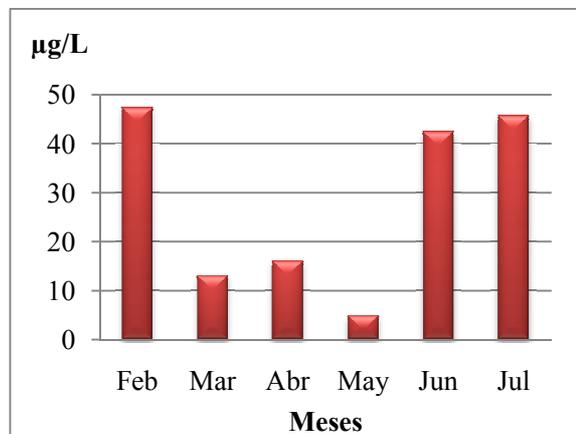


Gráfico 36: Punto 4

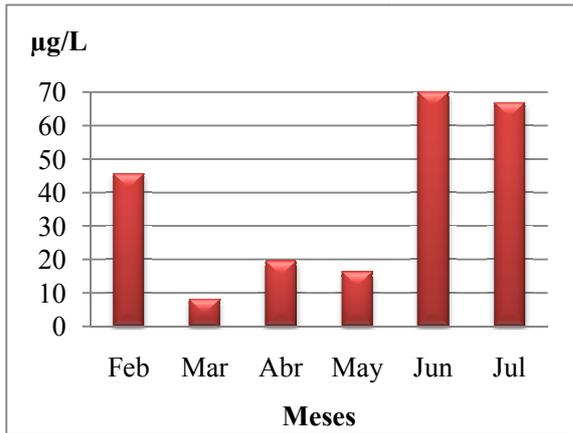


Gráfico 37: Punto 5

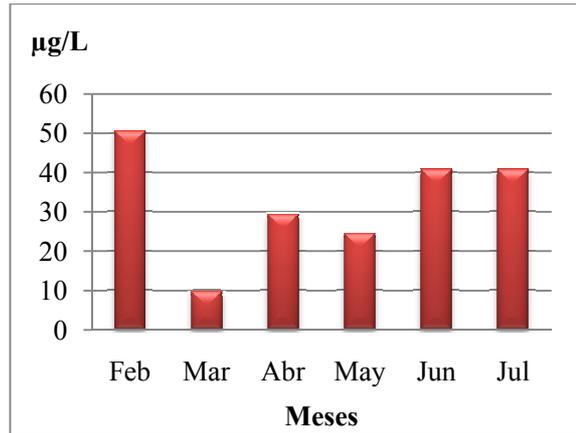


Gráfico 38: Punto 6

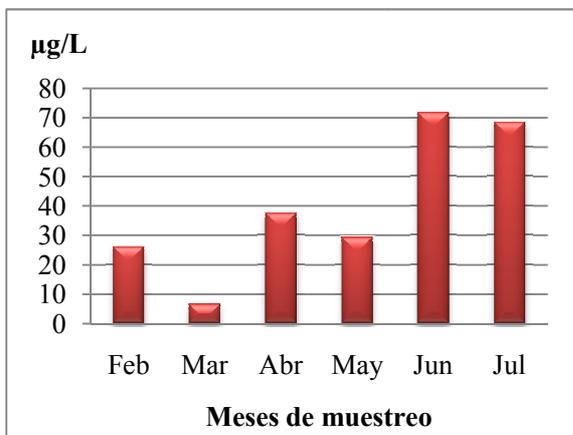


Gráfico 39: Punto 7

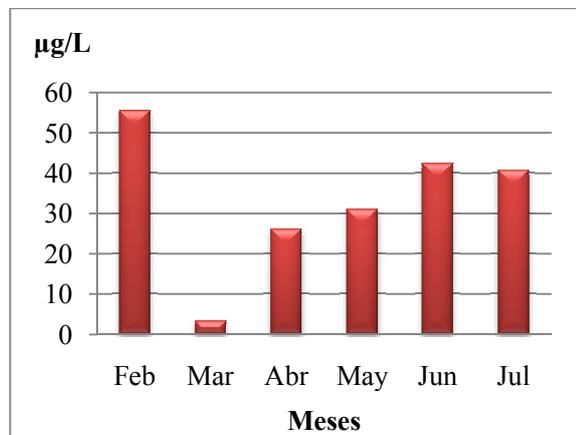


Gráfico 40: Punto 8

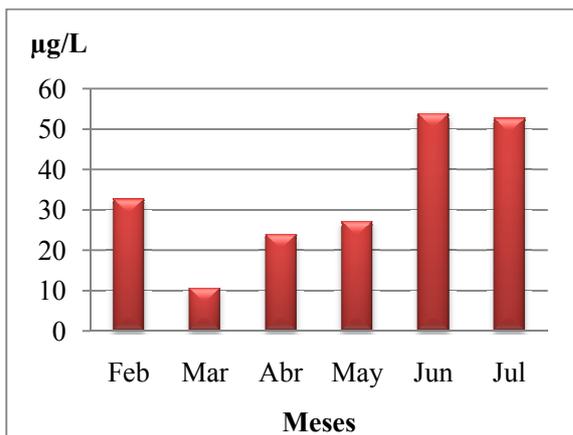


Gráfico 41: Promedios Mensuales

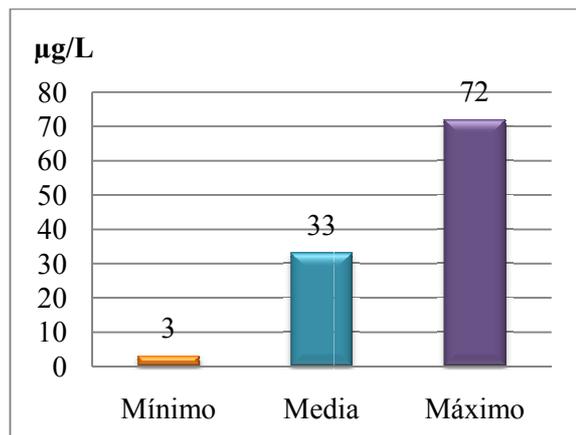


Gráfico 42: Valores Estadísticos

En los Gráficos 33 al 40 se muestra que los Puntos 1, 5 y 7 presentan mayor concentración de fósforo total en el mes de junio, los Puntos 4, 6 y 8 en el mes de febrero, el Punto 3 en el mes

de julio y el Punto 2 en los meses de junio y julio. Mientras que las menores concentraciones de fósforo total para los Puntos 1 y 2 se muestra en el mes de febrero, para los Puntos 3, 5, 6, 7 y 8 en el mes de marzo y para el Punto 4 en el mes de mayo.

En el Gráfico 41 se observan los promedios mensuales de fósforo total durante los seis meses de muestreo. La mayor concentración de fósforo total que posee la laguna es durante los meses de junio y julio con un valor promedio de 54 $\mu\text{g/L}$ y 53 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, mientras que en el mes de marzo la concentración es menor con un valor promedio de 11 $\mu\text{g/L}$. La alta concentración de este elemento durante los meses de junio y julio puede ser efecto de la lluvia que produjo el arrastre de los nutrientes de la orilla de la laguna a la masa de agua y una re-suspensión de los sedimentos, los cuales contienen mayor concentración de fósforo produciendo que se incremente el fósforo total en la columna de agua. Para el período de muestreo se obtuvo una media de 33 $\mu\text{g/L}$, un valor mínimo de 3 $\mu\text{g/L}$ y un máximo de 72 $\mu\text{g/L}$, como lo demuestra el Gráfico 42.

4.4.5. Correlación de los Principales Parámetros de Medición

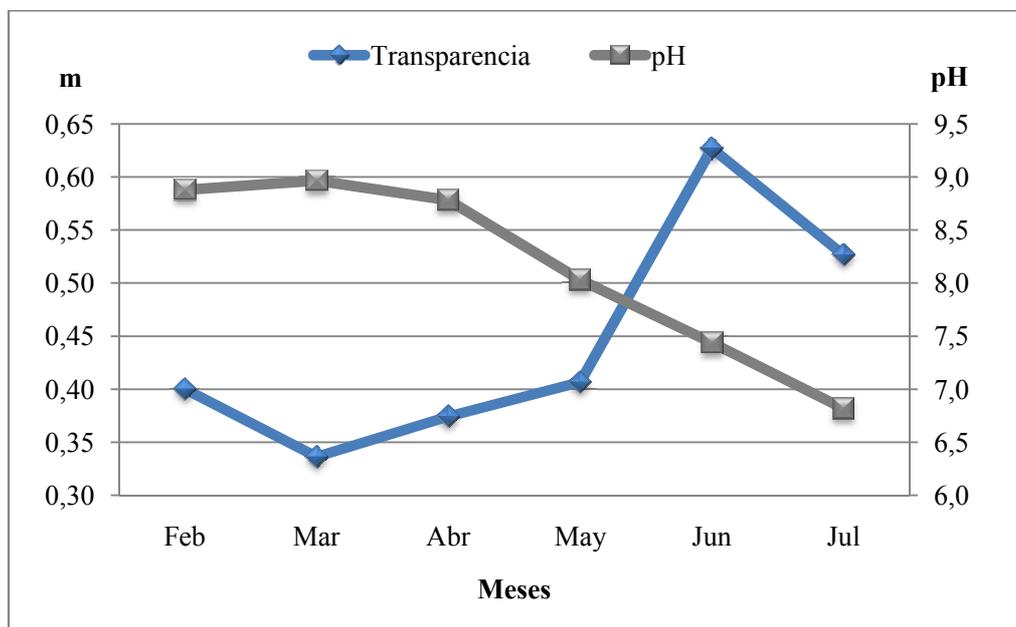


Gráfico 43: Promedios Mensuales de Transparencia y pH

El Gráfico 43 muestra que a pH más básicos la transparencia es menor, mientras que cuando éste disminuye la transparencia es mucho mayor.

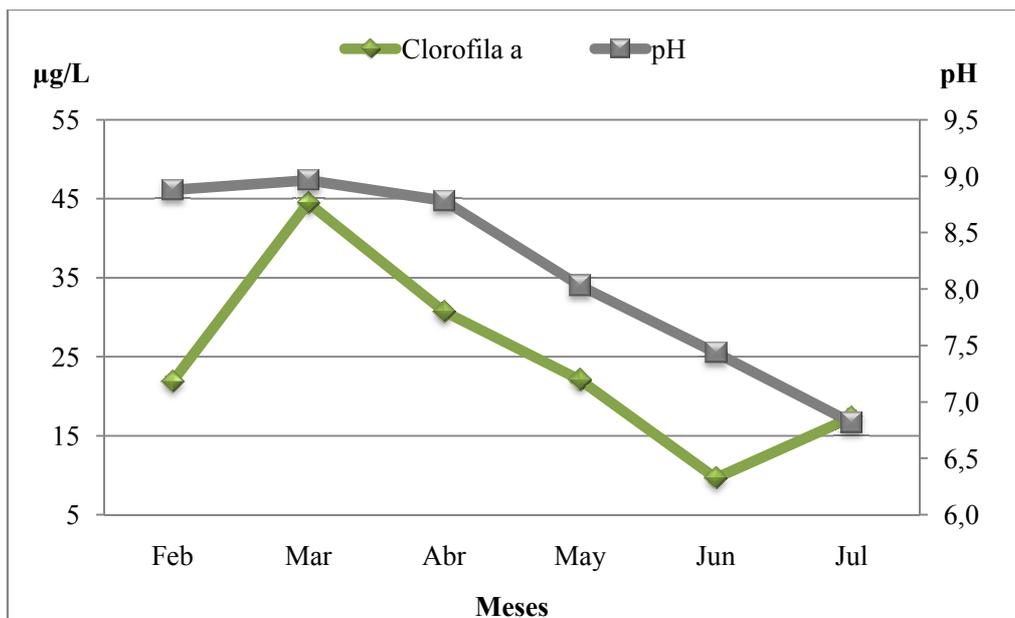


Gráfico 44: Promedios Mensuales de Clorofila *a* y pH

El Gráfico 44 muestra la relación mensual entre la clorofila *a* y el pH. Se observa que a pH más bajos las concentraciones de clorofila *a* tienden a disminuir, debido a que a pH ácidos la clorofila *a* se degrada en otros componentes como clorofila *b* y feofitina.

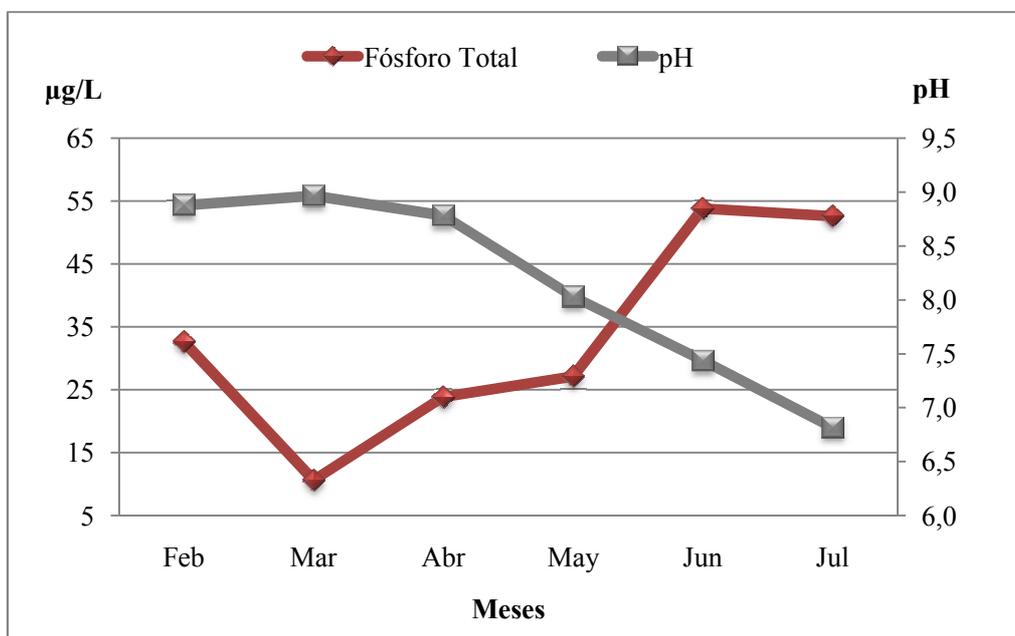


Gráfico 45: Promedios Mensuales de Fósforo Total y pH

Como lo demuestra el Gráfico 45 la concentración de fósforo total durante los meses de muestreo fue mayor cuando el pH de la laguna era más bajo; sin embargo, esta relación puede

estar influenciada por la acción de la lluvia, ya que el fósforo se disuelve más en la columna de agua a pH ácidos.

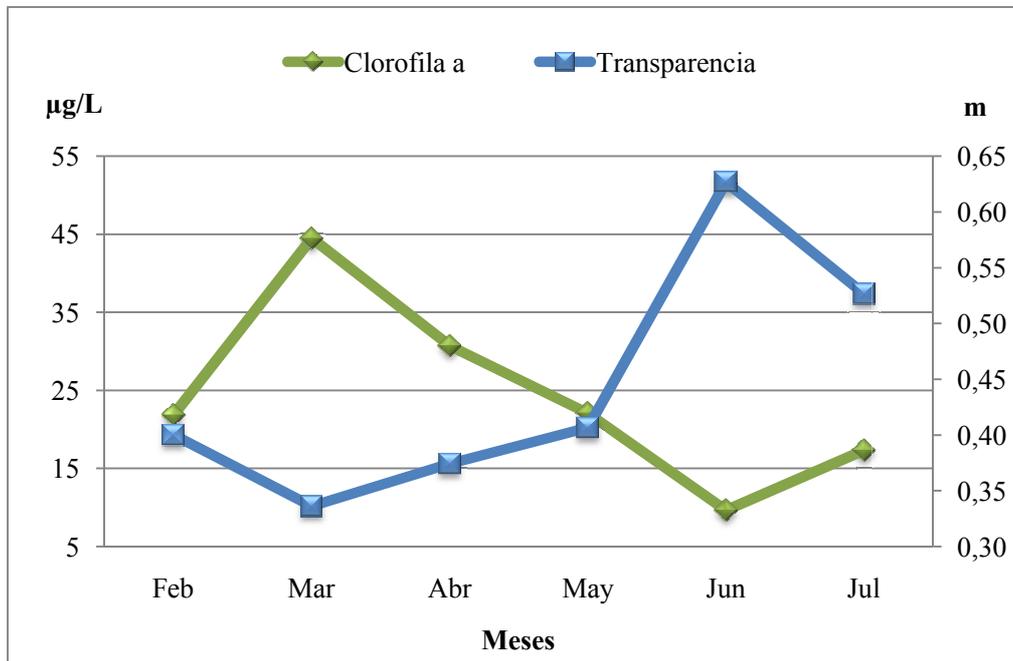


Gráfico 46: Promedios Mensuales de Clorofila *a* y Transparencia

El Gráfico 46 indica la relación entre la clorofila *a* y la transparencia. A menor concentración de clorofila *a* mayor es la distancia de observación del disco Secchi, y a mayor concentración de clorofila *a* menor es dicha distancia. La disminución o aumento de la transparencia puede verse afectada por el número de algas presentes en el agua, por lo cual la clorofila *a*, al ser el principal pigmento de estos organismos, posee una relación inversa con la transparencia de la laguna.

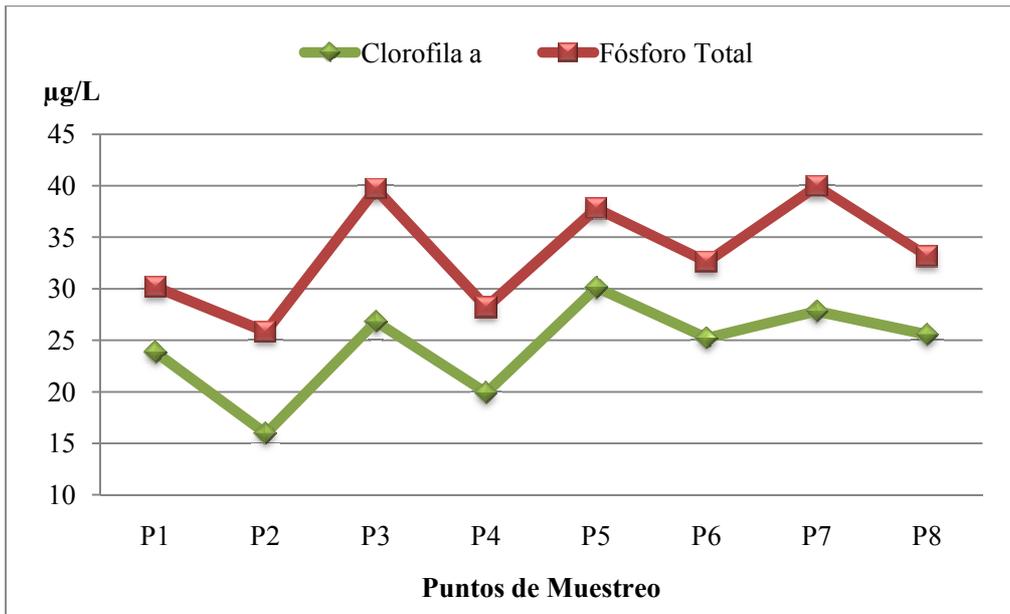


Gráfico 47: Promedios de cada Punto de Clorofila *a* y Fósforo Total

En el Gráfico 47 se puede observar la relación entre fósforo total y clorofila *a* en cada punto de muestreo. La relación es directa ya que cuando se incrementa la concentración de fósforo total la concentración de clorofila *a* también aumenta. Esto se debe a que el fósforo es el nutriente limitante para el desarrollo de las algas, como lo ha establecido Gómez, 2003.

4.4.6. Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M)

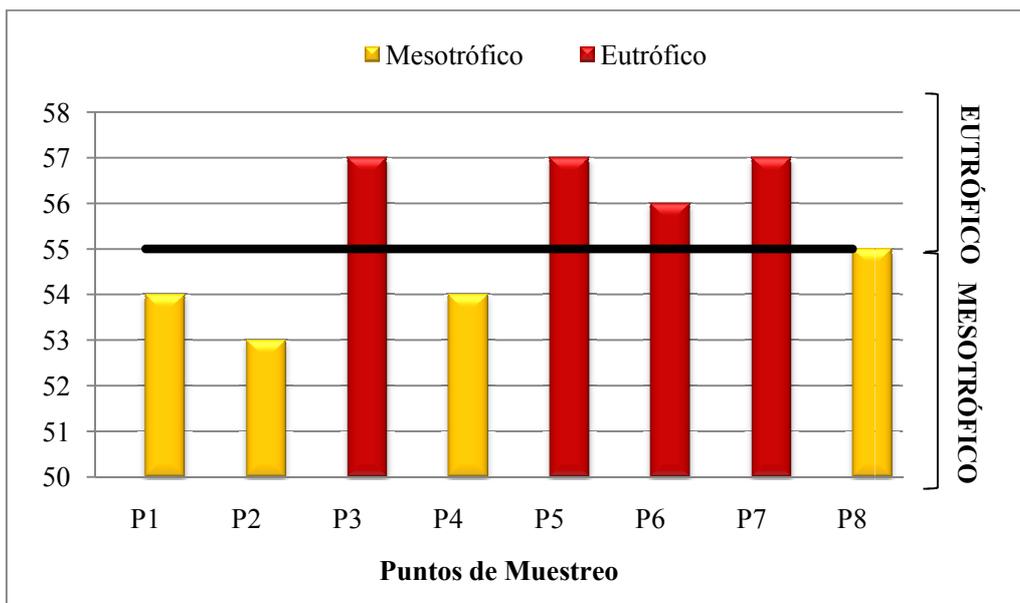


Gráfico 48: Promedio de cada Punto de Muestreo

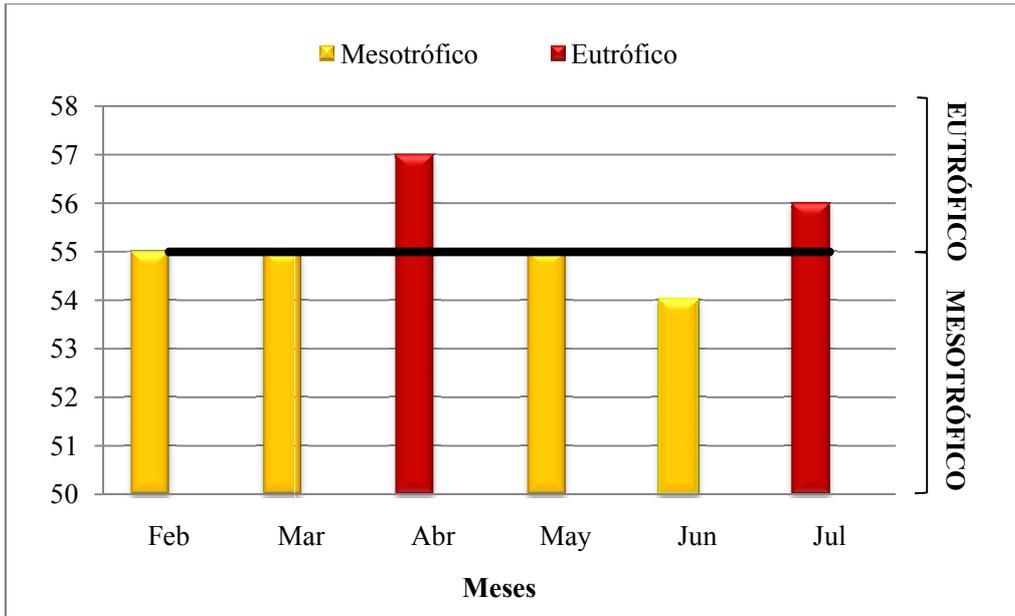


Gráfico 49: Promedio Mensual

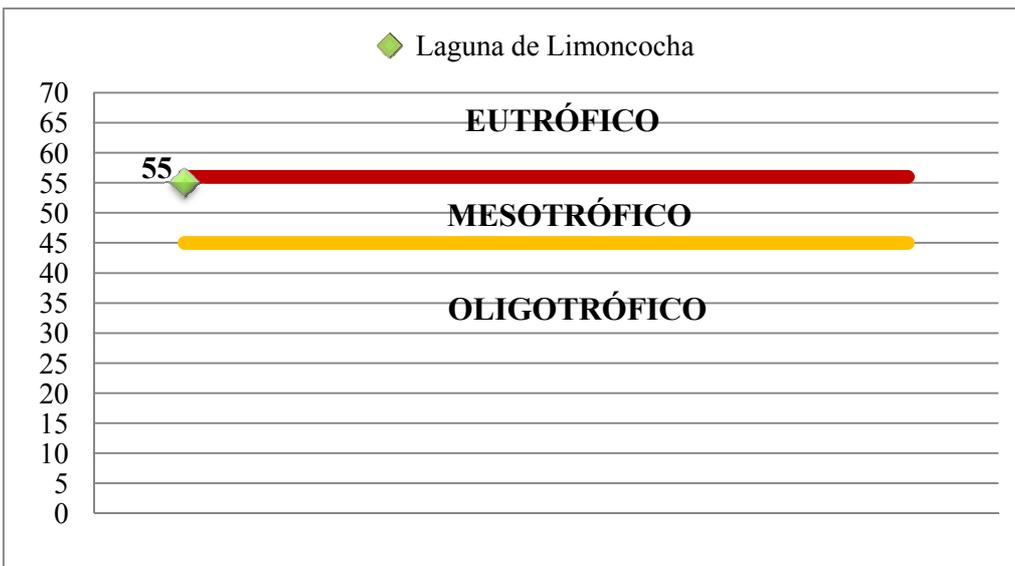


Gráfico 50: Estado Trófico de la Laguna de Limoncocha

Los Gráficos 48, 49 y 50 muestran el estado trófico analizado en cada punto de muestreo, para cada mes y uno global de toda la laguna. Se observa que, durante los seis meses de muestreo, existe un patrón de comportamiento de la laguna para el IET_M mensual ya que cada dos meses que se encuentran en estado mesotrófico se muestra un mes que se encuentra en estado eutrófico, como se muestra en el Gráfico 49.

El punto P3 se encuentra ubicado lateral al río Pishira y posee en promedio la mayor cantidad de fósforo total durante el período de muestreo (40 $\mu\text{g/L}$). Es probable que esta zona de la laguna se encuentre más afectada debido a que el río Pishira es el que mayor carga de fósforo aporta a la laguna como ha sido establecido en el estudio de Gómez, 2003.

El punto P5 está ubicado en el centro de la laguna, por lo que el estado trófico se deba a que existe un proceso de incorporación de fósforo procedente de los sedimentos hacia la columna de agua, por acción del viento lo que provoca un incremento en la concentración de fósforo (38 $\mu\text{g/L}$) y por tanto en la concentración de la clorofila *a* (30 $\mu\text{g/L}$) siendo este valor promedio el más alto de todos los puntos.

El punto P6, diagonal al punto P5, se encuentra ubicado en la zona donde se registra la presencia de lirios acuáticos y lechuguines.

En el punto P7, ubicado frente al muelle de la estación, se observa mayor cantidad de macrófitas, además al igual que el punto P3 presenta la mayor concentración promedio de fósforo total (40 $\mu\text{g/L}$) y el valor más alto de todas las mediciones en la laguna (72 $\mu\text{g/L}$).

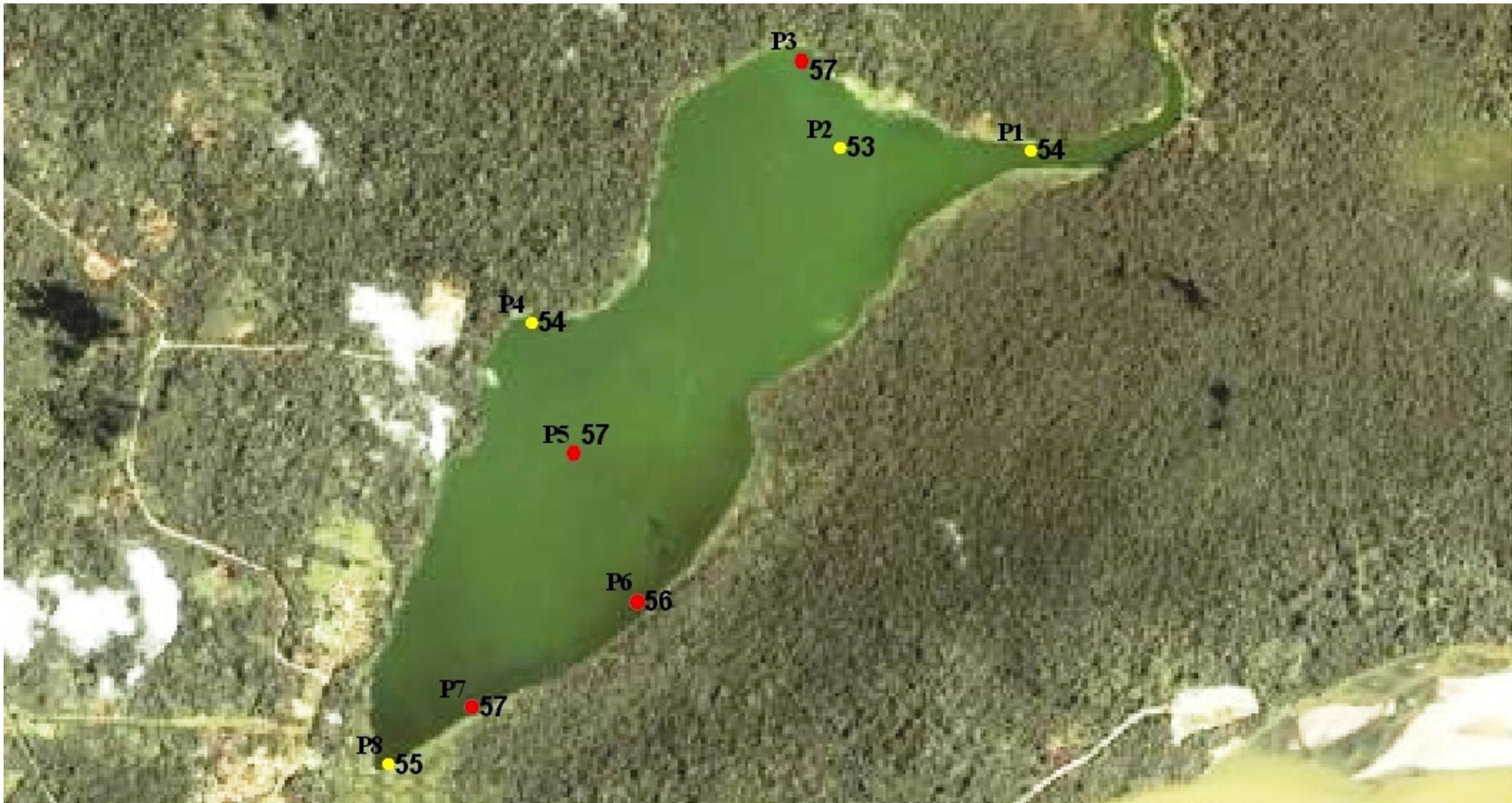


Figura 2: IET_M de cada Punto de Muestreo en la Laguna de Limoncocha

Fuente: Imagen adaptada de Google Earth, 2003

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los puntos (P1, P2, P4 y P8) de la laguna se encuentran en estado mesotrófico, mientras que los puntos (P3, P5, P6 y P7) se encuentran en estado eutrófico durante los seis meses de muestreo realizados.
- Debido a la cercanía al río Pishira, el punto P3 se encuentra en estado eutrófico, puesto que este río contribuye con gran cantidad de fósforo a la laguna de Limoncocha.
- En el punto P5 ubicado en el centro de la laguna no se observa un mayor desarrollo de macrófitas, no obstante se presume que exista una resuspensión del sedimento en esta zona, lo cual explicaría su alta concentración de fósforo
- Los puntos P6 y P7 presentan un estado eutrófico debido a que se encuentran cercanos a sitios que contienen gran cantidad de macrófitas (lirios acuáticos y lechuguines) en la laguna, lo que explica el estado trófico en estas zonas.
- El punto P8 ubicado en la “esquina de los militares” al sureste de la laguna de Limoncocha, no se encuentra en estado eutrófico a pesar de que en años anteriores en este punto ocurrían descargas de aguas domésticas.
- Los índices de estado trófico modificado (IET_M) para la transparencia y para la clorofila *a* indican un estado eutrófico en la laguna, mientras que el índice de fósforo total indica que la laguna se encuentra en un estado oligotrófico.
- El Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) realizado para cada mes reveló que la laguna de Limoncocha presenta un 33% del período de muestreo en estado eutrófico, correspondiente a los meses de abril y julio, mientras que el 67% del periodo de muestreo se encuentra en estado mesotrófico, que corresponde a los meses de febrero, marzo, mayo y junio.

- Durante el período de estudio la laguna de Limoncocha presentó un estado mesotrófico de acuerdo al promedio realizado entre las variables del Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M). Sin embargo, al presentar el valor máximo en la clasificación mesotrófica (55), el estado trófico de la laguna puede alterarse y convertirse en eutrófico si existiera un incremento en la concentración de fósforo debido a descargas de sustancias que contengan altas cantidades de este elemento provocando un desequilibrio en la laguna.
- La lluvia es un factor importante dentro del comportamiento de la laguna, ya que altera sus características físicas y químicas. Esto sucede principalmente con la relación entre el fósforo y la clorofila *a*, pues es posible que al disminuirse el pH por efecto de la lluvia el fósforo no se encuentre en forma disponible para ser asimilado por el fitoplancton y así aumentar su biomasa y la producción primaria, como ocurrió en los meses de junio y julio.
- La marcada disminución del fósforo en el mes de marzo puede ser debido a que hubo un consumo excesivo de este elemento reduciendo su concentración en la columna de agua y aumentando la producción primaria, lo cual se ve reflejado en la concentración alta de clorofila *a*.
- Conforme al último estudio realizado sobre el estado trófico de la laguna de Limoncocha en el período de 2002- 2003 se determinó un estado de mesotrofia a eutrofia moderada y en el presente estudio se determinó que la laguna se encuentra en estado mesotrófico. Es importante señalar que el método que se utilizó en el presente estudio, el Índice de Estado Trófico Modificado, es más adecuado para lagos cálidos tropicales como se ha demostrado en trabajos anteriores.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es importante continuar con este estudio en los meses restantes que van de agosto a enero del 2011 para tener datos anuales de los parámetros analizados y determinar el comportamiento y el estado trófico que posee la laguna en un año completo de estudio

y comprobar si se observa continuidad en los patrones mencionados del comportamiento del estado trófico de la laguna. Además se debería realizar el presente estudio en los próximos años para determinar el comportamiento de la laguna de Limoncocha de aquí a 5 o 10 años.

- Desarrollar un estudio sobre la calidad del agua y las características que poseen los ríos que alimentan a la laguna para conocer la concentración de nutrientes que contienen y como estos actúan sobre el comportamiento de la laguna.
- Realizar un estudio del fitoplancton que se encuentra en la laguna y como actúa en relación con los nutrientes que la laguna contiene, en especial con el fósforo.

GLOSARIO

Aguas lénticas: Son aquellas aguas que no presentan corriente continua, son las llamadas aguas quietas. Pertenecen a este grupo los lagos, lagunas y estanques.

Aguas someras: Comprende las aguas superficiales, que se encuentran cercanas a la orilla de lagos y lagunas.

Clorofila *a*: Pigmento verde que poseen las plantas y las algas y que es fundamental en el proceso de la fotosíntesis.

Conductividad: Es la capacidad, que posee una solución, de transmitir corriente eléctrica.

Distancia Secchi: Es la distancia a la cual el disco Secchi aparece a la vista del observador, luego de ser sumergido.

Estados tróficos: Corresponde a la clasificación de un cuerpo de agua según su cantidad de nutrientes. Principalmente son tres estados: oligotrófico posee bajo contenido de nutrientes en el agua, eutrófico posee gran abundancia de nutrientes y mesotrófico comprende el estado intermedio entre oligotrófico y eutrófico.

Estratificación (térmica): Es la condición por la cual debido a un calentamiento del agua superficial se forman una capa superficial más caliente y capas inferiores más frías dentro de la columna de agua.

Eutroficación: Es el proceso por el cual se dan cambios físicos, químicos y biológicos a causa de una cantidad excesiva de nutrientes presentes en el agua. Puede ser natural o cultural, es decir por acción del ser humano.

Fitoplancton: Se denomina al conjunto de organismos microscópicos que se encuentran flotando en el agua. Comprende a las algas y a las cianobacterias.

Flora béntica: Está compuesta de plantas acuáticas enraizadas en el fondo del cuerpo de agua. Comprende dos grupos, vegetación acuática sumergida y vegetación emergente.

Fósforo total: Comprende a los diferentes compuestos de fósforo como son ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos.

Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson: Es un índice empleado para evaluar, determinar y clasificar el estado trófico de los sistemas acuáticos. Para clasificar a un lago cálido tropical el índice más indicado es el Índice de Estado Trófico Modificado (IETM) por Toledo Jr.

Lagos cálidos tropicales: Lagos o lagunas ubicados en el neotrópico en el piso cálido o tropical que va desde 0,0 y 1000 m.s.n.m.

Lagos polimícticos: Son aquellos lagos que poseen frecuentes períodos de circulación durante todo el año. Se dividen en lagos polimícticos fríos y polimícticos cálidos.

Limnología: Ciencia que estudia las características físicas, químicas y biológicas de lagos, lagunas, ríos, embalses y estuarios.

Neotrópico: Es la región comprendida entre los trópicos de Cáncer (norte) y Capricornio (sur), Se encuentra entre los 20° de latitud norte y 20° de latitud sur.

Origen alóctono: En este caso se refiere al arrastre de material desde afuera por acción de lluvias o corrientes.

Origen autóctono: Es aquel material que es formado en el propio sitio (in situ).

Potencial Hidrógeno (pH): Es un parámetro que indica la concentración de iones hidrógeno de una solución acuosa determinando el grado de acidez o basicidad que posee.

Reserva Biológica de Limoncocha: Pertenece al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador. Está ubicada en la provincia de Sucumbíos y su mayor atractivo turístico es la laguna Limoncocha.

Sólidos disueltos totales (TDS): Es el parámetro mediante el cual se puede determinar la concentración total de minerales presentes en el agua.

Zona hipolimnética: Corresponde a la zona inferior de un lago estratificado.

Zona fótica o trofógena: También llamada zona eufótica. Corresponde la zona a la que penetra la luz solar y donde se realiza la fotosíntesis.

Zona trofólítica: Es la zona de un lago donde ocurre la respiración y oxidación de la materia orgánica.

BIBLIOGRAFÍA

- Allinger, N. Cava, M. De Jongh, D. Johnson, C. Lebel, N & Stevens, C. (1984). Química Orgánica. (2da. Ed). España: Editorial Reverté.
- Bastidas, D & Lasso, S. (2009). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR): Reserva Biológica Limoncocha.
- Brown, T. Burdge, J. Bursten, B & Lemay, E. (2004). Química la Ciencia Central. (9na. Ed). México: Pearson Educación.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography. Vol. 22. (2). 361-369.
- Cole, G. A. (1988). Manual de Limnología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur S.A.
- Contreras, F. Castañeda O & García, N. (1994). La clorofila *a* como base para un Índice Trófico en lagunas costeras mexicanas. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México.
- Duarte, M. Ceballos, B. Melo, H & Konig, A. (2001). Comportamento dos Índices do Estado Trófico de Carlson (IET) e Modificado (IETM) em três lagoas naturais no nordeste do Brasil. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil. 2278-2285.
- Espinoza, J. (2001). Evaluación de los estados tróficos de la laguna de Limoncocha. Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- García, C. García, D & Leite, M. (2007). Comparação entre dois Índices de Estado Trófico para o Reservatório de Ilha Solteira. VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Sociedade de Ecologia do Brasil.

- 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. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Hach Company. (2003). DR 4000 Spectrophotometer Procedures Manual. (11va. Ed). USA.
- Henry, G & Heinke, G. (1999). Ingeniería Ambiental (2da. Ed.) México: Prentice Hall.
- Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: Editorial Limusa S.A.
- Miller, T. (1994). Ecología y Medio Ambiente. México: Grupo Editorial Iberoamérica S.A.
- Nebel, B & Wright, R. (1999). Ciencias Ambientales. Ecología y Desarrollo Sostenible (6ta. Ed.) México: Prentice Hall.
- Parra, O. (1989). La eutrofización de la laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo. Vol. V- N° 1. 117- 136*.
- Pena, L. Ferreira, C & Almeida, A. (2004) Comportamento dos índices do estado trófico de Carlson (IET) e modificado (IET_M) no reservatorio da UHE Luis Eduardo Magalhaes. Tocantins, Brasil.
- Rivera, J. (2007). Reserva Biológica Limoncocha. ECOLAP y MAE. Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. Quito, Ecuador: ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador. 225- 232.
- Rocha, P. (2006). Avaliação de Indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira Lagoa Jacuném. (Serra, Es). Tesis de Grado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brasil.

- Roldán, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquía.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquía
- Sánchez, O. Herzig, M. Peters, E. Márquez, R & Zambrano, L. (2007) Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México: Instituto Nacional de Ecología (INE- SEMARNAT).
- Santos, K & Florencio, L. (2001). Aplicação de Modelo Simplificado para Avaliação do Estado Trófico no Reservatório de Duas Unas. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil.
- Sawyer, C. Mc Carty, P & Parkin, G. (2001). Química para Ingeniería Ambiental. (4ta. Ed.). Colombia: Mc Graw Hill.
- Schiemer, F & Boland, K. (1996). Perspectives in tropical limnology. United States, New York: SPB Academic Publishing.
- Smith, R & Smith, T. (2001). Ecología. (4ta. Ed.). Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Spiro, T & Stigliani, W. (2004). Química Medioambiental. (2da. Ed.) España: Pearson Educación S.A.

ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Foto 1: Envases para la recolección de muestras de agua



Foto 2: Recolección de muestra de agua superficial



Foto 3: Muestreador de agua tipo Van Dorn.



Foto 4: Recolección de muestra a 50 cm de profundidad

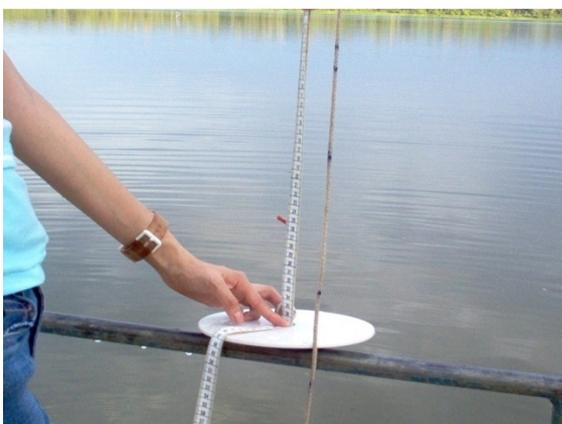


Foto 5: Medición de la distancia Secchi.



Foto 6: Medición de los parámetros “in situ”



Foto 7: Filtración de la muestra de agua



Foto 8: Maceración de filtros y obtención de extracto



Foto 9: Análisis de Clorofila *a*



Foto 10: Digestión de las muestras



Foto 11: Medición de fósforo total