

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Ambientales

Trabajo de Fin de Carrera previo a la obtención del

Título de Ingeniería Ambiental

**EL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE
LIMONCOCHA EN EL PERÍODO (FEBRERO 2010 –
ENERO 2011)**

Autor:

Fernando Andrés Granizo Murgueytio.

Director:

Dr. Carlos Ordoñez.

Quito – Ecuador

2011

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Descripción del Proyecto	10
1.2. Antecedentes	11
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo General.....	13
1.3.2. Objetivos Específicos	13
1.4. Zona de Estudio.....	13
1.4.1. Ubicación y Descripción General	13
1.4.2. Características.....	14
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Limnología	16
2.1.1. Definición	16
2.1.2. Zonas de un Lago.....	17
2.2. Proceso de Eutrofización.....	18
2.2.1. Descripción	18
2.2.2. Estados Tróficos	21
2.2.3. Efectos de la Eutrofización.....	22
2.3. Lagos Cálidos Tropicales.....	23
2.4. Índice de Estado Trófico	24
2.4.1. Índice de Estado Trófico Modificado (IET _M).....	26
2.5. Parámetros Analizados.....	27
2.5.1. Temperatura.....	27
2.5.2. pH	28
2.5.3. Conductividad.....	28

2.5.4. Sólidos Disueltos Totales	29
2.5.5. Profundidad Secchi	29
2.5.6. Clorofila <i>a</i>	30
2.5.7. Fósforo Total	30
3. METODOLOGÍA	33
3.1. Determinación de puntos y Frecuencia de muestreo	33
3.2. Recolección de Muestras	36
3.3. Medición de la Profundidad Secchi	37
3.4. Medición de Parámetros “In Situ”	37
3.5. Análisis de Muestras	38
3.5.1. Determinación de Clorofila <i>a</i>	38
3.5.2. Determinación de Fósforo Total.....	40
3.6. Tratamiento de Datos.....	41
3.6.1. Índice de Estado Trófico Modificado para la Profundidad Secchi	41
3.6.2. Índice de Estado Trófico Modificado para la Clorofila <i>a</i>	41
3.6.3. Índice de Estado Trófico Modificado para el Fósforo Total.....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. Resultados de Mediciones “In Situ”	43
4.1.1. Profundidad Secchi	48
4.2. Datos y Cálculos de Laboratorio	49
4.2.1. Clorofila <i>a</i>	49
4.2.2. Fósforo Total	54
4.3. Cálculo del Índice de Estado Trófico Modificado (IET _M)	58
4.4. Gráficos y Discusión.....	64
4.4.1. Parámetros “In Situ”	64

4.4.2. Parámetros analizados en laboratorio	69
4.4.3. Índices de Estado Tráfico Modificado por punto (IET _M).....	71
4.4.4. Promedios Generales	79
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1. Conclusiones	82
5.2. Recomendaciones	83
GLOSARIO.....	84
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	91

DEDICATORIA

*A Dios, mi madre, padre, abuela Hilda, mis cuatro
hermanos, toda mi familia y por supuesto mi
enamorada, por su apoyo incondicional y
su amor infinito.*

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradezco a Dios por su compañía en momentos difíciles, la iluminación para encontrar el camino, la fuerza para seguir adelante, la paciencia y constancia para llegar hasta el final, el raciocinio para aclarar el pensamiento y su amor para hacer todas las cosas de la misma manera.

A mi madre Janeth Murgueytio por su preocupación, su dedicación, sus lágrimas, amor, cariño y apoyo incondicional desde mi primer momento de vida, su alegría, sencillez y humildad que la caracterizan, virtudes fundamentales para triunfar en la vida.

A mi padre Byron Granizo por sus palabras de cariño y aliento, su ejemplo como hombre de bien, trabajador, responsable; por su incansable tenacidad, la solidaridad, la hermandad y unión familiar que ha fomentado en nosotros sus hijos, el respeto, la humildad y un sinnúmero de valores que me han forjado a través de mi vida.

A mis hermanos, David Granizo, Jonathan Granizo, Juan Sebastián Granizo y Tomás Granizo por todo el cariño, amor, aventuras, risas, travesuras, dichos que nos han caracterizado siempre y sobre todo el apoyo recibido en los buenos y malos momentos, que harán que seamos un solo puño unido hasta el final.

A mi abuelita Hilda Morán (lalita), que ha sido como un ángel en mi vida con sus oraciones, pensamientos, amor, cariño, enseñanzas, así como también a mis abuelitos Elia Luna (mamela) y Kléber Granizo (pabeles), por sus bendiciones, su amor sabiduría y cariño de toda la vida. Quiénes constituyen el pilar de toda la familia.

A mis siete tíos, catorce primos y abuelo Ulianoff Murgueytio (picos), por todas sus palabras de apoyo, consejos, etc. Por todos los momentos compartidos.

A mis amigos del colegio, que estarán siempre conmigo en las buenas y en las malas y por supuesto a mis amigos de la universidad por todos los momentos vividos.

A Karina Jaramillo, por su amor, cariño, comprensión, apoyo, etc. Quién se ha constituido una persona muy importante en mi vida y faltan palabras para expresar todo el agradecimiento hacia ella.

Al Dr. Carlos Ordoñez por haber confiado en mí para el desarrollo del presente proyecto y durante los cinco años de carrera, por su guía y enseñanzas y por haber sido a más de un excelente docente, un entrañable amigo.

A mi tribunal, la Ing. Katty Coral y el Blgo. Francisco Neira por su apoyo, así como también, agradezco a todos los profesores de la Facultad de Ciencias Ambientales que tuve la oportunidad de tener como catedráticos ya que son magníficas personas.

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

RESUMEN

Se realizó un estudio en la laguna de Limoncocha por el período de un año, desde el mes de febrero del 2010 hasta el mes de enero del 2011, el mismo que fue dividido en dos etapas. La primera se desarrolló durante los meses de febrero del 2010 a julio del mismo año, mientras que la segunda etapa se desarrolló durante los meses de agosto del 2010 a enero del 2011. En cada mes se realizó un muestreo compuesto a diferentes profundidades, en ocho puntos representativos de la laguna, para los cuales se realizaron análisis “*in situ*” de los parámetros: Profundidad Secchi, pH, Conductividad, Temperatura, Sólidos Disueltos Totales y se registraron las coordenadas geográficas y observaciones particulares en cada uno de ellos. Además se realizaron análisis de laboratorio para los parámetros: Clorofila *a* y Fósforo Total, con la finalidad de conocer las características físico – químicas de la laguna de Limoncocha y poder determinar el estado trófico de la misma.

Para la determinación del estado trófico de la laguna de Limoncocha se empleó el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr., para lo cual se necesitaron los valores obtenidos en los parámetros: Profundidad Secchi, Clorofila *a* y Fósforo Total. La determinación del estado trófico de la laguna se realizó de igual manera, mes a mes y por cada punto de muestreo, además se obtuvo un valor global de toda la laguna y de todo el período en que se llevó a cabo el estudio, adicionalmente se concluyó que la laguna se encuentra en estado **eutrófico** que podría producirse de forma natural, así como también, por la intervención del hombre.

Palabras Clave: Laguna de Limoncocha, Muestreo, Parámetros, Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M), Eutrófico.

ABSTRACT

The research was performed in the Limoncocha lagoon during the period of one year, from February 2010 to January 2011, it was divided in two different stages. The first one was developed between February and July 2010 and the second one between August 2010 to January 2011. Composite water samples were collected every month at different depths and in eight representative points of the lagoon, performing “*in situ*” analysis for the following parameters: Secchi Depth, pH, Conductivity, Temperature, Total Dissolved Solids and recording the geographic coordinates and particular remarks for each point. Moreover, laboratory analyses were also performed for the following parameters: Chlorophyll *a* and Total Phosphorous, with the purpose of knowing the physical – chemical characteristics of the water and determine the trophic state of the Limoncocha lagoon.

To determine the trophic state of the Limoncocha lagoon, the Trophic State Index Modified (TSI_M) by Toledo Jr., was used, as well as the values obtained after the measurements of the following parameters: Secchi Depth, Chlorophyll *a* and Total Phosphorous. The determination of the trophic state of the lagoon was accomplished every month and for every sampling point, also the general value for the whole mass of water and the whole period of the research. Therefore, it is concluded that the Limoncocha lagoon is in **eutrophic** state which can be induced by natural processes, as well as by the intervention of human beings.

Key Words: Limoncocha lagoon, Water Samples, Parameters, Trophic State Index Modified (TSI_M), Eutrophic.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del proyecto

El presente trabajo de fin de carrera tiene como propósito realizar el estudio del estado trófico de la laguna de Limonocha, la cual es considerada como el sistema principal de la Reserva Biológica de Limonocha que se encuentra ubicada en la provincia de Sucumbíos. Debido a la importancia ecológica, turística, recreacional y particularmente para los habitantes de la zona, por ser considerada como un recurso económico y fuente alimenticia, es fundamental conocer la situación actual del cuerpo de agua mencionado, mediante datos que permitan determinar las condiciones físicas y químicas de la laguna y que además faciliten la conservación del ecosistema en el lugar. Los datos obtenidos en el presente estudio serán el punto de partida para futuros proyectos de investigación en toda la Reserva Biológica de Limonocha.

El fenómeno de eutrofización se produce naturalmente, pero es acelerado por la intervención del hombre y todas las actividades antropogénicas que se realizan en el lugar. El control de dicho proceso es un problema importante en la ecología y la limnología en particular. Además es un problema ambiental de interés internacional debido al impacto ecológico, paisajístico y recreativo en los ecosistemas y por supuesto, debido a la biodiversidad de especies de peces, reptiles, anfibios, mamíferos, aves, etc., que alberga un humedal como el que fue sujeto de estudio.

Para la determinación del estado trófico de la laguna de Limonocha, se han analizado tres parámetros críticos que forman parte del Índice de Estado Trófico Modificado de Toledo Jr. (IET_M), empleado para lagos y lagunas cálidas tropicales y que son: Profundidad Secchi, Clorofila *a* y Fósforo Total presentes en el agua. El estudio se llevó a cabo durante un período de doce meses (febrero del 2010 a enero del 2011).

Con los datos obtenidos en el estudio actual y los obtenidos en el último estudio en el período (2002 – 2003), se podrán establecer los cambios que la laguna ha experimentado durante los últimos ocho años.

1.2 Antecedentes

El estado trófico de la laguna de Limoncocha ha sido determinado en dos estudios diferentes, realizados en años anteriores por la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK, en los que se han utilizado diferentes metodologías y parámetros para establecer el nivel trófico en el que esta se encontraba el cuerpo de agua en aquel momento.

El primer estudio relacionado y que se realizó como trabajo de fin de carrera fue “Evaluación de los estados tróficos de la laguna de Limoncocha en el período 2000 – 2001” (Espinoza, 2001). En este proyecto se determinó el estado trófico de la laguna utilizando como parámetro fundamental el fósforo total contenido en el agua. Se realizaron muestreos durante los meses de enero a junio del 2001 en seis diferentes puntos de la laguna (río Playayacu y río Pishira). Mediante la utilización del 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 estudio realizado como trabajo de fin de carrera y relacionado al estado trófico de la laguna de Limoncocha fue “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” (Gómez, 2003). Proyecto en el cual se evaluó la calidad del agua de la laguna de Limoncocha, así como también de sus afluentes cercanos, además se realizó un análisis del estado trófico de la laguna. El estado trófico de la laguna de Limoncocha se determinó mediante el análisis de los parámetros fósforo total, nitrógeno total y clorofila *a* midiendo las diferentes concentraciones existentes en el agua para cada uno de los parámetros en mención, durante muestreos realizados en el período de noviembre a abril de los años 2002 -2003. Con respecto al estado trófico de la laguna de

Limoncocha, se concluyó que ésta se encuentra en estado de mesotrofia a eutrofia moderada. (Gómez, 2003).

Por otra parte, existe un estudio de línea base realizado por una empresa consultora en el año 2003 para una empresa de servicios petroleros, en el que se determinó que la laguna de Limoncocha sufre un proceso de eutrofización natural, acelerado probablemente por el ingreso de sólidos disueltos procedentes de los cuerpos de agua influenciados por la población de Limoncocha y la plataforma petrolera que se encuentra en el lugar. (Walsh, 2003).

El presente estudio se ha realizado en dos períodos diferentes: El primero entre los meses de febrero a julio del 2010, realizado por la Ing. Diana Peñaherrera y el segundo desarrollado entre los meses de agosto del 2010 a enero del 2011 por el Sr. Fernando Granizo Murgueytio, con el objetivo de determinar el estado trófico actual de la laguna de Limoncocha y actualizar los datos registrados por última vez hace ocho años, para el cual se empleó el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr., aplicado en un estudio en Brasil en el embalse UHE Luis Eduardo Magalhes, ya que las condiciones del mismo eran las indicadas por encontrarse en una zona tropical, de baja altitud y de altas temperatura, por lo que (IET_M) es el índice más indicado para aquellas características. El objetivo principal fue evaluar la aplicabilidad del índice de estado trófico (IET) propuesto por Carlson (1977) y la modificación del mismo propuesto por Toledo Jr. (1985), verificando la variación temporal del nivel trófico del embalse de la UHE Luís Eduardo Magalhaes como 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). En el período de febrero 2010 a enero 2011.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones de clorofila *a*, fósforo total y realizar la medición de la Profundidad Secchi en cada uno de los puntos de muestreo seleccionados.
- Calcular el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) para los parámetros: clorofila *a*, fósforo total y Profundidad Secchi.
- Calcular el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) global y compararlo con los valores que clasifican el estado trófico para lagos cálidos tropicales.

1.4 Zona de estudio

1.4.1 Ubicación y Descripción General

La laguna de Limoncocha se encuentra dentro de la Reserva Biológica de Limoncocha (RBL), muy cerca del Parque Nacional Yasuní, pertenece a la parroquia Limoncocha en el cantón Shushufindi de la provincia de Sucumbíos en la Amazonía del Ecuador, aproximadamente a 210 km de la ciudad de Quito. Corresponde a los Humedales RAMSAR desde el mes de julio de 1998 y es considerada como un brazo muerto del río

Napo. La RBL comprende un área total de 4613,25 ha y según el sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, está constituida por una formación de Bosque Húmedo Tropical; es además uno de los atractivos turísticos más importantes de la zona y es usada por los nativos como fuente nutricional, económica y de higiene. (ECOLAP y MAE, 2007; Bastidas y Lasso, 2009; Walsh, 2003).

La RBL fue declarada como tal por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, mediante acuerdo Ministerial # 394, del 23 de septiembre de 1985, el mismo que fue publicado en el Registro Oficial # 283 de octubre del mismo año. (Walsh, 2003).

1.4.2 Características

- **Clima**

El mes de diciembre registra los valores más bajos promedios de precipitación con 183,7 mm, mientras que el mes de abril registra los valores más altos de precipitación con 325,7 mm; la precipitación anual supera los 3200mm. (ECOLAP & MAE, 2007). Se registra la temperatura entre los 23°C y 25°C, con una máxima de 31°C y una mínima de 16°C. Debido a la constante cobertura nubosa que se presenta sobre la RBL, es poco probable que la irradiación solar (heliofanía) supere las 1200 horas, siendo el período de agosto a noviembre los meses que presentan el número total de horas más alto. La humedad relativa es constante, encontrándose muy rara vez por debajo del 80%. (Bastidas y Lasso, 2009; Walsh, 2003).

- **Dimensiones de la laguna**

La laguna de Limoncocha posee una profundidad promedio de 1,8 metros; el punto más profundo de la laguna registra un valor de 3,10 metros. Por otra parte la laguna presenta una longitud máxima de 3 km por 1 km de ancho y su espejo de agua es de aproximadamente 213 ha. (ECOLAP y MAE, 2007; Bastidas y Lasso, 2009; Espinoza, 2001; Gómez, 2003).

- **Características de los sedimentos.**

Los depósitos de sedimento en la laguna de Limoncocha presentan valores altos en materia orgánica y macronutrientes oxidados en el lecho de la laguna. A mayor profundidad, los sedimentos están constituidos en su mayoría por componentes minerales como arena, limo y arcilla. (Bastidas y Lasso, 2009).

Es importante mencionar que algunos de los ríos tributarios de la laguna se encuentran en zonas intervenidas y bajo presiones de carácter antropogénico, por lo tanto, existirían fuentes potenciales de contaminación, por otra parte, las grandes cantidades de precipitación que se presentan en la zona producirían un efecto diluyente sobre los posibles contaminantes que ingresan a los cuerpos de agua. (Walsh, 2003).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Limnología

2.1.1 El Agua.

La vida surgió en el agua y es esencial para el mantenimiento de todo tipo de vida en nuestro planeta. Cubre el 71% de la superficie del planeta tierra y es el medio natural para muchas formas de vida. (Roldán, 2008).

2.1.2 Definición.

Es la ciencia que estudia las características físicas, químicas y biológicas de los lagos, lagunas, río, embalses y estuarios; además de las relaciones funcionales y de productividad de los organismos que se encuentran en los ecosistemas acuáticos mencionados. (Roldán, 2008).

Los lagos y lagunas pertenecen a la categoría de aguas lénticas o quietas, las cuales son depresiones de terreno que contienen aguas estancadas y además se encuentran rodeadas en su totalidad por tierra y que se diferencian principalmente por su tamaño y profundidad, siendo los más grandes y profundos los lagos y las más pequeñas y poco profundas se denominan lagunas. (Roldán, 2008; 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, 2008).

El origen de los lagos generalmente es producto de procesos geológicos, es decir por el deshielo de los glaciares, por la actividad volcánica y por movimientos tectónicos (Cole, 1988). Sin embargo, la mayor parte de lagunas es de origen fluvial o por influencia del mar

sobre la costa, mientras que los lagos ubicados en la parte alta de los Andes es generalmente de origen glaciar. (Roldán, 2008).

2.1.3 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, 2008; 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, 2008).

- **Zona Profunda**

Presenta una estratificación térmica en verano. (Cole, 1988). Sin embargo, para los lagos tropicales no se aplica esto ya que la temperatura es más o menos constante a lo largo de todo el año. (Roldán, 2008).

En los lagos tropicales esta zona se asocia con la denominada 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 óxido de carbono y ácido sulfhídrico. (Roldán, 2008).

- **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, que es en donde se realiza la fotosíntesis y predominan los productores primarios como el fitoplancton. La zona trofогénica también llamada zona fótica se extiende hasta donde la luz solar ya no penetra y por consiguiente ya no se puede realizar la fotosíntesis. En la parte inferior se encuentra la parte trofолítica donde ocurre la respiración y oxidación de la materia orgánica. (Roldán, 2008).

2.2 Proceso de eutrofización

2.2.1 Descripción.

Eutrofización significa literalmente “el proceso de 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 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, 2008; 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 los años dicho estado puede variar, ocurriendo una sucesión acuática del lago que lo convirtiese en pantano hasta desaparecer. (Wright, 1999).

Desde el punto de vista científico se relaciona más a la eutrofización con las causas que ocasionan dicho problema, es decir, con la excesiva nutrición de las aguas; y no tanto con

sus efectos, como el florecimiento de planas acuáticas y la disminución en la concentración de oxígeno disuelto. Sin embargo, también se ha descrito a la eutrofización 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 de relación superficie-volumen que 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, 2008).

El proceso de eutrofización 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 de la turbidez de la agua, con lo que el agua tiende a oscurecerse y tornarse verdosa, lo que dificulta el paso de luz necesario para la fotosíntesis que realizan las plantas acuáticas. Al no llegar la luz, es imposible que la fotosíntesis se lleve a cabo, las plantas acuáticas que se encuentran al fondo desaparecen y con esto se pierde alimento, hábitat y principalmente oxígeno, esenciales para el desarrollo del ecosistema acuático y su biodiversidad. La pérdida de oxígeno disuelto se agrava debido al incremento de 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 a 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. (Wright, 1999).

El crecimiento de 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 consumen 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, reptiles, macroinvertebrados, etc. A pesar de la escasez de oxígeno disuelto las bacterias no mueren, ya que tienen la capacidad de transformar su metabolismo de aerobias a anaerobias, y que se conocen como facultativas, por lo que no requieren de oxígeno para sobrevivir mientras existan detritos que las alimenten. Además al cambiar su metabolismo a anaerobias, generan compuestos como: NH_3 , CH_4 , H_2S . (Stigliani, 2004). En conclusión se puede decir que la eutrofización 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 de oxígeno disuelto y sofocación y muerte de los organismos superiores que habitan en un cuerpo de agua. (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 o las actividades antropogénicas realizadas en el área de la cuenca de drenaje de los ecosistemas acuáticos o en el propio cuerpo de agua, pueden cambiar la velocidad del proceso de eutrofización, haciendo que ésta sea más rápida. Este proceso se conoce también como eutrofización cultural. (Parra, 1989; Roldán, 2008).

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 casos aunque la cantidad de nitrógeno se alto, la disponibilidad del fósforo es muy limitada. Esto se debe a un aporte mínimo desde los ecosistemas terrestres y otras fuentes externas. (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 (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 de 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 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, 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 Eutrofización.

Uno de los principales efectos de la contaminación del agua y afectación a su calidad, es la eutrofización cultural o artificial provocada por acción del ser humano. Entre los efectos más importantes que se producen 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. (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 del fitoplancton (algas y cianobacterias) que producen un sabor y olor desagradable en el agua, impidiendo el consumo de agua de fuentes de abastecimiento que se encuentran afectadas por la eutrofización, además la gran cantidad de algas obstruyen canales y drenes de riego, filtros de las plantas de tratamiento y tomas de plantas hidroeléctricas. (Heinke, 1999; Jiménez, 2001).

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

2.3 Lagos cálidos tropicales

Se encuentran ubicados en el neotrópico, región que comprende los 20° de latitud norte y 20° de latitud sur. Según muestreos realizados a nivel mundial, se obtuvo que menos del 10% de los lagos son tropicales, esto debido principalmente a que las glaciaciones tuvieron poca influencia en esta área. (Roldán, 2008; 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 sea igualmente constante, por lo que la temperatura en general es también constante; sin embargo, esto varía según la altura sobre el nivel del mar. Es por esto que la estratificación utilizada para lagos templados no se aplica para lagos tropicales. (Roldán, 2008).

Los lagos cálidos tropicales se encuentran en el piso cálido o tropical que va desde los 0 m.s.n.m hasta los 1000 m.s.n.m, con temperatura ambiente mayor a los 24°C. Este tipo de lagos poseen poca profundidad y sufren estratificaciones térmicas debido a las variaciones de temperatura del agua durante el día y la noche, así como también la mezcla de los estratos. La estratificación sucede durante el día, mientras que durante la noche ocurre una desaparición de los estratos o columnas de agua, debido a la pérdida de calor de la atmósfera. De igual manera, los vientos y los períodos de lluvia no permiten que la estratificación dentro de un lago sea duradera y estable; es por esto, que los tipos de lagos tropicales pueden reutilizar los nutrientes limitantes que se encuentra en los sedimentos, para de esta manera nutrir a las comunidades de plancton. (Roldán, 2008; Boland, 1996).

La temperatura mínima de los lagos cálidos tropicales es de 10°C y la temperatura promedio anual máxima es de 15°C. Según la estratificación térmica y la circulación de 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 se presenta un rápido enfriamiento. (Roldán, 2008).

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 un solo 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 empleó 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, 2001).

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

Profundidad Secchi (Sec):

$$IET (Sec) = 10*(6 - ((\ln Sec)/\ln 2)) \quad (1)$$

Donde:

ln Sec = logaritmo natural del promedio de la Profundidad Secchi, en metros, medida con el disco Secchi.

Clorofila *a* (Cla):

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

Donde:

ln Cla = Logaritmo natural de la clorofila *a* en µg/L.

Fósforo Total (PT):

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

Donde:

ln PT: Logaritmo natural de la medición de fósforo total en µg P/L.

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 y 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 en zona 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 (IETM) 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 IETM de Toledo Jr. (1985) para la transparencia (Profundidad Secchi), clorofila a y fósforo total según Pena *et al.* (2004) son:

Profundidad Secchi (Sec):

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

Donde:

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

Clorofila *a* (Cl*a*):

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

Donde:

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

Fósforo Total (PT):

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

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 puede absorber. Es muy importante para todos los procesos biológicos e influye sobre la tasa de crecimiento biológico, en las reacciones químicas y en el desarrollo de la vida. (Roldán, 2008; 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 la 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, 2008). Matemáticamente el pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$, y la escala de medición va desde 0,0 siendo éste el valor más ácido y 14,0 el valor más básico. La neutralidad absoluta está representada por un pH de 7,0 a 25°C; valores menores a 7,0 significa que es ácida y mayores a 7,0 la solución es básica. (Roldán, 2008; 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, 2008).

2.5.3 Conductividad

La conductividad se denomina a la capacidad que posee una solución de transmitir corriente eléctrica y varía según el tipo y la cantidad de iones que contiene la solución. (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 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (Roldán, 2008).

El parámetro de conductividad nos permite conocer información acerca del ecosistema, como la concentración iónica, los iones responsables de conductividad más conocidos son: calcio, magnesio, potasio, carbonatos, cloruros y sulfatos, los cuales son conocidos también como macronutrientes y permiten detectar fuentes potenciales de contaminación, además, la conductividad puede proporcionar información sobre la variación de la productividad primaria y descomposición de materia orgánica. (Roldán, 2008).

Los valores de conductividad en el trópico, se encuentran más relacionados con la naturaleza geoquímica del terreno y su concentración varía de acuerdo a la época. Los lagos de zonas cálidas tropicales presentan valores altos de conductividad, ya que en ellos se recoge una mayor cantidad de escorrentía y de los aportes de los ríos (Roldán, 2008).

2.5.4 Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales o TDS por sus siglas en inglés, se refieren a la concentración total de minerales presentes en el agua, y posee una relación proporcional con la conductividad. (Jiménez, 2001; Roldán, 2008).

Todo tipo de agua contiene sólidos disueltos debido a la disolución de las rocas, minerales y descomposición de materia, entre otros factores. (Jiménez, 2001). Los valores referenciales que presentan los lagos neotropicales van entre 10 y 200 ppm o mg/L. (Roldán, 2008).

2.5.5 Profundidad Secchi

La transparencia de los cuerpos de agua puede disminuir 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, 2008).

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 luz superficial. Debajo de esta zona es casi nula la productividad primaria ya que no se lleva a cabo la fotosíntesis. (Cole, 1988; Roldán, 2008).

Generalmente el disco tiene 20 a 25 cm de diámetro, es de color blanco con franjas negras que facilitan la visibilidad por el contraste que se genera. 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 la profundidad Secchi y representa la mitad de la distancia que recorre la luz hasta el disco u 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, 2008).

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 necesaria para el metabolismo de las plantas durante la fotosíntesis. 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 indicador de estado trófico de un ecosistema acuático, la presencia de clorofila a es un indicativo confiable en la cuantificación y seguimiento de las variaciones de 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, 2008; 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 en pH básico y disminuye a pH ácido. 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, 2008; 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 al crecimiento de fitoplancton, afectando la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático. (Roldán, 2008).

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, 2008).

Debido a la actividad humana, existe un aumento en la cantidad de fósforo en diversos cuerpos de agua, esto es producido por fertilizantes, detergentes, descargar industriales y humanas. (Roldán, 2008; 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 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, mientras que los fosfatos inorgánicos quedan una parte 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, 2001).

El fósforo de 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, 2008; Smith, 2001). Al morir los organismos que conformaban la cadena alimentaria en los ecosistemas acuáticos liberan fósforo y una parte de este elemento se deposita en los sedimentos. (Roldán, 2008).

3. METODOLOGÍA

3.1 Determinación de puntos y frecuencia de muestreo.

Se seleccionaron ocho puntos representativos en la laguna de Limoncocha, y se ubicaron las coordenadas de cada uno de los puntos utilizando un GPS.

En cada punto se tomó una muestra mensual. El estudio se realizó en el período de un año, comprendido entre los meses de febrero del 2010 a enero del 2011 el mismo que fue dividido en dos semestres que fueron realizados por la Ing. Diana Peñaherrera y el Sr. Fernando Granizo Murgueytio entre los meses de febrero a junio del 2010 y de julio del 2010 a enero del 2011 respectivamente.

La ubicación de los puntos se presenta a continuación:

Cuadro 1: Puntos de Muestreo en la Laguna de Limoncocha

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS GEOGRÁFICA	REFERENCIA
Punto 1	S 00° 23' 20.7" W 076° 35' 55.0"	Caño (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 UISEK
Punto 8	S 00° 24' 30.6" W 076° 37' 08.3"	esquina del destacamento militar.

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 muestras en cada uno de los puntos, se utilizaron ocho envases plásticos de dos litros, rotulados, identificados y adaptados de tal manera que sean lo más adecuados posible para la preservación de la muestra, en función de los parámetros a ser analizados. En relación al parámetro clorofila *a*, debido a la sensibilidad del mismo, se cubrieron todos los recipientes con papel aluminio y cinta adhesiva, para evitar el paso de la luz solar y la incidencia de la misma sobre el contenido del envase.

En cada punto se recolectó una muestra compuesta, la misma que fue conformada por un litro de muestra superficial y un litro de muestra a profundidad, recolectada a 50 cm desde la superficie.

La muestra superficial se recolectó utilizando una jarra plástica en la proa del bote, lo más alejado del motor, procurando no recoger aceite del mismo, además de ramas o materia orgánica que podrían afectar de alguna manera a la muestra y arrojar posteriormente resultados erróneos. Para la recolección de la muestra a profundidad se empleó un muestreador de agua tipo “Van Dorn” de dos litros de capacidad de cerrado automático.

La técnica aplicada para recolectar la muestra superficial 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 guardó las muestras en cada envase que contenía el agua superficial y de esa manera conformar la muestra compuesta.

3.3 Medición de la Profundidad Secchi.

Los datos de la transparencia o profundidad Secchi fueron registrados en cada punto de la laguna utilizando el disco Secchi.

La determinación de profundidad Secchi se realizó sumergiendo el disco en forma vertical, del lado oscuro de la lancha con el fin de que la luz reflejada sobre la superficie de la laguna no interfiera sobre la medición de la misma, la que se realizó de dos maneras distintas descritas a continuación:

La primera manera para determinar la profundidad Secchi se realizó sumergiendo el disco poco a poco y registrando el valor de profundidad el instante que se deja de ver el disco en el agua.

La segunda manera para determinar la profundidad Secchi se realizó sumergiendo totalmente el disco en el agua la distancia suficiente para que no se vea el mismo, se regresó el disco a la superficie y se registró la profundidad medida el momento que vuelve a aparecer o que se observa nuevamente el disco.

Todas las mediciones se registraron en metros y el valor definitivo se determinó calculando el promedio de los dos valores anteriores.

3.4 Medición de parámetros “*In Situ*”

Una vez recolectada la muestra en 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 de los parámetros mencionados se utilizó un multi-parámetro digital marca Thermo Scientific, modelo Orion-5-star.

3.5 Análisis de muestras

Las muestras recolectadas en cada punto se trasladaron inmediatamente al laboratorio de la estación científica de la UISEK en Limoncocha, donde se procedieron a realizar los análisis para los siguientes parámetros:

- Clorofila *a*
- Fósforo Total

Los métodos y equipo 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 muestras**

Para la determinación de la clorofila *a* se filtraron 500 ml de cada muestra utilizando una bomba de 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 clorofila con un mortero y un pistilo.

El extracto obtenido en cada una de las muestras se colocó en tubos de ensayo y se colocaron en una centrífuga para separar el sobrenadante de la parte sólida. El sólido se desechó mientras que el sobrenadante se colocó en nuevo tubos de ensayo y se los llevó a refrigeración a 4°C por un mínimo de 4 horas.

- **Análisis Espectrofotométrico**

El sobrenadante obtenido en cada una de las muestras se analizó en el espectrofotómetro para obtener los datos de longitud de onda a 664, 665 y 750 nm. Se realizó una lectura del extracto puro, es decir, sin ácido clorhídrico y otra después de añadir 0,3 ml del mismo ácido.

- **Cálculo de Clorofila *a***

De las dos lecturas se realizaron correcciones para la longitud de onda a 664 nm y 665 nm, a partir de los datos corregidos se calculó la clorofila *a* empleando la siguiente ecuación propuesta por Hach Company (2003).

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

Donde:

26,7 = Valor de corrección de la 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 de fósforo total se procuró realizarlo al día siguiente de la recolección de las muestras, las cuales fueron puestas en refrigeración a 4°C hasta su análisis.

- **Digestión de las muestras.**

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

- Se obtuvo 5ml de cada una de las muestras.
- A cada una se añadió 1ml de “disolución de ácido fuerte”.
- Posteriormente se añadió persulfato de potasio y se mezcló vigorosamente.
- La digestión de las muestras se realizó a una temperatura de 150 °C durante 30 minutos.
- Finalmente se dejó enfriar las muestras a temperatura ambiente.

- **Análisis Espectrofotométrico.**

Una vez realizada la digestión de todas las muestras, se procedió a realizar el análisis en el espectrofotómetro con el programa 490. React. PV siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

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

- Todos los datos obtenidos fueron en unidades de mg/L de P.

3.6 Tratamiento de datos

El proceso de eutroficación es un proceso multidimensional por lo que no se puede determinar utilizando un único parámetro, sino la interrelación de varios de los mismos. El Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr., es el más utilizado para cuerpos de agua cálidos; relaciona la Profundidad Secchi, la concentración de Clorofila *a* y la concentración de Fósforo Total, para evaluar la situación trófica de la laguna. (Rocha, 2006).

Por tal motivo, para poder determinar el estado trófico en la presente investigación, se emplearán las fórmulas de IET_M para cada uno de los parámetros antes mencionados y por último se obtendrá el promedio general de toda la laguna de Limoncocha.

3.6.1 Índice de Estado Trófico Modificado para Profundidad Secchi.

Se calculó a partir del promedio de los datos obtenidos en el parámetro Profundidad Secchi (Sec), después de realizar la observación en la laguna con el disco Secchi, en cada punto de muestreo y aplicando la ecuación (4).

3.6.2 Índice de Estado Trófico Modificado para Clorofila *a*.

Los datos de clorofila *a* calculados y obtenidos previamente en mg/L, fueron transformados a µg/L para poder emplear la fórmula y determinar el estado trófico para el parámetro Clorofila *a* mediante la ecuación (5).

3.6.3 Índice de Estado Trófico Modificado para Fósforo Total.

Con los datos obtenidos previamente en el laboratorio de fósforo total, en unidades de µg/L se aplicó la ecuación (6) para determinar el estado trófico para el parámetro mencionado.

Por último, y como ya se ha dicho, para poder obtener el valor del estado trófico de la laguna de Limoncocha, se realizó un promedio de los tres índices ya obtenidos de los siguientes parámetros: Profundidad Secchi, Clorofila *a*, y Fósforo Total. El promedio se obtuvo para cada punto de muestreo de la laguna y para cada mes de muestreo durante todo el período de la investigación.

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

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 obtenidos en las mediciones de los parámetros “*in situ*”, durante todo el período del estudio comprendido desde febrero del 2010 hasta enero del 2011, en doce 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		9,1	9,3	8,9	8,0	7,8	6,3
Conductividad	μS/cm	109	85	91	83	75	84
TDS	mg/L	58	45	48	44	39	44
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	33,7	32,8	29,4	S/D	31,8	30,1
pH		8,8	7,9	8,2	S/D	8,5	5,8
Conductividad	μS/cm	121	76	107	S/D	90	105
TDS	mg/L	64	40	57	S/D	47	56

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		8,9	9,0	8,7	8,1	7,7	6,7
Conductividad	μS/cm	103	86	88	102	55	81
TDS	mg/L	54	45	47	49	29	43
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	32	32	29	S/D	31	31
pH		8,2	8,3	8,4	S/D	8,6	8,7
Conductividad	μS/cm	121	113	75	S/D	101	116
TDS	mg/L	64	60	39	S/D	53	61

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		8,9	9,4	8,8	8,1	7,4	6,5
Conductividad	μS/cm	106	85	89	94	56	81
TDS	mg/L	56	44	47	50	29	43
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	32,4	32,2	32,1	S/D	31,7	31
pH		8,2	8,2	8,3	S/D	8,6	8,7
Conductividad	μS/cm	107	114	111	S/D	108	116
TDS	mg/L	57	60	59	S/D	57	59

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		9,2	8,8	8,4	8,0	7,0	7,6
Conductividad	μS/cm	108	92	90	98	65	76
TDS	mg/L	57	49	47	52	33	40
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	31,4	33,9	29,8	S/D	32,7	31,2
pH		8,0	8,1	8,3	S/D	8,8	8,8
Conductividad	μS/cm	107	114	105	S/D	102	117
TDS	mg/L	57	60	55	S/D	54	62

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		8,7	8,8	8,9	8,3	7,0	7,6
Conductividad	μS/cm	109	86	89	98	78	75
TDS	mg/L	57	46	47	52	41	40
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	30,8	32,4	28,1	S/D	31,8	29,8
pH		8,1	8,2	8,0	S/D	8,0	8,9
Conductividad	μS/cm	102	114	100	S/D	90	115
TDS	mg/L	54	60	53	S/D	52	53

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		8,5	9,1	8,6	7,4	7,3	6,8
Conductividad	μS/cm	101	86	85	100	75	73
TDS	mg/L	53	45	45	49	39	39
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	30,5	33,1	29	S/D	31,8	28,1
pH		7,9	8,2	7,9	S/D	8,0	8,1
Conductividad	μS/cm	98	113	96	S/D	90	100
TDS	mg/L	52	60	51	S/D	47	53

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		9,0	8,6	8,9	8,2	7,6	6,6
Conductividad	μS/cm	104	87	87	92	72	73
TDS	mg/L	55	46	46	48	38	38
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	29,5	33,8	28,4	S/D	31,6	30,7
pH		7,7	8,1	7,9	S/D	8,5	8,6
Conductividad	μS/cm	95	110	99	S/D	90	102
TDS	mg/L	50	58	52	S/D	47	54

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		8,8	8,7	9,0	8,1	7,7	6,4
Conductividad	μS/cm	103	87	89	94	70	75
TDS	mg/L	54	46	47	50	37	39
Parámetros	Unidades	03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Temperatura	°C	30,3	34,2	27,7	S/D	32,4	31,7
pH		7,9	8,1	7,3	S/D	8,9	8,8
Conductividad	μS/cm	101	111	99	S/D	90	103
TDS	mg/L	54	59	52	S/D	55	54

4.1.1 Profundidad Secchi.

El Cuadro 12 contiene los datos obtenidos de profundidad Secchi a lo largo de los doce meses de estudio para cada uno de los puntos.

Cuadro 12: Profundidad Secchi.

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

Puntos	Promedio (m)	FECHA DE MUESTREO					
		03/08/10	23/09/10	15/10/10	20/11/10	22/12/10	19/01/11
Punto 1		0,45	0,3	0,35	0,35	0,35	0,3
Punto 2		0,5	0,33	0,3	0,37	0,35	0,3
Punto 3		0,4	0,25	0,35	0,4	0,35	0,3
Punto 4		0,5	0,34	0,3	0,42	0,35	0,32
Punto 5		0,53	0,29	0,28	0,35	0,33	0,25
Punto 6		0,45	0,34	0,28	0,42	0,4	0,25
Punto 7		0,45	0,23	0,3	0,35	0,32	0,25
Punto 8		0,4	0,27	0,24	0,35	0,3	0,33

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 las longitudes de onda 664b y 664a aplicados a las ecuación (7) para el cálculo de clorofila *a* para cada muestra durante las 12 jornadas de trabajo.

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)
20/02/2010	0,003	0,076	0,083	ND	ND
21/03/2010	0,005	0,406	0,263	0,039	39
24/04/2010	0,004	0,229	0,15	0,017	17
30/05/2010	0,004	0,329	0,207	0,026	26
19/06/2010	0,005	0,142	0,099	0,011	11
09/07/2010	0,004	0,365	0,255	0,026	26
03/08/2010	0,007	0,196	0,116	0,030	30
23/09/2010	0,007	0,300	0,182	0,044	44
15/10/2010	0,007	0,470	0,282	0,070	70
20/11/2010	0,007	0,215	0,134	0,030	30
22/12/2010	0,007	0,119	0,076	0,016	16
19/01/2011	0,007	0,138	0,088	0,019	19

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)
20/02/2010	0,007	0,209	0,135	0,025	25
21/03/2010	0,004	0,382	0,251	0,03	30
24/04/2010	0,003	0,34	0,219	0,019	19
30/05/2010	0,005	0,404	0,357	0,013	13
19/06/2010	0,003	0,106	0,088	0,003	3
09/07/2010	0,004	0,266	0,245	0,005	5
03/08/2010	0,007	0,270	0,164	0,040	40
23/09/2010	0,007	0,583	0,347	0,088	88
15/10/2010	0,007	0,405	0,237	0,063	63
20/11/2010	0,007	0,150	0,096	0,020	20
22/12/2010	0,007	0,156	0,141	0,006	6
19/01/2011	0,007	0,237	0,130	0,040	40

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)
20/02/2010	0,003	0,219	0,011	0,011	11
21/03/2010	0,005	0,31	0,197	0,03	30
24/04/2010	0,007	0,335	0,218	0,044	44
30/05/2010	0,004	0,266	0,169	0,022	22
19/06/2010	0,004	0,187	0,153	0,008	8
09/07/2010	0,004	0,555	0,347	0,046	46
03/08/2010	0,007	0,404	0,254	0,056	56
23/09/2010	0,007	0,351	0,311	0,015	15
15/10/2010	0,007	0,777	0,426	0,131	131
20/11/2010	0,007	0,265	0,176	0,033	33
22/12/2010	0,007	0,213	0,131	0,031	31
19/01/2011	0,007	0,147	0,076	0,027	27

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)
20/02/2010	0,003	0,148	0,028	0,019	19
21/03/2010	0,005	0,398	0,267	0,035	35
24/04/2010	0,006	0,396	0,266	0,042	42
30/05/2010	0,003	0,305	0,269	0,006	6
19/06/2010	0,004	0,217	0,166	0,013	13
09/07/2010	0,004	0,095	0,075	0,004	4
03/08/2010	0,007	0,304	0,187	0,044	44
23/09/2010	0,007	0,398	0,233	0,062	62
15/10/2010	0,007	0,648	0,387	0,098	98
20/11/2010	0,007	0,193	0,123	0,026	26
22/12/2010	0,007	0,310	0,181	0,048	48
19/01/2011	0,007	0,196	0,110	0,032	32

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)
20/02/2010	0,003	0,217	0,101	0,019	19
21/03/2010	0,005	0,607	0,401	0,055	55
24/04/2010	0,005	0,318	0,208	0,029	29
30/05/2010	0,004	0,395	0,249	0,033	33
19/06/2010	0,004	0,119	0,087	0,007	7
09/07/2010	0,005	0,406	0,278	0,038	38
03/08/2010	0,007	0,424	0,262	0,061	61
23/09/2010	0,007	0,455	0,273	0,068	68
15/10/2010	0,007	0,656	0,363	0,110	110
20/11/2010	0,007	0,237	0,169	0,025	25
22/12/2010	0,007	0,261	0,165	0,036	36
19/01/2011	0,007	0,198	0,115	0,031	31

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)
20/02/2010	0,005	0,223	0,116	0,029	29
21/03/2010	0,006	0,444	0,296	0,047	47
24/04/2010	0,005	0,41	0,272	0,037	37
30/05/2010	0,003	0,384	0,244	0,027	27
19/06/2010	0,003	0,148	0,134	0,003	3
09/07/2010	0,003	0,127	0,081	0,009	9
03/08/2010	0,007	0,480	0,296	0,069	69
23/09/2010	0,007	0,321	0,198	0,046	46
15/10/2010	0,007	0,684	0,405	0,104	104
20/11/2010	0,007	0,311	0,186	0,047	47
22/12/2010	0,007	0,263	0,153	0,041	41
19/01/2011	0,007	0,090	0,048	0,016	16

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)
20/02/2010	0,003	0,191	0,091	0,016	16
21/03/2010	0,006	0,621	0,418	0,069	69
24/04/2010	0,005	0,289	0,19	0,029	29
30/05/2010	0,004	0,296	0,19	0,025	25
19/06/2010	0,005	0,201	0,136	0,017	17
09/07/2010	0,003	0,152	0,104	0,009	9
03/08/2010	0,007	0,447	0,230	0,081	81
23/09/2010	0,007	0,308	0,193	0,043	43
15/10/2010	0,007	0,711	0,418	0,110	110
20/11/2010	0,007	0,291	0,185	0,040	40
22/12/2010	0,007	0,350	0,191	0,059	59
19/01/2011	0,007	0,074	0,040	0,013	13

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)
20/02/2010	0,006	0,193	0,087	0,034	34
21/03/2010	0,005	0,564	0,391	0,05	50
24/04/2010	0,005	0,345	0,247	0,029	29
30/05/2010	0,004	0,34	0,225	0,025	25
19/06/2010	0,004	0,188	0,128	0,013	13
09/07/2010	0,003	0,103	0,093	0,002	2
03/08/2010	0,007	0,208	0,129	0,030	30
23/09/2010	0,007	0,369	0,229	0,052	52
15/10/2010	0,007	0,491	0,303	0,070	70
20/11/2010	0,007	0,347	0,211	0,051	51
22/12/2010	0,007	0,288	0,176	0,042	42
19/01/2011	0,007	0,076	0,048	0,010	10

4.2.2 Fósforo Total

Del Cuadro 21 al Cuadro 28 se encuentran los datos obtenidos de las mediciones de Fósforo Total de cada muestra en unidades de mg/L y transformados a unidades de micro (μ) durante las doce jornadas de muestreo.

Cuadro 21: Muestra 1

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (μg/l) P
20/02/2010	0,003	3
21/03/2010	0,02	20
24/04/2010	0,011	11
30/05/2010	0,046	46
19/06/2010	0,054	54
09/07/2010	0,047	47
03/08/2010	0,03	30
23/09/2010	0,05	50
15/10/2010	0,02	20
20/11/2010	0,01	10
22/12/2010	0,02	20
19/01/2011	0,04	40

Cuadro 22: Muestra 2

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (μg/l) P
20/02/2010	0,008	8
21/03/2010	0,013	13
24/04/2010	0,02	20
30/05/2010	0,033	33
19/06/2010	0,041	41
09/07/2010	0,041	41
03/08/2010	0,03	30
23/09/2010	0,02	20
15/10/2010	0,01	10
20/11/2010	0,01	10
22/12/2010	0,02	20
19/01/2011	0,01	10

Cuadro 23: Muestra 3

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (µg/l) P
20/02/2010	0,024	24
21/03/2010	0,011	11
24/04/2010	0,031	31
30/05/2010	0,033	33
19/06/2010	0,068	68
09/07/2010	0,07	70
03/08/2010	0,02	20
23/09/2010	0,02	20
15/10/2010	0,02	20
20/11/2010	0,02	20
22/12/2010	0,01	10
19/01/2011	0,01	10

Cuadro 24: Muestra 4.

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (µg/l) P
20/02/2010	0,047	47
21/03/2010	0,013	13
24/04/2010	0,016	16
30/05/2010	0,005	5
19/06/2010	0,042	42
09/07/2010	0,046	46
03/08/2010	0,02	20
23/09/2010	0,02	20
15/10/2010	0,03	30
20/11/2010	0,02	20
22/12/2010	0,01	10
19/01/2011	0,02	20

Cuadro 25: Muestra 5

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (µg/l) P
20/02/2010	0,046	46
21/03/2010	0,008	8
24/04/2010	0,02	20
30/05/2010	0,016	16
19/06/2010	0,07	70
09/07/2010	0,067	67
03/08/2010	0,01	10
23/09/2010	0,01	10
15/10/2010	0,02	20
20/11/2010	0,03	30
22/12/2010	0,01	10
19/01/2011	0,03	30

Cuadro 26: Muestra 6

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (µg/l) P
20/02/2010	0,051	51
21/03/2010	0,01	10
24/04/2010	0,029	29
30/05/2010	0,024	24
19/06/2010	0,041	41
09/07/2010	0,041	41
03/08/2010	0,01	10
23/09/2010	0,01	10
15/10/2010	0,04	40
20/11/2010	0,02	20
22/12/2010	0,02	20
19/01/2011	0,02	20

Cuadro 27: Muestra 7

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (µg/l) P
20/02/2010	0,026	26
21/03/2010	0,007	7
24/04/2010	0,038	38
30/05/2010	0,029	29
19/06/2010	0,072	72
09/07/2010	0,068	68
03/08/2010	0,02	20
23/09/2010	0,01	10
15/10/2010	0,03	30
20/11/2010	0,07	70
22/12/2010	0	0
19/01/2011	0,01	10

Cuadro 28: Muestra 8

FECHA DE MEDICIÓN	Fósforo Total (mg/l) P	Fósforo Total (µg/l) P
20/02/2010	0,055	55
21/03/2010	0,003	3
24/04/2010	0,026	26
30/05/2010	0,031	31
19/06/2010	0,042	42
09/07/2010	0,041	41
03/08/2010	0,02	20
23/09/2010	0,02	20
15/10/2010	0,02	20
20/11/2010	0,02	20
22/12/2010	0,03	30
19/01/2011	0,01	10

4.3 Cálculo del Índice de Estado Trófico modificado (IET_M)

Del cuadro 29 al Cuadro 36 se presentan los datos obtenidos una vez que se ha aplicado las ecuaciones respectivas para calcular los Índices de Estado Trófico Modificados para la profundidad Secchi, para la clorofila *a*, y para el fósforo total, además mediante la aplicación de la ecuación (8) se obtuvo el promedio de todos los índices de estado trófico (IET_M) antes mencionados para cada jornada de muestreo.

Cuadro 29: Punto 1

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M prom
Febrero	62	0	13	62
Marzo	65	67	40	57
Abril	65	59	31	52
Mayo	64	63	52	60
Junio	57	55	54	55
Julio	62	63	52	59
Agosto	62	65	46	58
Septiembre	68	69	53	63
Octubre	66	73	40	60
Noviembre	66	65	30	54
Diciembre	66	58	40	55
Enero	68	60	50	59

Cuadro 30: Punto 2

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M prom
Febrero	62	63	27	51
Marzo	65	65	34	55
Abril	67	60	40	56
Mayo	64	56	47	56
Junio	57	42	50	50
Julio	61	47	50	53
Agosto	61	67	46	58
Septiembre	67	75	40	61
Octubre	68	72	30	57
Noviembre	65	61	30	52
Diciembre	66	48	40	51
Enero	68	68	30	55

Cuadro 31: Punto 3

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M prom
Febrero	65	55	43	54
Marzo	66	65	31	54
Abril	65	69	46	60
Mayo	63	62	47	57
Junio	56	51	58	55
Julio	61	69	58	63
Agosto	64	71	40	58
Septiembre	71	58	40	56
Octubre	66	79	40	62
Noviembre	64	66	40	57
Diciembre	66	65	30	54
Enero	68	63	30	54

Cuadro 32: Punto 4

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M prom
Febrero	64	60	52	59
Marzo	67	66	34	56
Abril	64	68	37	56
Mayo	64	49	20	44
Junio	56	56	51	54
Julio	60	44	52	52
Agosto	61	68	40	56
Septiembre	66	72	40	59
Octubre	68	76	46	63
Noviembre	63	63	40	56
Diciembre	66	69	30	55
Enero	67	65	40	58

Cuadro 33: Punto 5

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M prom
Febrero	65	60	52	59
Marzo	67	71	27	55
Abril	65	64	40	56
Mayo	63	66	37	55
Junio	58	50	58	55
Julio	62	67	57	62
Agosto	60	72	30	54
Septiembre	69	73	30	57
Octubre	69	78	40	62
Noviembre	66	63	46	58
Diciembre	67	66	30	54
Enero	71	65	46	61

Cuadro 34: Punto 6

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M prom
Febrero	66	64	53	61
Marzo	67	69	30	55
Abril	65	67	45	59
Mayo	63	64	43	56
Junio	60	42	50	51
Julio	60	53	50	54
Agosto	62	73	30	55
Septiembre	66	69	30	55
Octubre	69	77	50	65
Noviembre	63	69	40	57
Diciembre	64	68	40	57
Enero	71	58	40	56

Cuadro 35: Punto 7

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_M prom
Febrero	64	58	44	55
Marzo	68	73	25	55
Abril	64	64	49	59
Mayo	63	63	45	57
Junio	58	59	58	58
Julio	58	53	58	56
Agosto	62	75	40	59
Septiembre	72	68	30	57
Octubre	68	78	46	64
Noviembre	66	67	58	64
Diciembre	67	72	0	46
Enero	71	56	30	52

Cuadro 36: Punto 8

MES	IET_M (Sec)	IET_M (Cla)	IET_M (PT)	IET_Mprom
Febrero	64	66	55	61
Marzo	67	70	13	50
Abril	64	64	44	57
Mayo	64	63	46	58
Junio	57	56	51	55
Julio	56	38	50	48
Agosto	64	65	40	56
Septiembre	70	70	40	60
Octubre	71	73	40	62
Noviembre	66	70	40	59
Diciembre	68	68	46	61
Enero	67	54	30	50

Cuadro 37: Promedios de Índice de Estado Tráfico Modificados para cada punto de muestreo después de doce meses de estudio.

PUNTOS	IET_M
Punto1	56
Punto 2	54
Punto 3	57
Punto 4	56
Punto 5	57
Punto 6	57
Punto 7	57
Punto 8	56

Cuadro 38: Promedios generales de Índice de Estado Tráfico Modificados para la laguna de Limoncocha, mes a mes, a lo largo de un año de estudio.

MES	IET_M
Febrero	55
Marzo	55
Abril	57
Mayo	55
Junio	54
Julio	56
Agosto	57
Septiembre	59
Octubre	62
Noviembre	57
Diciembre	54
Enero	56

4.4 Gráficos y Discusión

4.4.1 Parámetros “In Situ”

- **Temperatura**

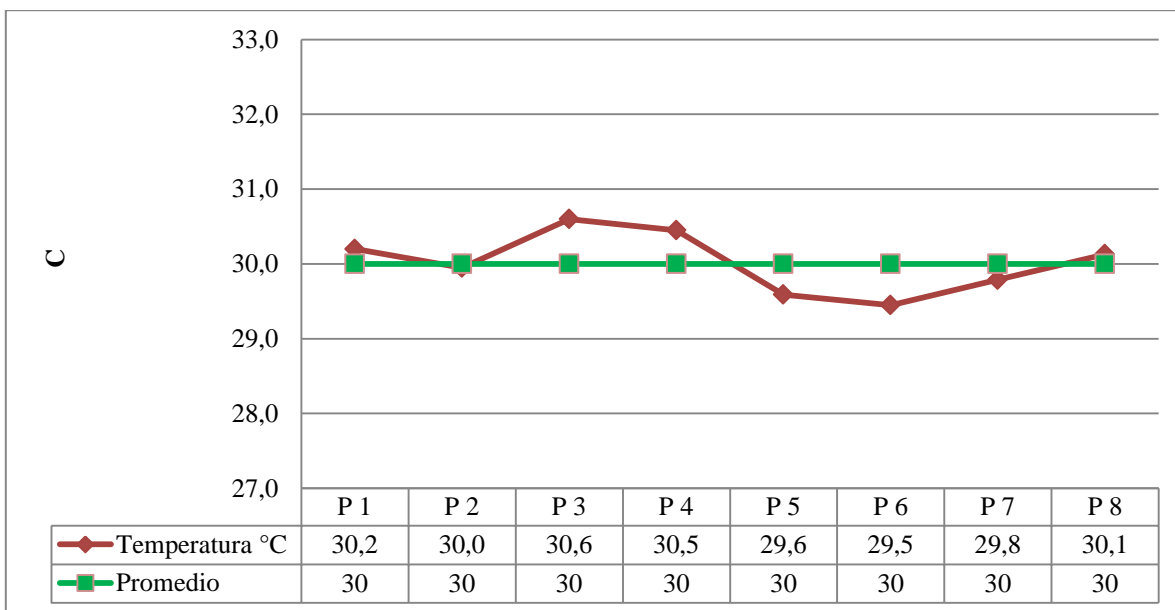


Gráfico 1: Promedio de temperatura para cada punto de muestreo.

El Gráfico 1 representa el promedio de temperatura para cada punto de muestreo a lo largo de doce meses de estudio, en el que se puede observar como los puntos de mayor temperatura o más calientes al punto 3 y al punto 4 con valores de 30,6 °C y 30,5 °C respectivamente y a los puntos con menor temperatura o más fríos al punto 5 y al punto 6 con valores de 29,6°C y 29,5°C respectivamente.

Es importante mencionar que el parámetro temperatura, es homogéneo en toda la laguna ya que la diferencia entre el punto más alto y el punto más bajo es de tan solo 1,1°C.

El valor promedio de toda la Laguna de Limoncocha es de 30°C

- pH

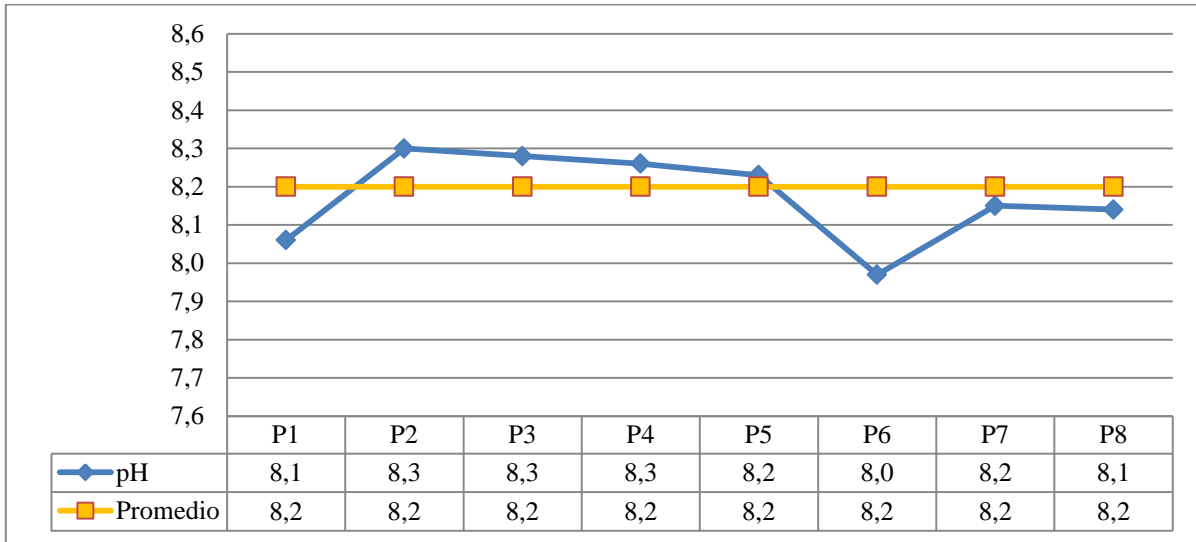


Gráfico 2: Promedio de pH para cada punto de muestreo.

El Gráfico 2 representa los promedios de pH para cada punto de muestreo a lo largo de doce meses de estudio, en el que se puede observar el dato más básico en el punto 2 con un valor de 8,30 y el dato más ácido se registra en el punto 6 con un valor de 7,97. La diferencia entre el valor más alto y el valor más bajo es de 0,33 que indica las características homogéneas de pH de la laguna.

El valor promedio de pH de la Laguna de Limoncocha es de 8,17 lo que denota una tendencia alcalina de las aguas de la laguna.

- **Conductividad**

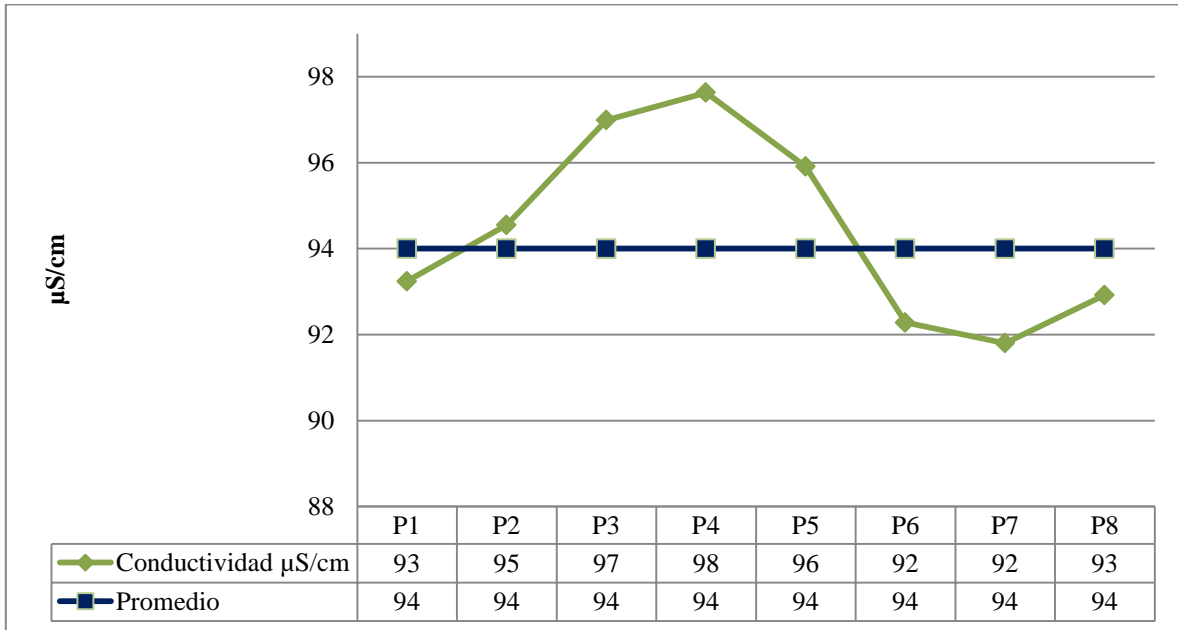


Gráfico 3: Promedio de Conductividad para cada punto de muestreo.

El Gráfico 3 representa los promedios de Conductividad en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenidos en cada punto de muestreo a lo largo de doce meses de estudio, en el que se destaca el dato más alto en el punto 4 con un valor de $97,6 \mu\text{S}/\text{cm}$ y el dato más bajo se registra en el punto 7 con un valor de $91,8 \mu\text{S}/\text{cm}$. La diferencia entre el valor más alto y el valor más bajo es de $5,8 \mu\text{S}/\text{cm}$, que para el parámetro conductividad es despreciable lo que una vez más confirma la característica homogénea de la laguna para el parámetro en mención.

El valor medio de Conductividad para la laguna de Limoncocha es de $94,4 \mu\text{S}/\text{cm}$.

- **Sólidos Totales Disueltos (TDS)**

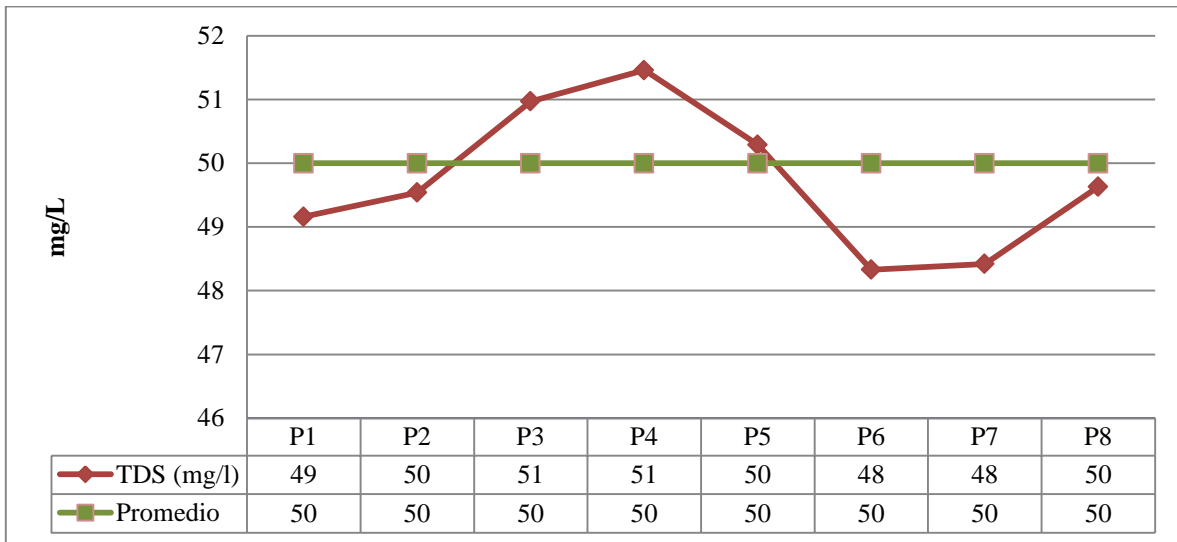


Gráfico 4: Promedio de Sólidos Totales Disueltos (TDS) para cada punto de muestreo.

El Gráfico 4 representa los promedios de Sólidos Totales Disueltos (TDS) en unidades de mg/l, obtenidos para cada punto de muestreo a lo largo de doce meses de estudio, en el que se destaca el dato más alto en el punto 4 con un valor de 51,5 mg/l y el valor más bajo se registra en el punto 6 con un valor de 48,3 mg/l. La diferencia entre el valor más alto y el valor más bajo registrado para el parámetro TDS es de 3,2 mg/l, valor que termina de corroborar la tendencia homogénea que presenta toda la laguna de Limoncocha.

El valor medio de TDS para toda la laguna de Limoncocha es de 49,7 mg/l.

Es importante destacar que las curvas tanto de Conductividad como de Sólidos Totales Disueltos presentan una semejanza muy importante en su forma, esto se debe a la correlación que existe entre ambos parámetros.

- **Profundidad Secchi.**

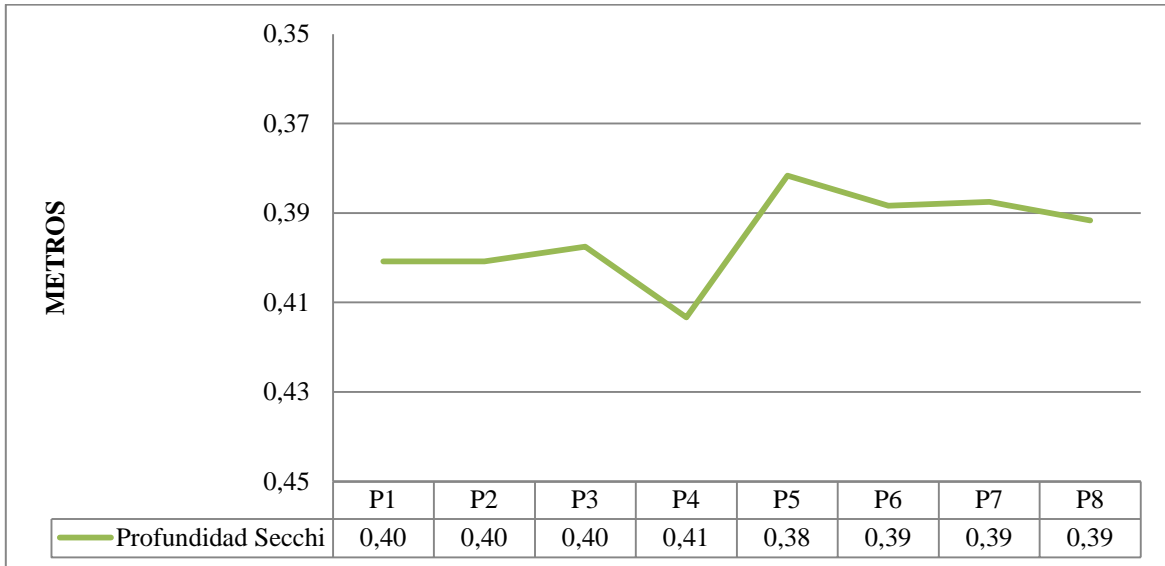


Gráfico 5: Promedio de la Profundidad Secchi (m) para cada punto de muestreo.

El Gráfico 5 representa los promedios de Profundidad Secchi expresado en unidades de metros, obtenidos en cada punto de muestreo a lo largo de los doce meses de estudio, en el que se observa al punto 4 como el punto de mayor transparencia con un valor de 0,41 metros y se registra al punto 5 como el punto de menor transparencia con un valor de 0,38 metros. La diferencia entre el punto de mayor transparencia y el de menor transparencia es de tan solo 0,02 metros, es decir, dos centímetros lo que indica también que en términos de profundidad Secchi la laguna de Limoncocha es homogénea.

4.4.2 Parámetros analizados en laboratorio

- **Clorofila *a***

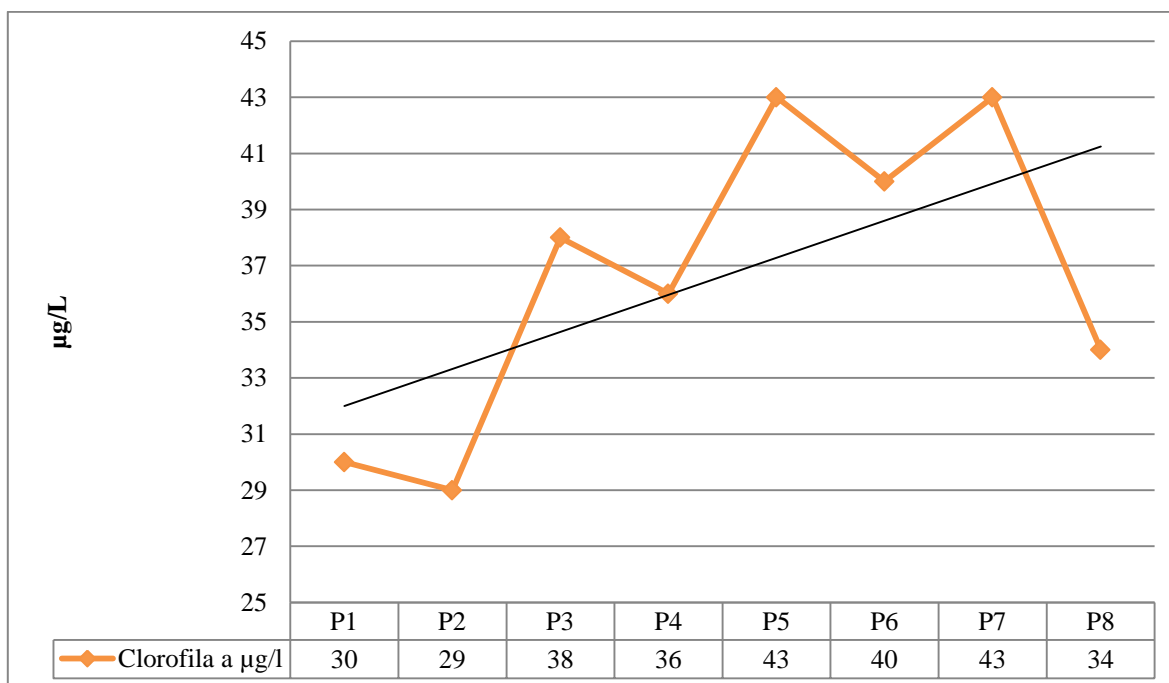


Gráfico 6: Promedio de la Clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) para cada punto de muestreo.

El Gráfico 6 corresponde a la Clorofila *a* expresado en unidades de $\mu\text{g/L}$ a lo largo de los doce meses de estudio, en el que se observa la mayor concentración de clorofila *a* en el punto 5 y en el punto 7 con un valor de $43 \mu\text{g/L}$ y el menor valor registrado se observa en el punto 2 con un valor de $29 \mu\text{g/L}$. Con respecto a éste parámetro se observa una gran diferencia entre el mayor y el menor valor, que es de $14 \mu\text{g/L}$ el cual difiere con la tendencia que reflejan el resto de parámetros de homogeneidad que presentaba la laguna de Limoncocha.

- **Fósforo Total.**

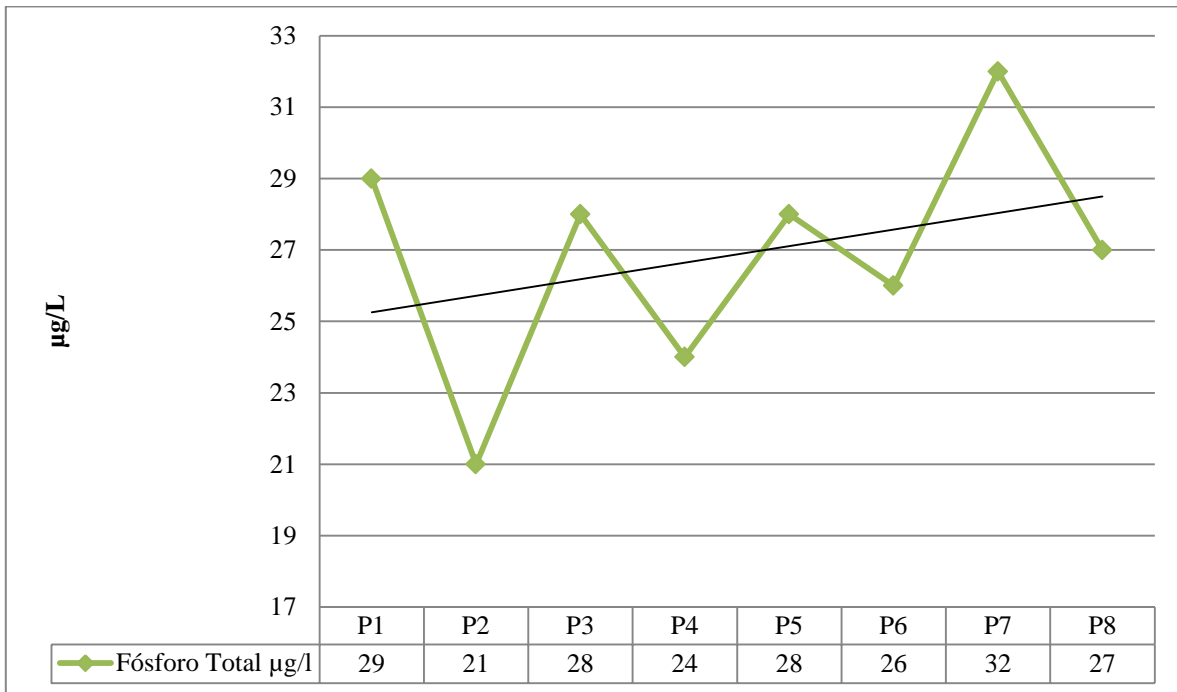


Gráfico 7: Promedio de Fósforo Total µg/L para cada punto de muestreo.

El Gráfico 7 representa los valores obtenidos para el parámetro Fósforo Total en unidades de µg/L a lo largo de los 12 meses de muestreo, en el que se puede observar al valor más alto obtenido en el punto 7 con 32 µg/L, mientras que el valor más bajo registrado se encuentra en el punto 2 con un valor de 21 µg/L. Con respecto al parámetro fósforo total y al igual que en el parámetro clorofila *a*, se nota un cambio en el patrón de homogeneidad que presenta la laguna de Limoncocha en el resto de parámetros ya que la diferencia entre el mayor y el menor valor es de 11 µg/L.

4.4.3 Índices de Estado Tráfico Modificado por punto (IET_M)

- Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M).

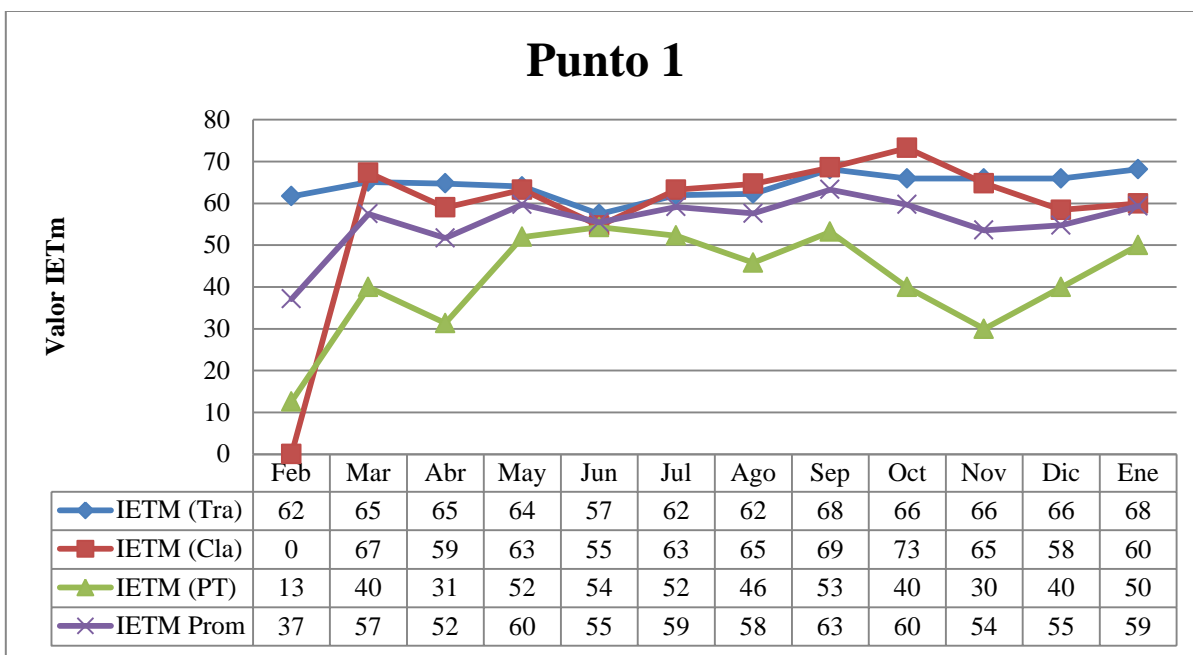


Gráfico 8: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 1.

El Gráfico 8 representa la correlación de los índices de estado tráfico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 1.

Es importante mencionar que, respecto al parámetro Clorofila *a* que indica en el mes de febrero un valor de 0, se debe a que en el mes de estudio mencionado no se pudieron obtener datos que permitieran obtener un valor, sin embargo, se debe destacar que el parámetro Fósforo Total arroja un valor bastante bajo con relación al resto de valores a lo largo del estudio.

Por otra parte, la línea de promedio del Índice de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto1, indica que los meses de mayo y octubre del 2010 poseen el valor de 60 que es el

más alto registrado, mientras que el mes más bajo registrado es de 37 en el mes de febrero del 2010 que inclusive se encuentra dentro del rango de estado oligotrófico.

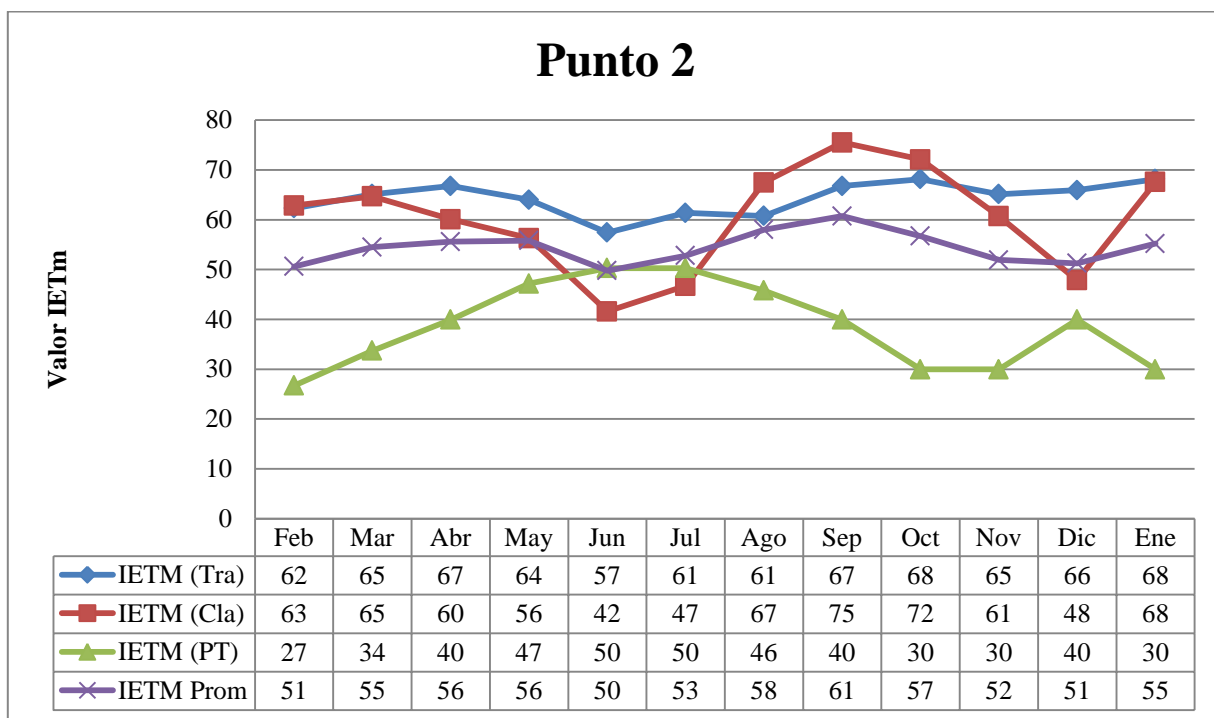


Gráfico 9: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 2.

El Gráfico 9 representa la correlación de los índices de estado tráfico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados respectivamente, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 2.

Se puede observar que la línea que representa la media de IET_M es más lineal y que en el punto 2, siete de los doce meses se encuentran igual o sobre el valor de referencia para nivel eutrófico y cinco de los doce meses están por debajo del nivel eutrófico, es decir, se encuentran en nivel mesotrófico. El menor valor registrado en el punto 2 es de 50 (mesotrófico) y corresponde al mes de junio del 2010 mientras que el valor más alto registrado es de 61 (eutrófico) y corresponde al mes de septiembre del 2010.

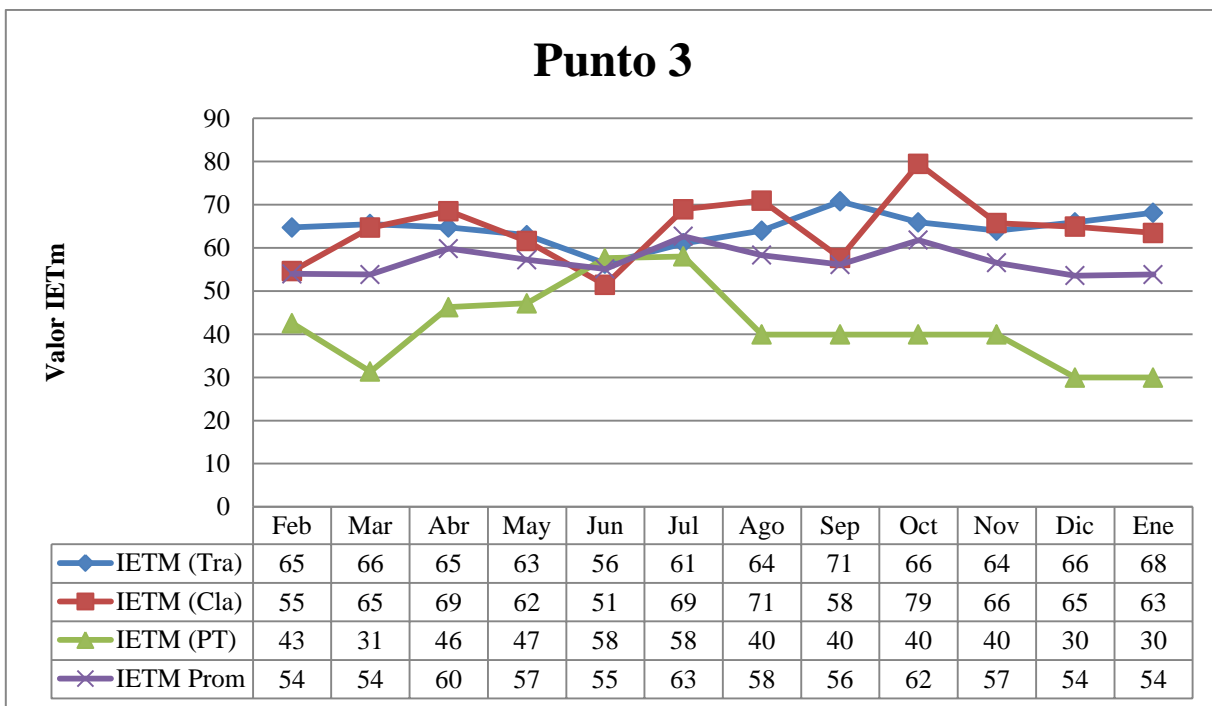


Gráfico 10: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 3.

El Gráfico 10 representa la correlación de los índices de estado tráfico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados respectivamente, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 3.

En el punto 3, la línea del promedio de IET_M indica que ocho de los doce meses de estudio se encuentran igual o sobre el valor de referencia para estado tráfico y cuatro de los doce meses están por debajo del nivel de referencia para estado tráfico, por lo que se encuentran en estado mesotráfico. El menor valor registrado en el punto 3 es de 54 (mesotráfico) y corresponde a los meses de febrero, marzo, diciembre del 2010 y enero del 2011, mientras que el valor más alto es de 63 (eutráfico) corresponde al mes de julio del 2010.

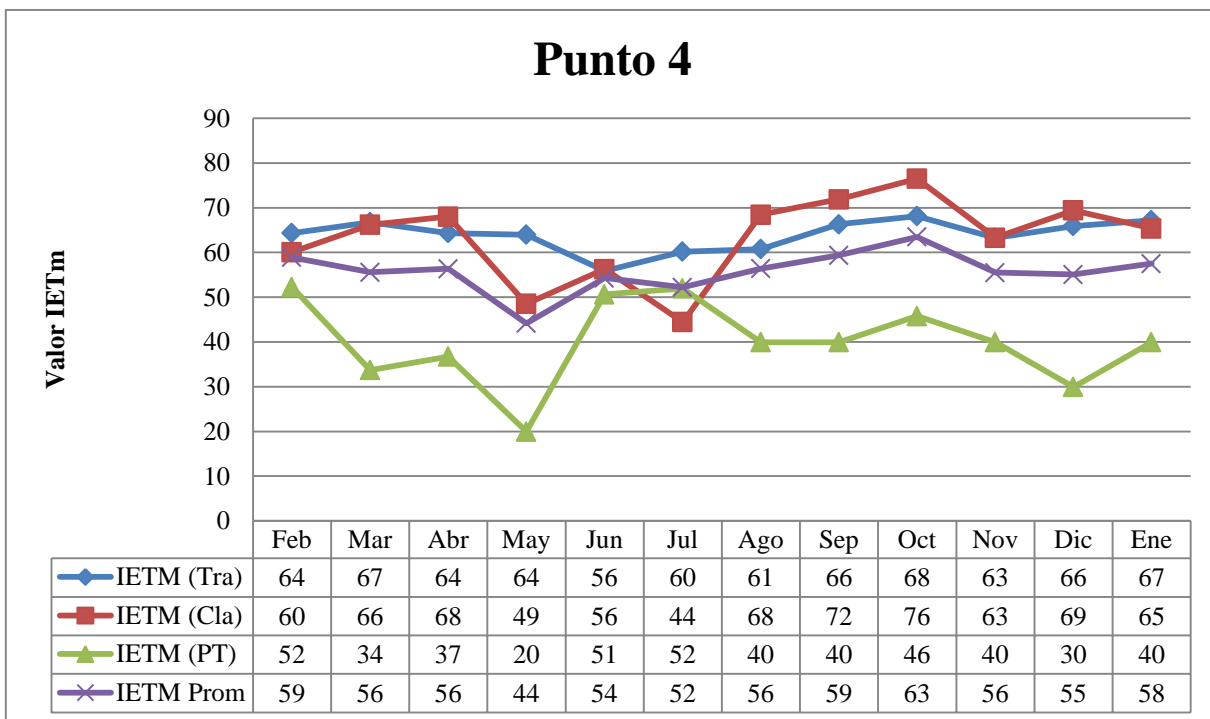


Gráfico 11: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 4.

El Gráfico 11 representa la correlación de los índices de estado trófico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados respectivamente, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 4.

En el punto 4, la línea del promedio de IET_M indica que nueve de los doce meses de estudio se encuentran igual o sobre el valor de referencia para estado trófico y tan solo tres de los doce meses están por debajo del nivel de referencia para estado trófico, por lo que se encuentran en estado mesotrófico. El menor valor registrado en el punto 4 es de 44 (oligotrófico) y corresponde al mes de mayo del 2010, mientras que el valor más alto es de 63 (eutrófico) corresponde al mes de octubre del 2010.

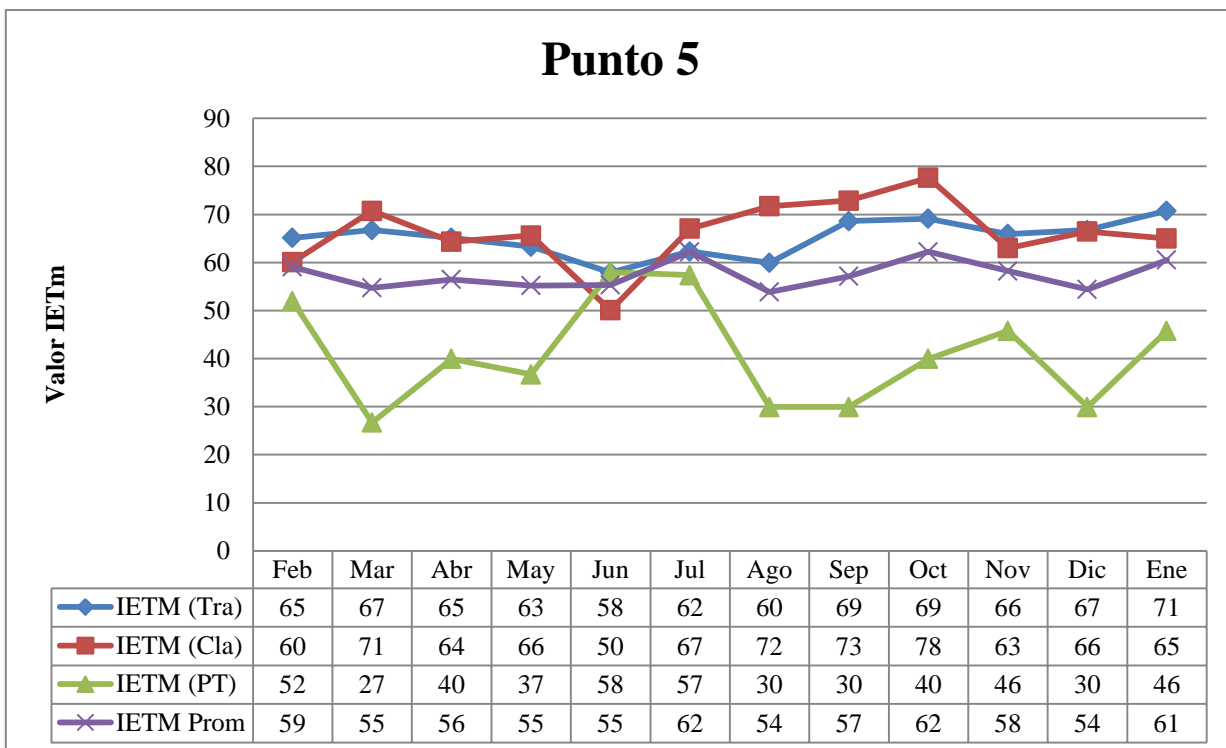


Gráfico 12: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 5.

El Gráfico 12 representa la correlación de los índices de estado tráfico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados respectivamente, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 5.

En el gráfico 12, la línea del promedio de IET_M para el punto 5 indica que diez de los doce meses se encuentran igual o sobre el valor referencial para el estado de eutrofización y tan solo dos meses registran valores inferiores que les ubica en el estado mesotrófico. El menor valor registrado en el punto 5 es de 54 (mesotrófico) y corresponde al mes de agosto del 2010, mientras que el valor más alto es de 62 (eutrófico) y corresponde a los meses de julio y octubre del 2010.

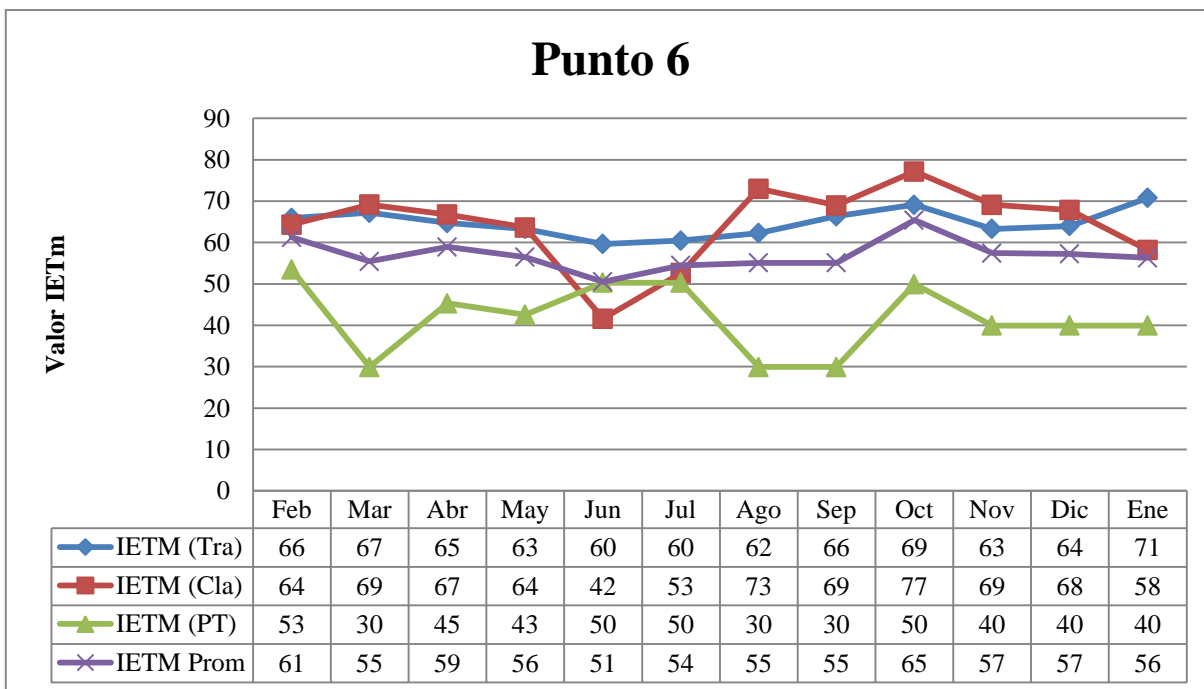


Gráfico 13: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 6.

El Gráfico 13 representa la correlación de los índices de estado tráfico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados respectivamente, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 6.

Al igual que en el punto 5 la línea del promedio de IET_M en el punto 6, demuestra que diez de los doce meses de estudio están igual o sobre el nivel de estado eutrófico y solo dos meses se encuentran en el nivel mesotrófico. El menor valor registrado en el punto 6 es de 51 (mesotrófico) y corresponde al mes de junio del 2010, mientras que el valor más alto es de 65 (eutrófico) y corresponde al mes de octubre del 2010.

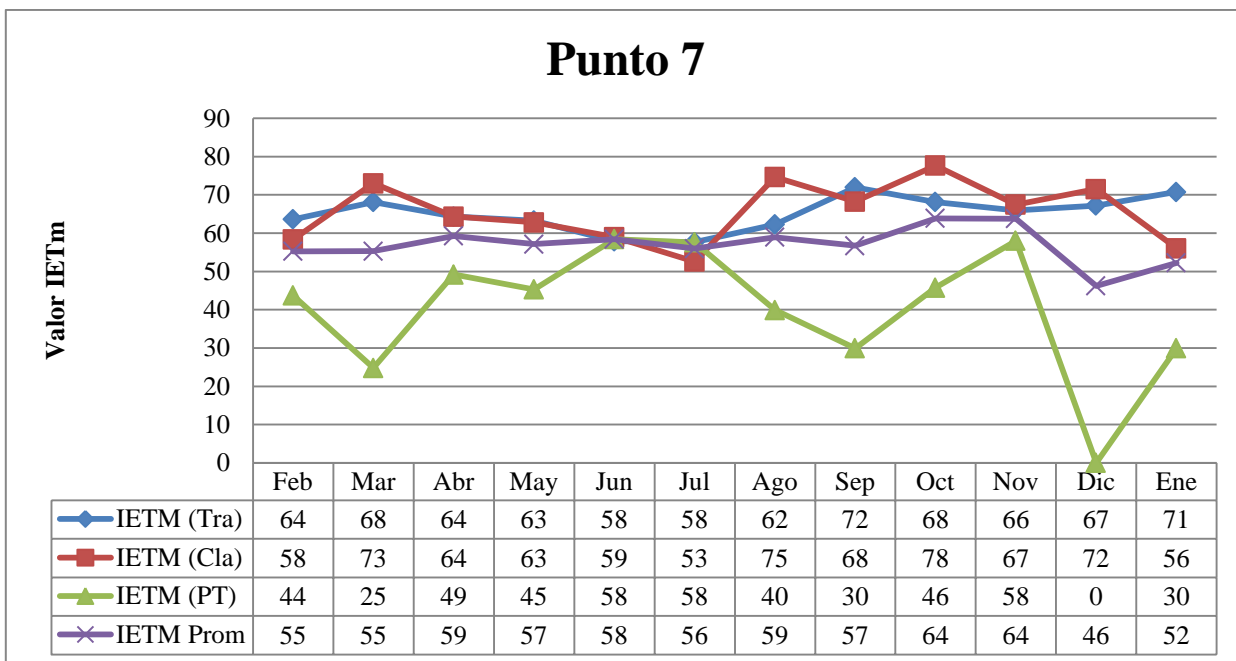


Gráfico 14: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 7.

El Gráfico 14 representa la correlación de los índices de estado tráfico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados respectivamente, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 7.

La línea del promedio de IET_M en el gráfico 14 indica que para el punto 7, solamente dos meses se encuentran en el rango de valores para el estado mesotrófico de laguna, mientras que diez meses están sobre el valor de estado eutrófico. El menor valor registrado en el punto 7 es de 46 (mesotrófico) y corresponde al mes de diciembre del 2010, mientras que el valor más alto es de 64 (eutrófico) y corresponde a los meses de octubre y noviembre del 2010.

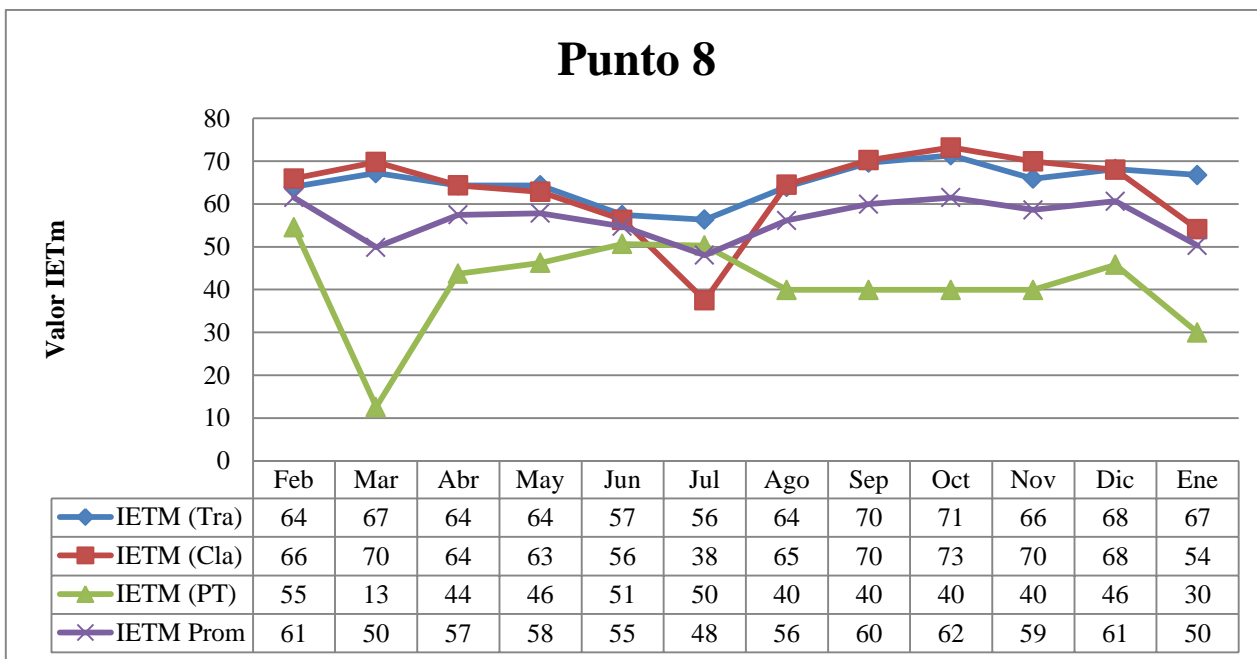


Gráfico 15: Índices de Estado Tráfico Modificado (IET_M) para el Punto 8.

El Gráfico 15 representa la correlación de los índices de estado tráfico modificados (IET_M) para los parámetros de Profundidad Secchi, Clorofila *a*, Fósforo Total y por último el promedio de los tres antes mencionados respectivamente, a lo largo de los doce meses de estudio y descritos mes a mes para el punto 8.

La línea de promedio de IET_M para el punto 8, indica que nueve de los doce meses de estudio se encuentran igual o sobre el nivel de estado eutrófico, por lo tanto, tres de los doce meses de estudio están en el rango de valores de estado mesotrófico. El menor valor registrado en el punto 8 es de 48 (mesotrófico) y corresponde al mes de julio del 2010, mientras que el valor más alto es de 62 (eutrófico) y corresponde al mes de octubre del 2010.

4.4.4 Promedios Generales

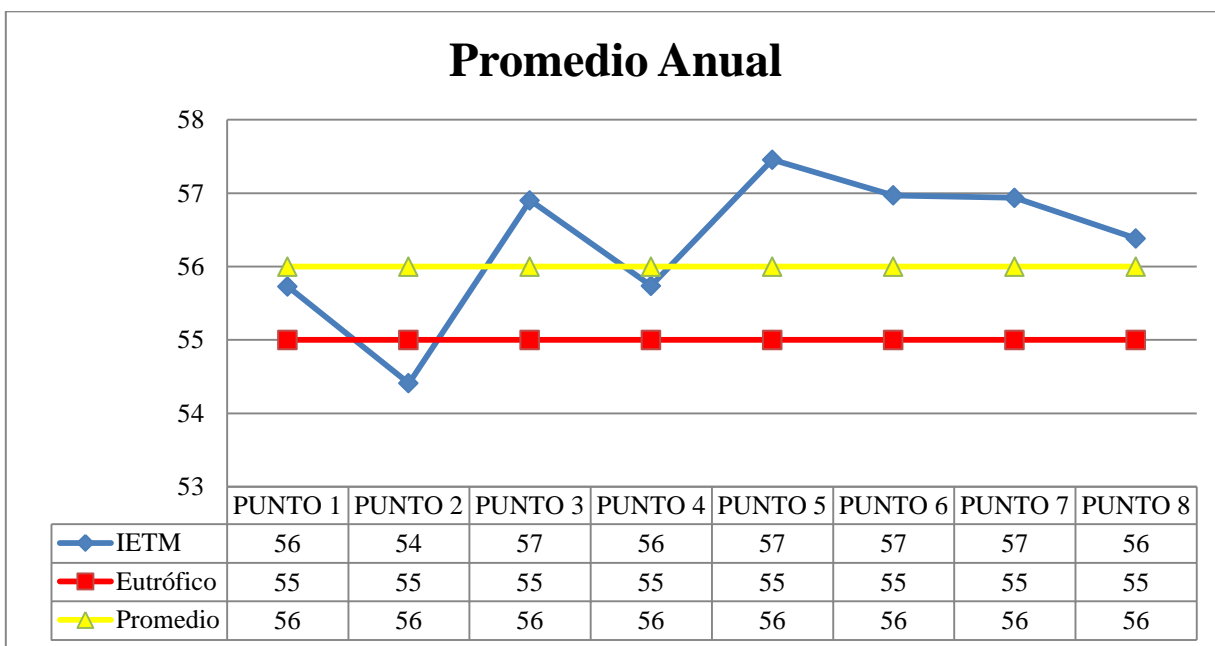


Gráfico 16: Promedio general por puntos de muestreo.

El Gráfico 16 representa los promedios generales de cada punto de muestreo a lo largo de los doce meses de estudio, en el que se puede apreciar a la Laguna de Limoncocha en un estado eutrófico con excepción del punto 2 que tiene un valor de 54 considerado en el rango de valores de estado mesotrófico; los mayores valores son de 57 y se registran en el punto 3, punto 5, punto 6 y punto 7.

El punto 2 se encuentra al frente de la desembocadura del río Pishira, que cruza por las instalaciones no industriales de la plataforma petrolera que se encuentra en el sector. (Walsh, 2003). Sin embargo, es el único punto que se encuentra por debajo del límite eutrófico, aunque por tan solo un punto. Por otra parte, el punto 3 que se encuentra muy cerca del punto 2 y lateral al río Pishira presenta un valor de 57, el más alto, lo que indica que probablemente la corriente de la laguna está llevando los aportes de materia orgánica y sedimento hacia la esquina del punto 3.

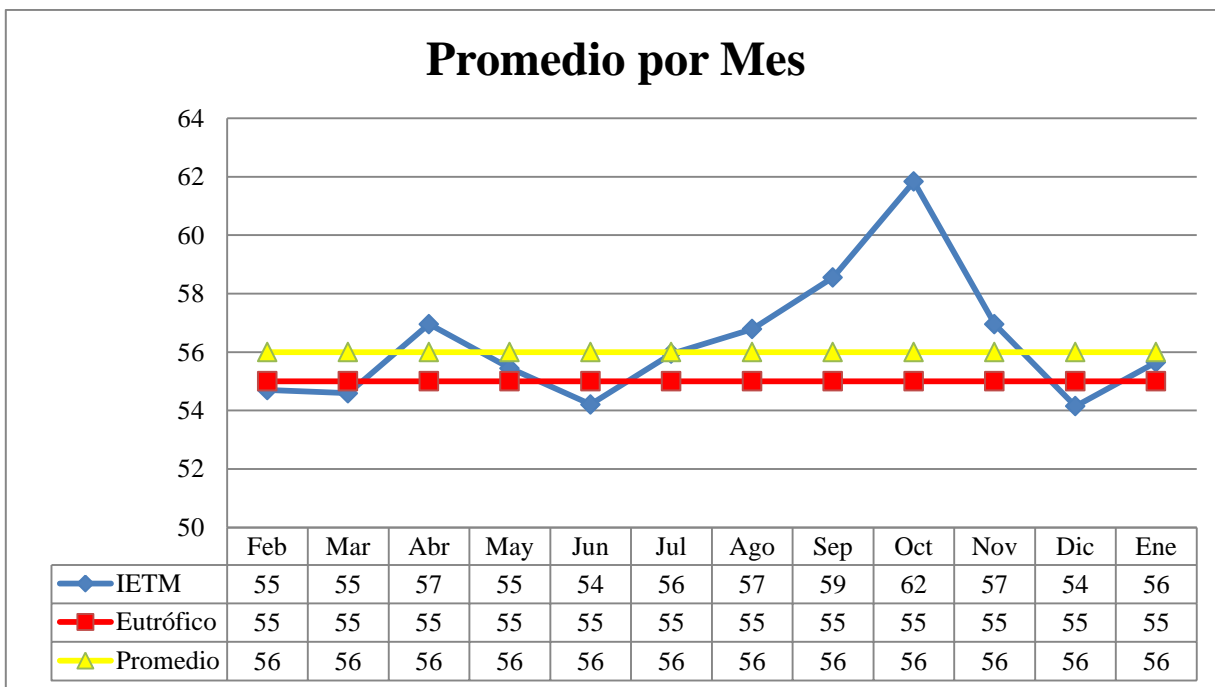


Gráfico 17: Promedio general por meses de muestreo.

El Gráfico 17 representa los promedios generales mes a mes a lo largo de un año de muestreo para toda la Laguna de Limoncocha en el que se registra el valor de 62 en el mes de octubre, siendo éste el más alto de todo el estudio y que en la escala trófica se encuentra dentro del rango eutrófico, así mismo, se ve claramente que diez de los doce meses se encuentran en el rango de eutrofización o sobre el mismo y tan solo dos meses están por debajo del límite, es decir, se encuentran en un nivel mesotrófico y son los meses de junio y diciembre del 2010 con un valor de 54 para ambos.

Es importante mencionar que en los meses de agosto a noviembre, la laguna de Limoncocha presentó un descenso notable de su nivel normal, que según algunos lugareños, no se había visto hace varios años, dato que se corrobora con el valor obtenido especialmente en los meses de septiembre y octubre siendo éstos extremadamente altos ya que la clorofila tiende a concentrarse, disminuyendo a la vez la transparencia del agua, parámetros críticos para el análisis trófico de la laguna de Limoncocha.

El promedio general de la laguna de Limoncocha después de un año de estudio es de 56, lo que indica que está sobre el límite del estado eutrófico según los criterios del Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El agua de la laguna de Limoncocha es relativamente homogénea en los valores de sus parámetros, excepto la Clorofila *a* y Fósforo Total que presentan variaciones importantes.
- Al cabo de un año de estudio, el único punto que se encuentra en estado mesotrófico es el P2 que se ubica frente a la desembocadura del río Pishira, sin embargo, el P3 que se ubica en sentido noroeste al río Pishira y bastante cerca del P2, presenta uno de los valores más altos. Esto podría atribuirse a la dirección de la corriente de la laguna.
- Los puntos P3, P5, P6 y P7 registran los valores más altos de índice trófico (57) de todo el estudio, encontrándose los dos últimos puntos en la zona con presencia de lechuguines, que constata el avance visual de éstos hacia el centro de la laguna.
- Prácticamente en todos los puntos de muestreo, los parámetros de Profundidad Secchi y Clorofila *a* se encuentran sobre el rango de estado eutrófico, mientras que el parámetro Fósforo Total se encuentra en el rango de estado oligotrófico.
- En el análisis mensual del estado trófico de la laguna, solo durante los meses de junio y diciembre se encuentran por debajo del límite de estado eutrófico, es decir, en estado mesotrófico; los meses de febrero, marzo y mayo se encuentran en el límite del valor de estado eutrófico (55) y los meses septiembre y octubre registran los valores más altos 59 y 62 respectivamente, coincidiendo con los meses de ausencia de lluvia durante el estudio.
- 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 agosto a noviembre.

- 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, sin embargo, en el presente estudio realizado en un período de un año, se determinó que la laguna de Limoncocha se encuentra en estado eutrófico, con un valor general de 56, un punto sobre el valor límite que es de 55.

5.2 Recomendaciones

- Es importante realizar un monitoreo permanente de la laguna dados los resultados del presente estudio, de la fragilidad del ecosistema y lo que representa para la conservación de la vida en todas sus formas.
- Desarrollar un proyecto que permita determinar las características físico – químicas y la calidad de todos los afluentes y cuerpos de agua que alimentan a la laguna de Limoncocha, para saber cómo pueden influir sobre el componente principal de la RBL.
- Comprobar con estudios de la topografía de la laguna e imágenes satelitales si ha existido algún tipo de cambio en la forma de la misma.
- 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.
- Desarrollar en la medida de lo posible algún sistema que permita mejorar las condiciones de la laguna de Limoncocha.

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., Jongh, D. D., Hohnsosn, C., Lebel, N. y Stevens, C. (1984). *Química Orgánica* (2da Ed.). España: Reverté.
- Bastidas, D. y Lasso, S. (2009). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR): Reserva Biológica Limoncocha*.
- Boland, F. S. (1996). *Perspectives in tropical limnology*. New York, United States: SPB Academic Publishing.
- Brown, T., Burdge, J., Bursten, B. y Lemay, E. (2004). *Química la Ciencia Central* (9na Ed.). México: Pearson Educación.
- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*.
- Cole, G. (1988). *Manual de Limnología*. Buenos Aires - Argentina: Editorial Hemisferio Sur.
- Hach Company. (2003). *DR 4000 Spectrophotometer Procedures Manual* (11va. Ed.). USA.
- Contreras, F., Castañeda, O. y García, N. (1994). *La clorofila a como base para un Índice Trófico en lagunas costeras mexicanas. An. Inst. Cienc. Mar Mimmol. Univ. Nac. Autón. México*.
- Duarte, M. C. (2001). *Comportamento dos Indices do Estado Trófico de Carlson (IET) e Modificado (IETM) em três lagoas naturais no nordeste do Brasil*. Brasil: 20° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

- ECOLAP. y MAE. (2007). *Guía del Patrimonio de Áreas Protegidas del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Espinoza, J. (2001). *Evaluación de los estados tróficos de la laguna de Limoncocha*. Trabajo de fin de carrera, Ingeniería Ambiental, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- García, C., García, D. y Leite, M. (2007). *Comparação entre dois Indices de Estado Trófico para o Reservatório de Ilha Solteira*. Brasil: 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*. Trabajo de fin de carrera, Ingeniería Ambiental, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- Heinke, G. H. (1999). *Ingeniería Ambiental* (2da Ed.). México: Prentice Hall.
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa S.A.
- Miller, T. (1994). *Ecología y Medio Ambiente*. México: Grupo Editorial Iberoamerica S.A.
- Parra, O. (1989). *La eutroficación de la laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio* (Vols. Ambiente y Desarrollo. Vol. V-Nº 1. 117-136).
- Pena, L., Almeida, A. y Ferreira, C. (2004). *Comportamento dos índices do estado trófico de Carlson (IET) e modificado (IETM) no reservatorio da UHE Luis Eduardo Magalhes*. Tocantins, Brasil.

- Peñaherrera, D. (2010). *Estudio sobre el estado trófico actual de la laguna de Limoncocha*. Trabajo de fin de carrera, Ingeniería Ambiental, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- Rocha, P. (2006). *Avaliação de Indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira Lagoa Jacuném*. (Serra, Es). Vitória, Brasil: Tesis de Grado. Universidade Federal do Espírito Santo.
- Roldán, G. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda Ed.). Colombia, Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. y Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología (INE- SEMARNAT).
- Santos, K. y Florencio, L. (2001). *Aplicação de Modelo Simplificado para Avaliação do Estado Trófico no Reservatório de Duas Unas*. Brasil: 21° Congreso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Sawyer, C., Carty, C. M. y Parkin, G. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental* (4ta Ed.). Colombia: Mc Graw Hill.
- Smith, T. (2001). *Ecología* (4ta Ed.). Madrid - España: Pearson Educación S.A.
- Stigliani, T. S. (2004). *Química Medioambiental* (2da Ed.). España: Pearson Educación S.A.
- Walsh. (2003). *Línea Base para la actualización del Plan de Manejo de la Reserva Biológica de Limoncocha*. Quito, Ecuador.

- Wright, B. N. (1999). *Ciencias Ambientales. Ecología y Desarrollo Sostenible*. México: Prentice Hall.

ANEXOS

Anexo 1: Formato de hoja de campo para muestreo.

Estudio del estado trófico en la laguna de Limoncocha			
Datos de Campo			
Lugar y Fecha:			
Observaciones Generales:			
Punto 1	Coordenandas:		
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	
Hora:			
Punto 2	Coordenandas:		
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	
Hora:			
Punto 3	Coordenandas:		
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	
Hora:			
Punto 4	Coordenandas:		
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	

Hora:			
Punto 5			
Coordenandas:			
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	
Hora:			
Punto 6			
Coordenandas:			
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	
Hora:			

Punto 7			
Coordenandas:			
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	
Hora:			

Punto 8			
Coordenandas:			
Profundidad Secchi:			
Sólidos Totales (TDS):		pH:	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$):		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$):	
Hora:			



Foto 1: Envases para recolección de muestras compuestas de agua. (Peñaherrera, 2010)



Foto 2: Muestreador de agua “Van Dorn”



Foto 3: Recolección de muestra de agua a 50 cm de profundidad



Foto 4: Recolección de muestra de agua superficial.

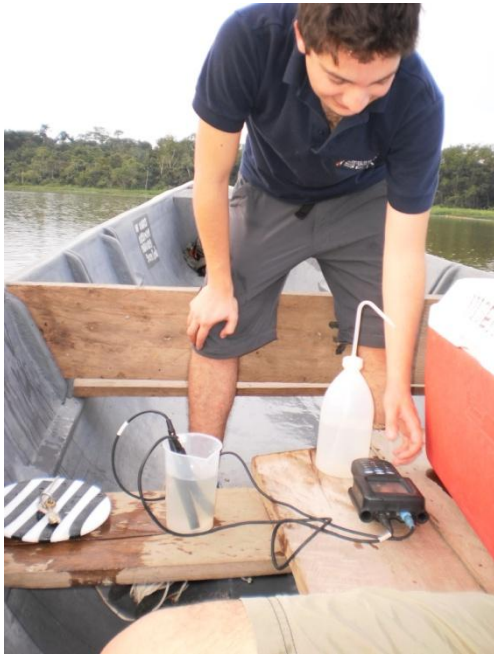


Foto 5: Análisis de parámetros “*In Situ*”



Foto 6: Medición de Profundidad Secchi



Foto 7: Registro de datos “*In Situ*”



Foto 8: Bomba de vacío para filtración
De muestras de agua. (Peñaherrera, 2010)



Foto 9: Espectrofotómetro UV- visible
HACH DR 2800 (Clorofila *a* y Fósforo Total)



Foto 10: Digestor HACH DRB 200
(Fósforo total).



Foto 11: Gastronomía de Limoncocha