

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Ambientales

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

**ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA EN
BASE A LOS ÍNDICES DE CARLSON Y LACAT**

Autor:

Johanna Beatriz Ortiz Wilchez

Director:

Dr. Carlos Ordoñez

Quito - Ecuador

2012

DEDICATORIA

A mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a mi madre Beatriz, por su preocupación, sencillez, dedicación e incondicional amor, sin ella no sería lo que soy ahora.

A mi padre Carlos Iván por su excepcional ejemplo, por su guía y acertada palabra que supo darme en todo momento, con su ayuda he podido cumplir con mis metas.

A mis hermanos Iván y Daniela por sus palabras, cariño y apoyo recibido en todo momento.

A mi abuelita Marcelita por su dulzura y preocupación.

A mi director de tesis el Dr. Carlos Ordoñez por la confianza depositada en la realización del presente proyecto, así como también al Ing. Fabio Villalba, por la ayuda brindada en todo momento.

A la Ing. Katty Coral decana de la Facultad de Ciencias Ambientales, que ha sabido guiar nuestra educación a lo largo de la carrera.

Resumen

Durante el periodo de enero a junio del 2012, se realizaron muestreos en la Laguna Limoncocha, específicamente en tres puntos estratégicos, así como también en sus afluentes entre los cuales están los ríos Pichira y Playayacu.

Con el fin de determinar las características físico-químicas de la laguna y el grado de eutrofización, se realizaron mediciones “in-situ” de pH, Conductividad y Oxígenos Disueltos, tanto en la Laguna como en afluentes. Por otro lado, se determinó las concentraciones mensuales de fósforo total y nitratos en todos los puntos de muestreo establecidos, para la ejecución del presente proyecto.

Para calcular el estado trófico de la Laguna, se utilizaron modelos que se apliquen a éste cuerpo de agua. En efecto, se utilizó el Índice de Estado Trófico (IET) propuesto por Carlson (1977), en el cual se usó los valores de Fósforo Total, Profundidad Secchi y Clorofila α . Así mismo, se aplicó el Programa de Lagos Cálidos Tropicales (LACAT) propuesto por CEPIS, determinando las concentraciones anuales de Fósforo Total en el lago.

Finalmente, el Índice de Estado Trófico propuesto por Carlson, proporcionó datos utilizando los parámetros antes mencionados, en los cuales se indican que la Laguna Limoncocha se encuentra actualmente en un Estado Eutrófico.

Por otro lado, el programa de LACAT demostró que la laguna se encuentra en Estado Hipertrófico según las concentraciones de fósforo presentes.

Palabras Clave: Laguna Limoncocha, Muestreo, Vertientes, Eutrofización, Nutrientes, LACAT, Índice de Estado Trófico.

Abstract

During the period from January to June 2012, three strategic points were sampled in “Laguna Limoncocha”, as well as its tributaries among which are the rivers Playayacu and Pichira.

In order to determine the physicochemical characteristics of the lagoon and the degree of eutrophication, were measured "in situ" pH, conductivity and dissolved oxygen, both in the Lagoon and in tributaries. Furthermore, it was determined monthly, the concentrations of total phosphorus and nitrates in all sampling points established for the implementation of this project

To calculate the trophic status of the lagoon, we used models that were able to apply to this body of water. Indeed, it was used in Trophic State Index (TSI) proposed by Carlson in 1977, in which were used the values of total phosphorus, Secchi Depth and Chlorophyll “a”. Also, we applied the Tropical Warm Lakes Program (LACAT) proposed by CEPIS, determining annual total phosphorus concentrations in the lagoon.

Finally, the Trophic State Index proposed by Carlson, provided data using the aforementioned parameters, which are listed in the Laguna Limoncocha is currently in a eutrophic state.

Furthermore, LACAT program demonstrated that gap is in State Hypertrophic according phosphorus concentrations present.

Keywords: Lagoon Limoncocha, Sampling, Watershed, Eutrophication, Nutrients, LACAT, Trophic State Index.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción del Problema	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Limnología.....	7
2.2. Lagos Cálidos Tropicales	7
2.3. Ecosistema Acuático	7
2.4. Zonas de un lago	8
2.5. Parámetros “in situ”.....	9
2.6. Parámetros de Laboratorio	11
2.7. Eutrofización.....	12
2.8. Determinación del Estado Trófico de la Laguna de Limoncocha	14
3. METODOLOGÍA.	18
3.1. Mediciones de parámetros de laboratorio.....	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Resultados	26
4.1.1. Resultados de mediciones “In Situ” en la Laguna Limoncocha	26
4.1.1.1. PUNTO 1: Frente al Muelle	26
4.1.1.2. PUNTO 2: Centro (Frente a la Antena).....	28
4.1.1.3. PUNTO 3: Caño de la Laguna.....	29
4.1.2. Resultados de mediciones “In Situ” en Afluentes.....	31
4.1.3. Datos y cálculos de laboratorio	34
4.1.3.1. Clorofila α	34
4.1.3.2. Fósforo Total	36
4.1.3.3. Nitratos	37
4.1.4. Cálculo del índice de estado trófico de carlson (IET).....	38

4.1.5.	Programa lagos cálidos tropicales	39
4.1.5.1.	Carga de Fósforo que ingresa a la Laguna Limoncocha al año	40
4.1.5.2.	Fósforo Total de la Cuenca Hidrográfica de la Laguna Limoncocha.....	40
4.1.5.3.	Concentración de Fósforo Total que entra a la Laguna al año	41
4.1.5.4.	Determinación del Estado Trófico de la Laguna.	41
4.2.	Discusión.....	44
4.2.1.	Parámetros “In Situ”	44
4.2.1.1.	Laguna Limoncocha	44
4.2.1.1.1.	pH.....	45
4.2.1.1.2.	Conductividad.....	48
4.2.1.1.3.	Oxígeno Disuelto.....	51
4.2.1.2.	Afluentes.....	54
4.2.1.2.1.	pH.....	54
4.2.1.2.2.	Conductividad.....	58
4.2.1.2.3.	Oxígeno Disuelto.....	62
4.2.2.	Parámetro de Laboratorio.....	66
4.2.2.1.	Laguna Limoncocha	66
4.2.2.1.1.	Fósforo Total.....	66
4.2.2.1.3.	Clorofila α	68
4.2.2.3.	Correlaciones de Parámetros establecidos en la Laguna Limoncocha	74
4.2.3.	Cálculo de Índice de Estado Trófico (IET)	77
4.2.4.	Lagos Cálidos Tropicales	80
4.2.4.1.	Probabilidad del Nivel Trófico de la Laguna	80
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1.	Conclusiones.....	82
5.2.	Recomendaciones.....	84
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS		88
ANEXO 1: Formato para reportar datos de laboratorio.		88
ANEXO 2: Cuenca Hidrográfica Limoncocha		89
ANEXO 3: Usos de Suelo de la Cuenca Hidrográfica Limoncocha.....		90
ANEXO FOTOGRÁFICO:		91

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente trabajo de fin de carrera forma parte del proyecto de investigación “Desarrollo de una línea base limnológica en la laguna de Limoncocha” encabezado por el Ing. Fabio Villalba, a través de la dirección de Investigación e Innovación de la Universidad Internacional SEK. El cuál, se realizó en un periodo comprendido entre enero a junio del 2012, levantando una línea base de los componentes químicos de la laguna de Limoncocha.

Pocos son los estudios que se han realizado para conocer los procesos naturales que se desarrollan en lagos cálidos tropicales y lagos de alta montaña, especialmente en Ecuador.

Las investigaciones que se han llevado a cabo en éstos tipos de lagos, fueron enfocados a determinar aspectos limnológicos que se desarrollan en los lagos de nuestro país y que son actualmente amenazados por actividades antropogénicas.

Un estudio relevante es el desarrollado en Lago San Pablo, investigación que se titula “*Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador*”; en el cual se presentaron resultados obtenidos con los que se estableció el carácter monomictico del lago. Los periodos de estratificación se presentaron entre septiembre y mayo aproximadamente debido a una diferencia de temperatura de máximo 4,5 °C entre las distintas capas de agua.

Las aguas del lago presentaron valores de pH entre 7.6 y 9.0, con valores más altos hacia las capas superficiales y tendencia a la homogeneidad durante la circulación. La conductividad mostro uniformidad a lo largo del año, con valores entre 280 y 337 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo estos característicos de lagos ecuatoriales donde la mineralización es deficiente

Después de varios estudios desarrollados se concluyó que el lago San Pablo podría ser clasificado como monomictico cálido, ya que presenta un solo periodo de mezcla a lo largo del año con temperaturas por encima de 16° C. La formación de una estratificación diaria durante gran parte del año indicaría a su vez un régimen de tipo polimictico, lo cual se considera característico de los lagos de alta montaña (Casallas y Gunkel, 2001).

Así, la Universidad Internacional SEK se ha desarrollado varios proyectos de fin de carrera en la Reserva Biológica Limoncocha, reserva de gran importancia por ser uno de los pocos intervenidos por el hombre, es por esto que en la laguna de esta reserva se ha investigado los procesos limnológicos que indican el estado de la misma.

Así, un proyecto de fin de carrera realizado fue la “*Caracterización limnológica de la laguna de Limoncocha*”, para el desarrollo éste trabajo se tomaron datos de campo mensuales entre enero del 2001 hasta junio del mismo año. El proyecto tuvo la finalidad de conocer el comportamiento del agua desde el punto de vista estratificación – mezcla, para ello se obtuvieron datos de temperatura del agua a diferentes profundidades. El estudio se enfocó en la caracterización física de la laguna de Limoncocha, estableciendo las variables limnológicas esenciales. Como resultado en éste trabajo se tuvo que el grado de eutrofización de la laguna en esa época era reducida (Andrade, 2001).

Otro proyecto realizado fue la “*Caracterización limnológica de la laguna de Limoncocha e identificación de las características hidrológicas básicas de la zona de Limoncocha*” en el cual se realizaron seis monitoreos mensuales, comprendidos en los meses de julio (2002) a febrero (2003). En el desarrollo del proyecto se determinaron parámetros físicos y químicos tanto de la laguna como la de vertientes y ríos aledaños, éstos fueron: conductividad, pH, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez. La obtención de los parámetros medidos permitió determinar la zona eutrófica en la laguna, además se determinó la profundidad Secchi. Con todos los datos obtenidos se concluyó que la estratificación estaría comprendida entre dos periodos (noviembre-febrero, marzo-agosto) (Ayala, 2003).

El trabajo “*Diagnóstico del estado trófico de la laguna de Limoncocha y determinación de la calidad del agua del sistema hídrico de la zona de Limoncocha*” determinó el estado trófico de la laguna de Limoncocha, para esto se fue evaluando la concentración y comportamiento del fósforo total, nitrógeno total y clorofila-a.

Además dentro de los análisis efectuados, se estudió en los sedimentos de fondo de la Laguna, la concentración de fósforo soluble y fósforo total. Para el desarrollo de la investigación se identificaron seis puntos de muestreo de la laguna y tres puntos adicionales en los ríos Pichira, Playayacu y “SEK”, ríos que se encuentran aledaños a la laguna y desembocan en la misma.

Como resultado final, se concluyó que en los meses comprendidos en éste muestreo, la laguna presentó concentraciones de fósforo total relativamente bajas, concentraciones altas de clorofila-a y significativas concentraciones de nitrógeno total (Gómez, 2003).

Finalmente, el proyecto de fin de carrera “*El Estado Trófico de la Laguna de Limoncocha en el Período (Febrero 2010-Enero 2011)*”. Este proyecto fue dividido en dos etapas, en la primera etapa se realizaron estudios en los meses de febrero a julio del 2010, mientras que la segunda se desarrolló durante los meses de agosto del 2010 a enero del 2011. En las dos etapas se realizaron muestreos mensuales en la Laguna de Limoncocha a diferentes profundidades para determinar parámetros “in-situ” de profundidad Secchi, pH, conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales; como también se analizaron clorofila α y fosforo total con el fin de determinar el estado trófico de la laguna. Utilizando el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo Jr., en éste estudio se dedujo que la laguna de Limoncocha se encuentra en estado eutrófico (Granizo, 2011).

Estos estudios aportan básicamente al presente proyecto, dando pautas y registros del estado de la laguna en años anteriores, pudiendo así constatar los posibles cambios que ha sufrido éste cuerpo de agua a lo largo del tiempo y así tener una base importante de las características de la laguna y de sus procesos que están sometidos a constantes cambios y se relacionan con la época del año; pero que deben ser medidos y confirmados a través de un monitoreo sistemático.

1.2.Descripción del Problema

En la actualidad el cambio climático constituye un problema ambiental relevante, por los efectos que se manifiestan sobre todo en los diferentes ecosistemas vulnerables a nivel mundial.

Ecuador no está suficientemente preparado para enfrentar los efectos del cambio climático, siendo preciso promover una perspectiva de adaptación en base a ecosistemas, seguridad humana y vulnerabilidad mutua.

La Amazonía ecuatoriana cuenta con muy pocos datos sobre el efecto del cambio climático, produciendo una gran preocupación, ya que en ésta parte del país se encuentran varios de los ecosistemas más sensibles de Ecuador. Estos ecosistemas por sus características pueden ser

afectados seriamente en la alteración de sus procesos evolutivos naturales, como es el caso de los cuerpos hídricos de la Amazonía, específicamente la Laguna Limoncocha situada en la Reserva Biológica Limoncocha.

El cambio climático tiene el potencial de alterar procesos internos en la laguna, afectando a los organismos acuáticos que viven dentro de ella, es por esto que, resulta importante predecir el comportamiento de lagos mediante modelos, con el objetivo de tomar medidas sobre los efectos que ya se están generando en los diferentes sistemas acuáticos, y los que se van a seguir produciendo en un futuro.

El principal problema de un ecosistema acuático es la eutrofización, a pesar de ser un proceso natural, es intervenido por el hombre con la aportación excesiva de nutrientes que conllevan a la pérdida de las características tanto biológicas como físico-químicas de un determinado cuerpo de agua.

Para la realización del presente proyecto, es necesaria la obtención de datos como resultado de los muestreos mensuales realizados del agua, mediante caracterización química alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo, y de esta manera conocer la influencia que están teniendo las diversas formas de contaminación que existen, sobre la laguna y las diferentes formas de vida que habitan en ella. Por todas estas razones, es importante determinar el estado actual de la laguna, sabiendo que los principales problemas que acechan a la misma son las actividades antrópicas y petroleras principalmente, teniendo en cuenta que en las cercanías de la Reserva se encuentra una zona de extracción de petróleo conocido como el “Bloque 15”.

1.3. Justificación

Existe muy poca información sobre los efectos e impactos que sufre la Amazonía ecuatoriana a consecuencia del cambio climático, por lo que no es posible predecir resultados a consecuencia de ésta modificación en el clima. Es por esto, que se generan varios interrogantes acerca de la sostenibilidad de nuestros recursos naturales y sobre los grupos humanos que están asociados.

La evaluación de la calidad del agua es una tarea importante que se puede realizar teniendo un conocimiento profundo de los procesos limnológicos del cuerpo de agua estudiado. La Reserva Biológica Limoncocha (RBL) se encuentra en la provincia de Sucumbíos, cercana al Parque Nacional Yasuní; está localizada, en su mayoría, dentro de la cuenca del río Capucuy,

cuyos tributarios son: el Playayacu, el Pichira, el Blanco y el Piñasyacu (ECOLAP y MAE, 2007).

La Laguna Limoncocha constituye un ecosistema de vital importancia, especialmente porque en ella se encuentran especies vulnerables de gran interés científico. Esta laguna al ser un ecosistema frágil puede verse influenciado por actividades antropogénicas, desequilibrando sus procesos internos, por lo que puede tener a corto o largo plazo, incidencia en las diferentes formas de vida que habitan esta reserva.

1.3.1. Características de la Reserva Biológica Limoncocha (RBL)

Con lo que respecta al clima, la RBL posee una humedad atmosférica mayor a 80%, sin embargo en días soleados puede situarse alrededor del 50%, con una temperatura de 30 °C y una precipitación anual de 3200 mm.

La laguna Limoncocha situada a 230 msnm, es una de los principales sistemas vulnerables dentro de la Reserva. Posee una superficie de 4613 ha (ECOLAP y MAE, 2007).

Dentro de las formaciones vegetales que se encuentran alrededor de la laguna son: bosque siempreverde de tierras bajas, bosque siempreverde tierras bajas inundado por aguas blancas, bosque siempreverde tierras bajas inundado por aguas negras, bosque inundable de palmas de tierras bajas, herbazal lacustre de tierras bajas. Además es importante mencionar al Sendero Etnobotánico El Caimán que está localizado en el lado sureste de la Laguna Limoncocha y tiene una extensión aproximada de 2 km. La vegetación corresponde a un bosque secundario maduro y los árboles y arbustos del sendero se encuentran señalizados (ECOLAP y MAE, 2007).

En lo que corresponde a la fauna amazónica de la Reserva Biológica Limoncocha presenta un elevado nivel de biodiversidad, que corresponde a 53 especies de mamíferos, 144 de aves, 92 de anfibios y reptiles y 93 de peces (ECOLAP y MAE, 2007).

La Laguna Limoncocha es una de las principales atracciones tanto turísticas como científicas de la Reserva por su elevada biodiversidad, ya que alberga innumerables especies de flora y fauna; actualmente, es un lugar apto para la observación de aves acuáticas, peces y tortugas; en la noche apropiado para encontrar caimanes negros y blancos. Conserva una coloración verde-limón de sus aguas, por efecto del material vegetal que se encuentra dentro de ella.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar una línea base limnológica en la laguna Limoncocha (RBL) con miras a modelizar la incidencia del cambio climático en el área.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir los puntos de monitoreo, tanto en la laguna como en los afluentes de la misma.
- Realizar un monitoreo mensual de muestras de agua en todos los puntos identificados.
- Hacer mediciones "in-situ" de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH en el agua de la laguna y en sus afluentes.
- Determinar las concentraciones mensuales de fósforo y nitrógeno en los afluentes como en la laguna.
- Realizar mediciones de clorofila- α del agua de la Laguna.
- Determinar el Estado Trófico de la laguna, aplicando el Índice de Estado Trófico propuesto por Carlson, como también a través del Programa de Lagos Cálidos Tropicales propuesto por CEPIS.

2. MARCO TEÓRICO

2.1.Limnología

Tras varias definiciones y con el pasar del tiempo, la limnología se tornó como la ciencia de las aguas mediterráneas, con un enfoque en todos los factores que influyen en la vida de las poblaciones que existen dentro de estas aguas (Cole, 1988).

La limnología se deriva de la palabra griega *limné*, que significa pantano, laguna o lago; pero en la actualidad éste término se emplea al estudio de las aguas interiores o continentales, tanto lénticas (lagos) o lólicas (ríos, corrientes) (Cole, 1988; Roldán, 2008).

Se puede definir a la limnología de una forma muy general como el estudio de las funciones y productividad de los organismos existentes en el agua dulce, además de su alteración por el ambiente físico, químico y biológico. Así mismo se describe a la limnología como la ciencia que estudia las interrelaciones de procesos y métodos en el agua, cuando exista transformación de materia y energía (Roldán, 2008).

2.2.Lagos Cálidos Tropicales

Se identifican como lagos cálidos tropicales basándose en una definición de temperatura, que comprende en un rango entre 10°C durante condiciones normales, y un promedio anual máximo de 15°C. En este tipo de lagos, las variaciones diarias de temperatura ambiente, son mayores que la del lago, por lo que es bastante normal que se presenten estratificaciones y destratificaciones en la columna de agua, sucediendo en el día y en la noche respectivamente (Roldán, 2008).

2.3.Ecosistema Acuático

En el ecosistema acuático se generan varias interacciones entre el agua, la atmósfera, la tierra y los organismos vivos, pero se establece que la interacción entre el agua y la atmósfera constituye un factor determinante del clima (Roldán, 2008).

Un lago está constituido por hábitats a los cuales están asociados distintos grupos de organismos que forman las cadenas alimenticias, por lo que se determina el estado trófico del lago considerando su abundancia y complejidad.

Así, en un lago, la productividad de la vida comprende varios factores tales como la penetración de la luz hasta el origen geológico, la morfología, su posición latitudinal y la influencia de las actividades antropogénicas (Roldán, 2008).

2.4.Zonas de un lago

Zona Litoral.- Se define esta región como la banda que va desde la orilla hasta la profundidad donde desaparecen las plantas (Cole, 1988). Esta región es la de mayor diversidad está dominada por la vegetación emergente, plantas cuyas raíces están ancladas en el fango del fondo y cuyos tallos superiores y hojas se encuentran por encima del agua; también aquí se desarrollan gran cantidad de nichos ecológicos y de cadenas alimenticias de herbivoría y de detritos; por lo tanto la principal característica es la abundancia de microalgas, macroalgas, briófitos, pteridófitos y macrófitas acuáticas (Smith y Smith, 2001; Roldán, 2008).

Zona Sublitoral.- También llamada zona limnética, está situada por debajo de la litoral. A pesar de ser una zona poco iluminada, es bien oxigenada; la fauna que se desarrolla en ésta región es menor por lo tanto, existen menos nichos ecológicos (Cole, 1988).

Zona Profunda.- Se puede decir que ésta zona al tener ausencia de organismos fototróficos, depende en su totalidad de la producción de materia orgánica en la zona litoral y sublitoral, por lo que predominan los consumidores (producción secundaria) y descomponedores (producción terciaria) (Cole, 1988; Roldán, 2008). La vida que se encuentra en ésta zona, únicamente es abundante durante los periodos de mezcla, cuando organismos que viven en las zonas superiores bajan a zonas profundas (Smith y Smith, 2001).

Zona Bentónica.- En la zona del fondo, el oxígeno desciende en aguas profundas, por encima del fondo. En ésta zona los organismos dominantes son las bacterias, debido a los sedimentos cargados de residuos orgánicos, tienen muy poca cantidad de oxígeno (Smith y Smith, 2001).

2.5. Parámetros “in situ”

2.1.1. Oxígeno Disuelto

El oxígeno molecular (O_2) disuelto, constituye el agente oxidante de mayor importancia en las aguas naturales. Las fuentes de oxígeno en cuerpos de agua son la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis que se desarrolla dentro, los afluentes y la agitación moderada. El consumo de oxígeno libre que se genera con mayor fuerza, es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores (Roldán, 2008).

El oxígeno está definido como escasamente soluble, ya que no reacciona químicamente con el agua, su solubilidad varía directamente con la presión atmosférica a cualquier temperatura. Es por esto que la solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua dulce varía desde 14.6 mg/l a 0°C, hasta 7 mg/l a 35 °C aproximadamente, a 1 atm de presión (Sawyer et al., 2001).

Por otro lado, los organismos aeróbicos usan oxígeno libre para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica y forman productos finales inocuos, mientras que los anaeróbicos llevan a cabo la oxidación mediante la reducción de algunas sales inorgánicas como es el caso de los sulfatos, y los productos finales son perjudiciales casi siempre. Por lo tanto es de gran importancia mantener las condiciones aeróbicas para este tipo de organismos, ya que estas condiciones requieren niveles de oxígeno disuelto en forma permanente para asegurar las condiciones saludables de la vida acuática (Baird, 2004).

2.1.2. pH

El pH se define como el logaritmo en base 10 del recíproco de la molaridad de los hidrogeniones, y matemáticamente se expresa como:

$$\text{pH} = \log_{10} \left(\frac{1}{[\text{H}]^+} \right)$$

El potencial hidrógeno (pH) expresa la magnitud de acidez o basicidad. Es por esto que los ácidos son definidos como sustancias que al disociarse dan iones hidrógeno o protones, y las bases son sustancias que cuando se disocian dan iones hidroxilo (Baird, 2004).

Usualmente el pH está comprendido entre un rango de 0 a 14, siendo ácido y básico respectivamente, en donde el valor de pH 7 a 25 °C corresponde a la neutralidad (Baird, 2004).

En aguas naturales, los valores de pH varían entre 6 y 9. Los lagos y ciénagas de las partes bajas tropicales, contienen rangos de pH más amplios de 5 a 9, dependiendo tanto de su estado trófico como de su alcalinidad. Por ello, los embalses presentan valores comprendidos entre 6,5 y 8, en relación con su grado de eutrofización (Roldán, 2008).

2.1.3. Conductividad

En la naturaleza se encuentran presentes sólidos disueltos, por ello las sales disueltas en agua se descomponen en iones con carga positiva y negativa. Entonces se define a la conductividad como la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica en función de las concentraciones de iones disueltos. Los iones más positivos son sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{+2}). Los iones más negativos son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), carbonato, bicarbonato. Los nitratos y fosfatos no contribuyen de forma apreciable a la conductividad aunque son muy importantes biológicamente (Roldán, 2008; Fuentes y Massol, 2002).

En lagos situados en regiones templadas, varía la conductividad de acuerdo con el grado de eutrofización del lago y en función de la profundidad, sobre todo por la estratificación y circulación que se producen en el lago, al ritmo de las estaciones (Roldán, 2008).

2.6. Parámetros de Laboratorio

2.1.4. Fósforo

Tras varias investigaciones se ha demostrado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de las algas y cianobacterias, y que la limitación de estos elementos es usualmente el factor que controla su tasa de crecimiento. Es por esto que, cuando se determina abundancia de los dos elementos en los cuerpos de agua naturales tiene lugar el florecimiento de algas, que genera una condición molesta en el cuerpo de agua presente (Baird, 2004).

Además, la mayor parte del fósforo inorgánico es depositado por los desechos humanos, como resultado de la degradación metabólica de las proteínas y la eliminación de los fosfatos presentes en la orina. Muchos de los detergentes contienen del 12% al 13% de fósforo, o más del 50% de polifosfatos (Baird, 2004).

En un lago la liberación de fósforo desde los sedimentos aumenta con la anaerobiosis, la ausencia de oxígeno reduce los hidróxidos férricos y el PO_4^{3-} se libera.

2.1.5. Nitrógeno

Este compuesto se encuentra presente en las aguas naturales en las formas inorgánicas y orgánicas. Dependiendo del grado de oxidación del átomo de nitrógeno, se presenta en los cuerpos de agua de diferentes formas. Entonces, las formas más reducidas son el amoníaco, NH_3 y su ácido conjugado, el ión amonio, NH_4^+ . A su vez la forma más oxidada es el ion nitrato, el cual existen en sales sólidas, en disoluciones acuosas y en el ácido nítrico, HNO_3 (Roldán, 2008).

En ambientes con presencia de oxígeno (aeróbicos), como se da en la superficies de lagos, el nitrógeno está presente en su estado de oxidación más alto, es decir en forma de nitrato, por el contrario en lugares en donde existe una ausencia de oxígeno (anaeróbicos) como es el caso del fondo de lagos estratificados, existe el nitrógeno en su estado más reducido, es decir en las formas amoníaco y de ion amonio (Roldán, 2008).

El nitrógeno es más abundante que el fósforo, los inmensos recursos atmosféricos contribuyen de muchas maneras. El agua lluvia contiene varias formas de éste componente, algunas de las cuales, la lluvia las disuelve de la litósfera.

2.1.6. Clorofila α

La clorofila α se caracteriza por ser el principal pigmento fotosintético presente en las algas, por esto se utiliza éste pigmento para estimar la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas. Además, se lo utiliza como un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos (Rivera et al., 2005).

2.7. Eutrofización

Se denomina eutrofización por la palabra eutrofia, que se deriva del griego “eutrophe” y significa “rico en nutrientes”. Es por esto que, se denomina eutrofización al enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a tal velocidad que no puede compensarse por procesos como la eliminación o mineralización. Así, la principal manifestación es el crecimiento de algas y macrofitas a causa de las excesivas cargas de nutrientes (Salas y Martino, 1996).

2.1.7. Categorías Tróficas

- **Oligotrófico.**-Esta categoría comprende a sistemas acuáticos con escaso contenido de nutrientes acompañado de baja producción vegetal (Salas y Martino, 1996), es por ello que las aguas son claras y toman un color azul o turquesa. Aunque el contenido de nutrientes es bajo, puede haber abundante nitrógeno y a la vez bajas concentraciones de fósforo, debido a un reducido aporte de ecosistemas terrestres circundantes y otras fuentes externas al cuerpo de agua (Smith y Smith, 2001).
- **Eutrófico.**- Se refiere a sistemas acuáticos con alto contenido de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo, y por lo mismo elevada producción vegetal (Salas y Martino, 1996; Smith y Smith, 2001). Un sistema con éstas características presenta una relación directa entre superficie-volumen, es decir su área es grande en comparación con su profundidad. En este tipo de cuerpos de agua, el fitoplancton se acumula en la capa superficial del agua más caliente, por lo que toma un color verde-oscuro (Smith y Smith, 2001).

- **Mesotrófico.-** En esta categoría, entran los sistemas acuáticos que poseen características intermedias entre oligotrófico y eutrófico (Salas y Martino, 1996).

En un lago cuando pasa de un estado oligotrófico a eutrófico, se debe a un cambio importante en las poblaciones que habitan en el mismo. El lago oligotrófico posee un cociente producción/biomasa más bajo, además existe mayor diversidad biótica que en el eutrófico (Salas y Martino, 1996), otra característica importante de lagos oligotróficos es que el fósforo es el nutriente limitante.

Entonces, conforme un lago va cambiando sus características a eutrófico, disminuye el número de especies, pero no la densidad. Las algas diatomeas y cirsofíceas van siendo sustituidas por clorofíceas y cianofíceas. Lo mismo sucede con el zooplancton, las especies de larga vida y carnívoras aceleran la producción de rotíferos y pequeños copépodos de alta tasa de renovación (Salas y Martino, 1996).

El avance del proceso de eutrofización es alarmante en un lago, por la pérdida de las características del mismo, ya que se hace un regresión en la calidad; además se han encontrado relaciones estrechas entre el aumento de la población humana y los índices de eutrofización (Salas y Martino, 1996).

La carga de nutrientes como fósforo y nitrógeno es elevada en un lago eutrófico. Entonces, al aumentar la fijación fotosintética y la productividad, aumentan también las interacciones cíclicas de regeneración de nutrientes y compuestos orgánicos. Por lo tanto, la descomposición de la excesiva materia orgánica presente disminuye drásticamente la concentración de oxígeno en aguas profundas, y de ésta manera favorece la liberación de nutrientes desde el sedimento (Salas y Martino, 1996).

2.8.Determinación del Estado Trófico de la Laguna de Limoncocha

2.1.8. Programa Lagos Cálidos Tropicales (LACAT)

El programa LACAT, propuesto por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), estima en términos de probabilidad el estado trófico de un lago cálido tropical limitado por fósforo, con base en la carga de fósforo por año (L_p), el tiempo de retención (T_w) y la profundidad promedio (Z) (Martino, 1989).

Tras varios estudios realizados con lagos de América Latina, se llegó a probar con datos de otros Lagos Cálidos Tropicales de África. Con estudios sistemáticos, se verificó que el desempeño del modelo fue bueno y la concordancia general de las categorías reportadas con las estimadas, por lo que su utilidad es acertada como una herramienta de predicción para determinar el estado trófico de cualquier lago cálido tropical (Baena, 2006).

2.1.8.1. Nutriente Limitante

Se basa en la estequiometría celular de las plantas acuáticas, ya que el nutriente que controla la máxima cantidad de biomasa vegetal, es el primero que se consume o que alcanza un mínimo, antes que los demás nutrientes.

El programa LACAT se basa en la relación Nitrógeno Total a Fósforo Total de 9:1; los lagos que tienen una relación N: P mayor a la mencionada son considerados limitados por fósforo.

Finalmente, éste modelo asume el lago completamente mezclado y condiciones de estado de equilibrio representadas por el valor promedio anual. El modelo está representado por la siguiente ecuación (Salas y Martino, 2001):

$$P_{\lambda} = \frac{L(p)}{Z} * \frac{(T_w)^{3/4}}{3}$$

(2)

Dónde:

- $P\lambda$ = Fósforo Total del lago
- $L(p)$ = Carga de fósforo
- Z = Profundidad media del lago
- T_w = Tiempo de residencia hidráulica

Para la clasificación del estado trófico de los embalses, el modelo utiliza un esquema cuantitativo probabilístico, iniciando por el estado ultra oligotrófico, siguiendo con el oligotrófico, mesotrófico, eutrófico y finalizando con el hipertrófico. (Baena, 2006).

2.1.9. Índice de Estado Trófico (IET)

El Índice de Estado Trófico propuesto por Carlson (1977), constituye uno de los métodos más utilizados en la determinación de estado trófico en cuerpos de agua. Para la determinación del estado de eutrofización de un cuerpo de agua, se usa una escala comprendida entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipertrófico respectivamente (Franco et. al, 2010).

La construcción del índice empezó entre la concentración recíproca de la biomasa y la transparencia del disco Secchi; luego se determinó que el fósforo total se debe relacionar mejor con la transparencia Secchi, ya que el fósforo es el principal factor limitante de crecimiento en cuerpos de agua. Es por esto que para la determinación de éste índice, se utilizan las concentraciones de Clorofila α y Fósforo Total, además los valores obtenidos por la profundidad Secchi (Carlson, 1977).

Las fórmulas empleadas para la determinación del Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), son:

Índice determinado por la Transparencia del Disco Secchi:

$$IET(DS) = 10 \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right)$$

(3)

Dónde:

SD = el promedio de la Profundidad Secchi en metros (m).

Índice determinado por Clorofila α ($Cl\alpha$):

$$IET(Cl\alpha) = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Cl\alpha}{\ln 2} \right)$$

(4)

Dónde:

$Cl\alpha$ = Datos obtenidos de Clorofila α en mg/m^3

Índice determinado por Fósforo Total (FT):

$$IET(FT) = 10 \left(6 - \frac{\frac{\ln(48)}{FT}}{\ln 2} \right)$$

(5)

Dónde:

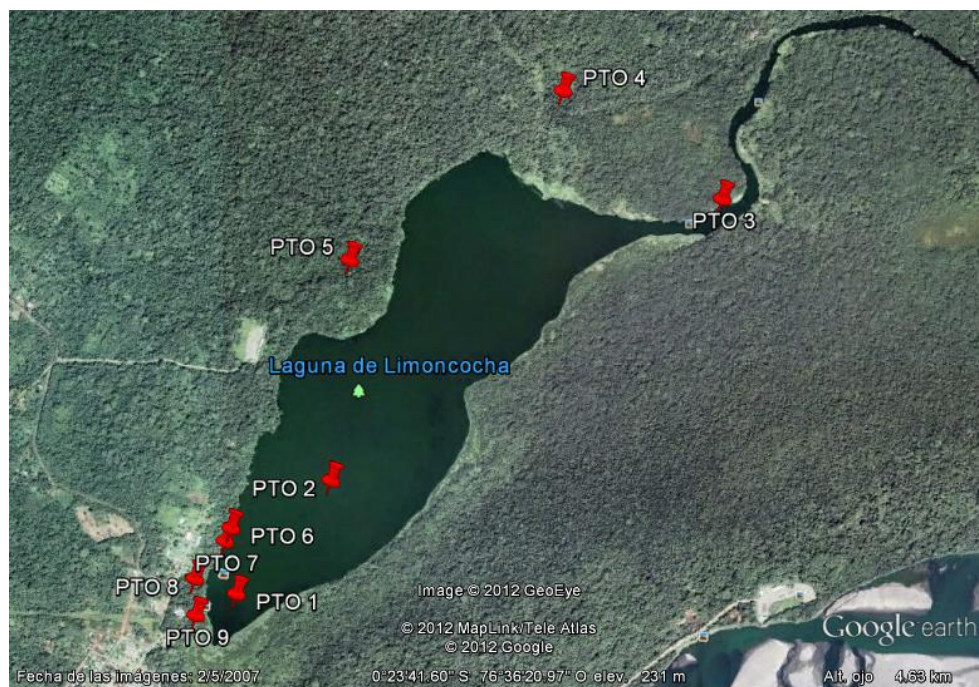
FT = Datos obtenidos de Fósforo Total en mg/m^3

3. METODOLOGÍA

Al realizar el reconocimiento previo de la laguna y afluentes, se determinó como primer paso los puntos de muestreo en los cuales se realizan los análisis más adelante descritos, y los mismos que se mantendrán dentro para la ejecución de todo el proyecto, el mismo que se desarrolla dentro de los meses de enero a junio del 2012.

Los puntos de muestreo que determinaron fueron trece, distribuidos tanto en la laguna Limoncocha, en las vertientes repartidas en el perímetro de la laguna y que desembocan en la misma, como también en los pozos que abastecen de agua al Pueblo Limoncocha y se encuentran dentro de él.

Gráfico No 1: Imagen Satelital de la Laguna Limoncocha (2012)



Fuente: Google Earth

Al establecer los puntos de muestreo, se tomó las coordenadas de los mismos para lo cual se utilizó un GPS, Global Positioning System, en coordenadas UTM, sistema WGS 84, como se indica en el Cuadro No. 1.

Cuadro No. 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

PTO.	COORDENADAS UTM WGS 84		UBICACIÓN	
	Zona 18M			
	x	y		
1	319850	9954967	Frente al Muelle	LAGUNA
2	320340	9955553	Centro (Frente a la Antena)	
3	322366	9957004	Caño	
4	321542	9957558	Río Pichira	VERTIENTES
5	320440	9956688	Río Playayacu	
6	319825	9955309	Propiedad de Sr. Augusto Cerda	
7	319793	9955287	Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós	
8	319641	9955050	Estación Científica de la Universidad Internacional SEK	
9	319641	9954858	Destacamento Militar 1	
10	319641	9954858	Destacamento Militar 2	
11	319488	9954608	Pueblo Limoncocha	
12	319384	9954843	Pozo de 50 m	POZOS
13	319384	9954843	Pozo de 25 m	

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Una vez establecidos los puntos de muestreo se procedió a mediciones “in-situ” y a la recolección de muestras, para el posterior análisis en el Laboratorio de la Estación Científica SEK Limoncocha, de cada uno de los puntos.

Así, en los tres puntos de la Laguna se hicieron mediciones “in-situ” del agua como pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, las mismas que se llevaron a cabo en la columna de agua de la laguna, es decir se empezó desde una profundidad cero hasta llegar al fondo de la misma (cada 20 cm); por el contrario para análisis de laboratorio se recogió una muestra compuesta en cada punto para el respectivo análisis de fosfatos, nitratos y clorofila- α en los 3 puntos.

También se analizaron en las diez vertientes los mismos parámetros “in-situ” (pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto) recolectando la muestra en una jarra de plástico previamente lavada y realizando una sola medición; además se recogieron muestras para análisis en el Laboratorio únicamente de nitratos y fosfatos.

2.9. Mediciones de parámetros de laboratorio

3.1.1. Nitrato

Se tomaron muestras de todos los puntos de muestreo, en las cuales se realizaron las mediciones de nitrato, con el Método 10206 (Dimethylphenol Method) LR (1.00 - 60.00 mg/L NO₃), mediante los siguientes pasos (HACH, 2005):

- Extraer 1mL de muestra, y depositar en una cubeta
- Agregar lentamente 0,2 mL de alcohol isopropílico.
- Invertir la cubeta de 2 a 3 veces
- Después de 5 min, llevar a la cubeta a evaluación automática a través del código de barras en el espectrofotómetro.

3.1.2. Fósforo Total

Se utiliza un método establecido por HACH, Método 10210, TNTplus 843 LR (0.15–4.50 mg/L PO_4^{3-}), por el cual se realizaron los siguientes pasos (HACH, 2005):

- Remover el papel aluminio de la cubeta (persulfato de potasio, borato de sodio, perborato de sodio, sulfato de litio) y agregar 2 mL de muestra.
- Se tapar la cubeta con las estrías hacia arriba y se agita varias veces, hasta lograr una homogenización de la cubeta.
- Calentar la cubeta durante una hora a 100°C en el termostato.
- Enfriar la muestra y agregar 0,2 mL de ácido sulfúrico.
- Agregar el reactivo “C” (ácido ascórbico, metaborato de sodio, dextrano) de color gris sobre la cubeta.
- Agitar la cubeta de 2 a 3 veces esperar 10 minutos y volver a agitar.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta, llevar a cabo la medición.

3.1.3. Clorofila α

Se toma las muestras de agua (500 mL) evitando exponerlas a la luz, para ello se recubre a las muestras con papel aluminio y se transportan en un recipiente que mantiene el frío. Se utilizan botellas plásticas para evitar la fotooxidación de los pigmentos.

Extracción de Pigmentos

- Concentrar el fitoplancton presente en cada muestra de agua filtrando 300 mL de muestra utilizando membranas milipore tipo HA (poros de 0,45 μm y 47 mm de diámetro) y una bomba al vacío.
- Colocar la membrana filtrada en un mortero y macerarla con 5 mL de acetona alcalinizada
- Transferir la muestra macerada a un tubo de centrífuga con tapa de rosca y forrado de papel aluminio

- Enjuagar el mortero con 2 mL de acetona alcalinizada y completar la muestra en el tubo de centrifuga a 10 mL.
- Colocar el extracto contenido en un tubo a 4°C durante 2 horas en oscuridad.
- Para clarificar el extracto centrifugar la muestra por 20 minutos.
- Medir el volumen final del extracto y transferir la muestra a una celda de espectrofotómetro.
- Leer la absorbancia a 750 nm y 664 nm en el HACH.
- Acidificar el extracto con 0,1 mL de Ácido Clorhídrico 0,1N.
- Agitar y esperar 90 segundos
- Leer la absorbancia a 750 nm y 665 nm (Fuentes y Massol, 2002)

La absorbancia registrada a 750 nm es una medida de la turbidez en el extracto. Una vez obtenidos los datos de absorbancia antes y después de la acidificación se utilizan para reemplazar en la siguiente fórmula propuesta por Hach Company (1999):

$$\text{Clorofila } \alpha = 26,7 (A_{664c} - A_{665c}) \times \frac{V_1}{V_2} \quad (6)$$

Dónde

- 26,7 = Valor de corrección de la absorbancia igual a $A \times K$
- $A = 11.0$ (coeficiente de absorbancia de la clorofila α , a 664 nm)
- $K = 2.43$ (factor de corrección por la acidificación).
- $A_{664c} = 664 - 750$ (corrección de la lectura antes de la acidificación)
- $A_{665c} = 665 - 750$ (corrección de la lectura después de la acidificación)
- $V_1 =$ Volumen del extracto (L) (0,01L)
- $V_2 =$ Volumen de la muestra filtrada (L) (0,3L).

3.1.4. Índice de estado trófico (IET)

Con el fin de determinar el estado trófico de la laguna Limoncocha, se empleó el IET propuesto por Carlson (1997); utilizando la interrelación de varios parámetros que se aplican en el modelo, como profundidad Secchi, concentraciones de clorofila α y fósforo total.

Para ello, se determina los IET para cada uno de los parámetros antes mencionados, con el objeto de realizar un promedio de cada punto de la Laguna y por cada mes, para poder evaluar el estado de la misma en el periodo de ejecución de este trabajo.

3.1.4.1. Índice determinado por profundidad Secchi

Se determinó éste índice con datos obtenidos del promedio de Profundidad Secchi en metros, a partir del proyecto de Revelo (2012); aplicando la ecuación (3).

Cuadro No. 2. Datos Profundidad Secchi (m).

MES DE ANÁLISIS	SITIO		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Enero 2012	0,43	0,42	0,41
Febrero 2012	0,39	0,34	0,41
Marzo 2012	0,46	0,42	0,50
Abril 2012	0,63	0,56	0,54
Mayo 2012	0,52	0,54	0,51
Junio 2012	0,51	0,47	0,49

Fuente:(Revelo, 2012)

3.1.4.2. Índice determinado por clorofila α :

Los valores preliminares de clorofila α , obtenidos de los puntos de muestreo de la laguna, están en mg/L; por lo que, fueron transformados en mg/ m³ para aplicar en la ecuación (4).

3.1.4.3. Índice determinado por fósforo total:

Las concentraciones de fósforo total presentes en los tres puntos de la laguna, fueron determinadas en mg/L, por lo que para emplear la ecuación (5), se transformó a mg/m³.

Finalmente, luego de realizar un promedio de IET con los tres parámetros antes mencionados, se aplica el valor resultado de dicho promedio a la siguiente clasificación:

Cuadro No. 3. Cuadro de Clasificación del IET

Valor de IET	Estado de Eutrofia
IET < 30	Oligotrófico
30 < IET > 60	Mesotrófico
60 < IET > 90	Eutrófico
90 < IET > 100	Hipereutrófico

Fuente: (Moreno et. al, 2010)

3.1.5. Programa para lagos cálidos tropicales (LACAT)

Primero, para determinar el grado de eutrofización por LACAT, es necesario determinar el nutriente limitante, presente en la Laguna.

Cálculo de carga de fósforo que ingresa a la laguna Limoncocha

Para la determinación de la carga de fósforo que entra a la laguna por año, se utilizaron los datos de caudal promedio de cada vertiente, datos obtenidos del proyecto de Revelo (2012), para convertir dichos valores en L/s. Posteriormente, se multiplicó al caudal promedio obtenido por las concentraciones de fósforo total establecidos para cada vertiente, con el fin de obtener un caudal másico; el mismo que se emplea para calcular el fósforo por unidad de superficie ($\text{g/m}^2 \text{ s}$), mediante la división entre la superficie de la laguna Limoncocha que tiene un valor de 2'280.000 m^2 , dato proporcionado por el Ing. Fabio Villalba resultante del proyecto “Evaluación hídrica del Humedal Limoncocha” cuyos resultados están en proceso de publicación.

Por otro lado, se identificó la cuenca hidrográfica de la laguna Limoncocha, como se indica en el Anexo 3, la cual se dividió según el uso de suelo de la misma, obtenido a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Escenario 2002 (UISEK, 2011), aplicando el siguiente cuadro:

Cuadro No. 4. Coeficiente de Exportación

Uso de la Cuenca	Fósforo Total $\text{g/m}^2 \cdot \text{año}$	Nitrógeno Total $\text{g/m}^2 \cdot \text{año}$
Urbano	0,1	0.5
Agrícola Rural	0,05	0.5
Bosque	0,01	0.3

Fuente: (Salas y Martino, 2001)

En el cual, se multiplica el coeficiente de exportación por el área porcentual establecida para cada zona. Estos datos, junto con la carga de fósforo obtenido a través del afluente, permiten determinar el fósforo total que entra a la laguna anualmente.

Finalmente, una vez obtenido el dato de concentración de Fósforo Total en $\text{g/m}^2 \cdot \text{año}$, el modelo determina la concentración de Fósforo Total (P_λ) en el lago, para lo cual se utilizó la ecuación (2), la misma que emplea los siguientes datos, obtenidos por el Ing. Fabio Villalba, del proyecto antes mencionado:

- Tiempo de Retención de la Laguna Limoncocha (T_w)
- Profundidad media (z)

Para establecer una comparación entre la clasificación de estado trófico según LACAT, se realizó un promedio geométrico en mg/m^3 de las concentraciones de fósforo medidas en los tres puntos identificados en la laguna.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.Resultados

3.1.1. Mediciones “in situ” en la laguna Limoncocha

Los parámetros “in situ” medidos en el agua de la laguna pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, se llevó a cabo en todo el perfil de la misma; es decir cada 20 cm, en los tres puntos determinados como se señala en el cuadro 1, para realizar el presente proyecto en los meses de enero a junio del 2012.

3.1.1.1.PUNTO 1: Frente al Muelle

Cuadro 5: Datos de pH en el Punto 1 de la Laguna de Limoncocha

Profundidad (m)	pH					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0						
0,2	9,5	8,8	7,0	9,5	9,4	8,9
0,4	9,6	9,1	7,2	9,6	9,3	8,9
0,6	9,6	9,2	7,2	9,6	9,3	8,7
0,8	9,6	9,1	7,3	9,5	9,4	8,4
1,0	9,7	8,9	7,3	8,1	9,3	8,4
1,2	8,3	8,9	7,3	7,3	9,3	8,0
1,4	7,8	8,9	7,4	7,2	9,4	7,8
1,6	7,6	9,0	7,4	7,1	9,3	7,5
1,8		8,5	7,1	7,0	9,2	7,4
2,0		7,3	6,9	7,0	9,1	7,2
2,2		7,1	6,9	6,9	7,4	
		6,8			6,9	

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 6: Datos de Conductividad Eléctrica en el Punto 1 de la Laguna de Limoncocha

Profundidad (m)	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	100	90	90	83	100	103
0,2	99	90	90	83	100	102
0,4	99	91	90	83	100	101
0,6	99	91	90	83	99	102
0,8	99	91	90	82	99	102
1,0	99	90	90	81	99	102
1,2	101	91	90	84	99	102
1,4	109	92	90	96	99	103
1,6		91	107	85	99	104
1,8		91	417	88	99	300
2,0		70	-	246	96	
2,2		50			188	

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 7: Datos de Oxígeno Disuelto en el Punto 1 de la Laguna de Limoncocha

Unidades: mg/L Profundidad (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	14,6	9,2	6,3	14,1	10,1	9,5
0,2	14,8	8,9	6,3	14,2	9,9	9,5
0,4	14,9	8,3	6,1	14,9	9,5	9,5
0,6	14,9	7,3	6,2	14,9	9,2	7,9
0,8	14,9	6,9	6,3	8,3	9,0	6,6
1,0	-	6,8	3,4	1,5	9,5	4,3
1,2	-	6,2	6,5	0,2	8,9	2,2
1,4	-	6,0	6,3	0,2	8,5	0,2
1,6		4,9	0,2	0,1	2,4	0,1
1,8		0,8	0,9	0,1	0,3	0,1
2,0		0,3	0,1	0,0	0,2	
2,2		0,3			0,2	

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.1.2.PUNTO 2: Centro (Frente a la Antena)

Cuadro 8: Datos de pH en el Punto 2 de la Laguna de Limoncocha

Profundidad (m)	pH					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	9,9	9,3	7,5	9,8	9,0	9,5
0,2	9,9	9,3	7,6	9,8	9,0	9,5
0,4	9,8	9,3	7,6	9,8	9,0	9,5
0,6	9,8	9,1	7,6	9,7	9,0	9,4
0,8	9,7	8,8	7,6	9,7	9,0	9,3
1,0	9,6	8,6	7,6	9,6	9,0	9,1
1,2	8,0	8,6	7,6	9,4	9,0	8,4
1,4	7,4	8,4	7,6	7,6	8,9	7,8
1,6	7,5	8,4	7,6	7,3	8,8	7,5
1,8	7,3	8,3	7,6	7,2	8,7	7,4
2,0	7,1	7,4	7,3	7,0	8,7	7,3
2,2	6,6	6,9	7,0	6,7	6,9	7,0
2,4	6,6	6,6	6,8	6,9	6,8	6,9
2,6	6,7		6,7			

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 9: Datos de Conductividad Eléctrica en el Punto 2 de la Laguna de Limoncocha

Profundidad (m)	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	99	89	89	85	101	101
0,2	100	89	89	85	101	102
0,4	100	89	89	84	101	101
0,6	100	89	89	84	101	101
0,8	100	89	89	84	101	101
1,0	100	89	89	84	101	101
1,2	100	89	89	83	101	101
1,4	99	89	89	83	101	103
1,6	102	88	89	86	100	103
1,8	114	88	89	88	101	106
2,0	116	76	89	102	102	116
2,2	-	66	130	106	100	152
2,4	-	170-200	220	107	100	279
2,6	-		468			

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 10: Datos de Oxígeno en el Punto 2 de la Laguna de Limoncocha

Profundidad (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	16,1	9,8	8,2	16,4	8,6	12,3
0,2	16,2	9,9	8,3	16,8	8,4	12,3
0,4	15,4	10,2	8,4	16,3	8,4	12,0
0,6	14,6	8,6	8,3	15,9	8,2	10,7
0,8	13,1	7,9	8,0	15,4	8,1	10,2
1,0	12,6	7,3	7,9	14,4	8,1	9,0
1,2	8,6	6,6	7,6	13,3	7,8	7,3
1,4	3,5	6,3	7,6	8,0	7,3	3,4
1,6	0,3	5,9	7,4	0,8	7,2	1,9
1,8	0,2	5,4	7,2	0,3	5,2	0,2
2,0	0,2	0,3	7,2	0,2	5,0	0,1
2,2	0,1	0,1	0,2	0,2	4,2	0,0
2,4	0,1	0,1	0,2	0,1		0,0
2,6	0,1		0,1			

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.1.3.PUNTO 3: Caño de la Laguna**Cuadro 11: Datos de pH en el Punto 3 de la Laguna de Limonocha**

Profundidad (m)	pH					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	8,4	9,1	9,1	9,3	7,6	8,9
0,2	9,1	9,2	9,1	9,3	7,6	8,7
0,4	9,1	9,2	9,2	8,3	7,6	9,2
0,6	9,0	8,3	9,2	7,9	7,6	9,0
0,8	8,9	8,4	8,8	8,7	7,5	9,0
1,0	8,9	7,9	8,4	8,7	7,5	9,0
1,2	8,4	7,8	7,7	7,7	7,5	8,9
1,4	8,5	7,4	7,7	7,4	7,5	8,1
1,6	7,9	7,2	7,5	7,3	7,5	7,9
1,8	7,0		7,3	7,2	7,6	7,6
2,0			7,1	7,0	7,6	7,3
2,2			7,0	7,0	7,0	
2,4			7,1		6,9	
2,6					6,9	

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 12: Datos de Conductividad en el Punto 3 de la Laguna Limoncocha

Profundidad (m)	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	96	87	91	92	103	100
0,2	98	86	91	92	102	99
0,4	98	87	91	92	102	100
0,6	98	85	91	91	102	100
0,8	98	86	90	93	102	99
1,0	99	86	90	93	102	99
1,2	100	83	92	87	102	99
1,4	100	80	93	99	102	96
1,6	100	78-90	97	95	102	90
1,8	100		96	91	101	89
2,0			451	91	101	115
2,2			136	681	101	
2,4			151		373	
2,6					300	

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 13: Datos de Oxígeno Disuelto en el Punto 3 de la Laguna Limoncocha

Profundidad (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0,0	9,0	10,7	11,5	11,0	3,9	10,7
0,2	12,3	10,5	11,2	10,8	3,4	9,4
0,4	12,1	8,9	10,2	10,8	3,6	7,4
0,6	9,8	6,0	9,5	9,2	3,1	5,2
0,8	9,3	6,1	9,8	8,3	2,6	3,5
1,0	9,1	6,1	9,8	9,2	3,3	3,8
1,2	6,7	2,5	5,9	1,4	2,3	3,0
1,4	6,7	5,4	4,4	3,2	2,7	2,0
1,6	6,1	2,3	3,4	1,6	3,1	1,5
1,8	0,1		0,1	0,1	3,3	1,3
2,0			0,1	0,1	3,3	0,3
2,2			0,2	0,0	0,1	
2,4			0,1		0,1	
2,6						

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.2. Mediciones “In Situ” en Afluentes

Cuadro 14: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 4, Río Pichira

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,9	7,1	7,6	7,8	7,5	7,9
Cond	μS/cm	138	80	133	111	129	126
OD	mg/L	7,3	6,0	7,2	18,5	7,3	8,0

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 15: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 5, Río Playayacu

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,6	7,3	7,5	7,7	7,7	7,7
Cond	μS/cm	135	90	133	113	114	117
OD	mg/L	7,9	7,2	7,6	7,5	6,0	7,0

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 16: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 6, vertiente Augusto Cerda

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,3	7,2	6,5	7,0	7,0	7,7
Cond	μS/cm	174	153	193	165	170	156
OD	mg/L	7,4	7,2	6,3	5,8	6,0	7,6

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 17: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 7, vertiente Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,2	7,0	7,2	7,1	7,0	7,7
Cond	μS/cm	167	150	161	157	148	183
OD	mg/L	6,4	6,2	6,2	6,3	6,3	8,1

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 18: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 8, vertiente Estación Científica de la Universidad Internacional SEK

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,0	7,1	7,0	7,5	7,5	7,2
Cond	μS/cm	197	177	212	185	191	202
OD	mg/L	5,4	7,7	5,5	7,7	7,9	6,9

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 19: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 9, vertiente Destacamento Militar 1

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,9	7,8	7,3	7,6	7,4	7,5
Cond	μS/cm	198	150	202	173	173	222
OD	mg/L	8,5	8,0	6,9	7,9	7,7	7,3

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 20: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 10, vertiente Destacamento Militar 2

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,9	7,7	7,3	7,8	7,7	8,0
Cond	μS/cm	205	167	208	184	183	215
OD	mg/L	8,3	8,3	7,6	8,3	8,4	8,1

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 21: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 11, vertiente Pueblo Limoncocha

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	7,1
Cond	μS/cm	186	157	198	169	166	193
OD	mg/L	4,7	5,0	5,1	5,6	5,7	5,3

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 22: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 12, pozo de 50 m

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		7,3	7,2	7,2		7,2	
Cond	μS/cm	215	174	199		200	
OD	mg/L	2,3	2,6	2,2		3,9	

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 23: Parámetros “In Situ” medidos en el Punto 13, pozo de 25 m

PARÁMETROS	UNIDAD	PERIODO DE MUESTREO					
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
pH		6,9	6,9	6,9	6,8	6,8	7,0
Cond	μS/cm	198	189	198	180	214	231
OD	mg/L	7,6	9,5	5,1	4,9	7,1	8,4

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.3. Datos y cálculos de laboratorio

3.1.3.1. Clorofila α

Cuadro 24: Datos de Clorofila α en el Punto 1, frente al muelle

MES DE ANÁLISIS	Longitud de onda a 664c			Longitud de onda de 665c			Clorofila α (mg/L)	Clorofila α (mg/m ³)
ENERO	664	0,319	0,046	665	0,279	0,029	0,015	15
	750	0,273		750	0,250			
FEBRERO	664	0,307	0,048	665	0,266	0,035	0,011	11
	750	0,259		750	0,231			
MARZO	664	0,688	0,121	665	0,559	0,097	0,021	21
	750	0,567		750	0,462			
ABRIL	664	0,191	0,170	665	0,128	0,12	0,045	45
	750	0,021		750	0,008			
MAYO	664	0,147	0,021	665	0,116	0,008	0,012	12
	750	0,126		750	0,108			
JUNIO	664	0,231	0,038	665	0,198	0,022	0,014	14
	750	0,193		750	0,176			

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 25: Datos de Clorofila α en el Punto 2, centro (frente a la antena)

MES DE ANÁLISIS	Longitud de onda a 664c			Longitud de onda de 665c			Clorofila α (mg/L)	Clorofila α (mg/m ³)
ENERO	664	0,388	0,046	665	0,326	0,017	0,026	26
	750	0,342		750	0,309			
FEBRERO	664	0,370	0,069	665	0,304	0,047	0,020	20
	750	0,301		750	0,257			
MARZO	664	0,616	0,110	665	0,470	0,063	0,044	44
	750	0,506		750	0,407			
ABRIL	664	0,283	0,235	665	0,218	0,167	0,061	61
	750	0,048		750	0,051			
MAYO	664	0,324	0,047	665	0,247	0,031	0,014	14
	750	0,277		750	0,216			
JUNIO	664	0,267	0,029	665	0,150	0,003	0,023	23
	750	0,238		750	0,147			

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 26: Datos de Clorofila α en el Punto 3, caño de la laguna

MES DE ANÁLISIS	Longitud de onda a 664c			Longitud de onda a 665c			Clorofila α (mg/L)	Clorofila α (mg/m ³)
ENERO	664	0,362	0,033	665	0,333	0,022	0,010	10
	750	0,329		750	0,311			
FEBRERO	664	0,358	0,053	665	0,349	0,043	0,009	9
	750	0,305		750	0,306			
MARZO	664	0,640	0,135	665	0,450	0,086	0,418	42
	750	0,505		750	0,364			
ABRIL	664	0,088	0,077	665	0,063	0,060	0,015	15
	750	0,011		750	0,003			
MAYO	664	0,321	0,028	665	0,246	0,021	0,006	6
	750	0,293		750	0,225			
JUNIO	664	0,134	0,010	665	0,103	0,001	0,008	8
	750	0,124		750	0,102			

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.3.2.Fósforo Total

Cuadro 27: Concentraciones de Fósforo Total en los puntos de muestreo

Unidades: mg/L		MES DE ANÁLISIS						Prom
UBICACIÓN	PTS.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
LAGUNA	1	0,392	0,486	0,376	0,266	1,570	0,768	0,59
	2	0,336	0,701	0,359	0,295	0,757	0,324	
	3	0,439	0,483	0,639	0,362	1,650	0,325	
VERTIENTES	4	0,609	0,487	0,739	0,457	0,485	0,408	0,44
	5	0,476	0,515	0,426	0,453	0,372	0,290	
	6	0,354	0,886	0,346	0,325	0,316	0,306	
	7	0,332	0,387	0,348	0,269	0,257	0,241	
	8	0,351	*ND	0,267	0,530	0,391	0,243	
	9	0,330	0,387	0,338	0,415	0,394	0,215	
	10	0,289	2,810	0,251	0,227	*ND	*ND	
POZOS	11	0,418	0,357	0,283	0,285	0,539	0,249	0,39
	12	0,543	0,382	0,292	0,291	0,254	0,241	
	13	0,337	0,607	0,425	-	0,523	-	

*ND: No Detectado por el método utilizado

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Para la determinación del Índice de Estado Trófico de Carlson (1977), es necesario transformar las unidades únicamente de los puntos de muestreo de la laguna Limoncocha y transformarlas a mg/m^3 , como se establece en el siguiente cuadro

Cuadro 28: Concentración de Fósforo Total en la laguna Limoncocha.

Unidades : mg/m ³	MES DE ANÁLISIS						Promedio Aritmético	Promedio Geométrico
PTS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO		
1	392	486	376	266	1570	768	585	499
2	336	701	359	295	757	324		
3	439	483	639	362	1650	325		

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.3.3.Nitratos

Cuadro 29: Datos de Nitratos en los puntos de muestreo

Unidades: mg/L		MES DE ANÁLISIS						Promedio
UBICACIÓN	PTS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
LAGUNA	1	2,250	1,324	1,957	1,380	*ND	*ND	1,937
	2	1,470	1,156	1,156	1,140	1,030	*ND	
	3	1,940	1,922	4,473	3,980	*ND	*ND	
VERTIENTES	4	2,608	11,027	3,082	2,460	1,824	1,510	5,611
	5	2,901	5,137	2,874	2,820	1,012	*ND	
	6	8,326	11,116	8,414	3,690	4,105	4,720	
	7	8,370	8,503	6,111	8,680	4,513	3,400	
	8	7,396	6,997	6,156	6,250	6,231	6,550	
	9	ND	2,152	2,48	2,770	2,347	2,160	
	10	ND	1,634	*ND	*ND	*ND	*ND	
POZOS	11	8,680	8,769	12,571	11,800	9,432	8,460	3,749
	12	1,262	5,137	6,491	5,450	3,160	3,870	
	13	5,359	*ND	1,870	-	1,145	-	

*ND: No Detectado por el método utilizado

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.4. Cálculo del Índice de Estado Tráfico de Carlson (IET)

Cuadro 30: Valores de IET en el Punto 1 de la laguna, frente al muelle

MES	IET _{DS}	IET _{Cl_a}	IET _{FT}	IET _{prom}
ENERO	72,18	55,73	90,30	72,74
FEBRERO	73,58	54,09	93,40	73,69
MARZO	71,36	60,44	89,70	73,83
ABRIL	66,67	67,91	84,70	73,09
MAYO	69,43	54,95	110,32	78,23
JUNIO	69,86	56,46	100,33	75,55

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 31: Valores de IET en el Punto 2 de la laguna, centro (frente a la antena)

MES	IET _{DS}	IET _{Cl_a}	IET _{FT}	IET _{prom}
ENERO	72,69	61,33	88,07	74,03
FEBRERO	75,78	59,96	98,68	78,14
MARZO	72,69	67,69	89,03	76,47
ABRIL	68,37	70,90	86,20	75,15
MAYO	68,89	56,46	99,79	75,05
JUNIO	70,89	61,33	87,59	73,27

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 32: Valores de IET en el Punto 3 de la laguna (caño)

MES	IET _{DS}	IET _{Cl_a}	IET _{FT}	IET _{prom}
ENERO	72,86	54,09	91,93	72,96
FEBRERO	73,04	52,12	93,31	72,82
MARZO	70,14	67,24	97,35	78,24
ABRIL	69,02	57,14	89,15	71,77
MAYO	69,71	48,15	111,03	76,30
JUNIO	70,38	50,97	87,59	69,65

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 33: Promedio de IET en cada punto de la laguna

PUNTOS DE MUESTRO	IET
Punto 1	74,52
Punto 2	75,35
Punto 3	73,62

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Cuadro 34: Promedio mensual del IET en la laguna

MESES DE MONITOREO	IET
ENERO	73,24
FEBRERO	74,88
MARZO	76,18
ABRIL	73,34
MAYO	76,53
JUNIO	72,82

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.5. Programa lagos cálidos tropicales

3.1.5.1.Carga de Fósforo que ingresa a la Laguna Limoncocha al año

Cuadro 35: Carga anual de Fósforo que ingresa a la Laguna Limoncocha.

PUNTO	Caudal Promedio L/s	Fósforo Total mg/L	Caudal másico mg/s	Caudal másico g/s	Fósforo por unidad de superficie g/m ² s	Fósforo por unidad de superficie g/m ² · año
4	2081,27	0,53	1,10E+03	1,10E+00	4,85E-07	1,53E+01
5	1012,53	0,42	4,27E+02	4,27E-01	1,87E-07	5,91E+00
6	3,47	0,42	1,47E+00	1,47E-03	6,43E-10	2,03E-02
7	12,44	0,31	3,80E+00	3,80E-03	1,67E-09	5,26E-02
8	0,09	0,36	3,31E-02	3,31E-05	1,45E-11	4,58E-04
9	0,01	0,35	3,47E-03	3,47E-06	1,52E-12	4,79E-05
10	0,01	0,89	8,94E-03	8,94E-06	3,92E-12	1,24E-04
11	0,31	0,36	1,10E-01	1,10E-04	4,81E-11	1,52E-03
Fósforo Total Anual						21,27

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.5.2.Fósforo Total de la Cuenca Hidrográfica de la Laguna Limoncocha

Cuadro 36: Carga de Fósforo Total proveniente de la Cuenca Hidrográfica

Uso de la Cuenca	Área (ha)	% del Área Total de la Cuenca	Coefficiente de exportación de Fósforo Total g/m ² · año	Coefficiente de exportación según el % del Área g/m ² · año
Bosque	2012,37	71,61	0,01	0,007
Zona Intervenida	560,61	19,95	0,05	0,010
Agua	237,15	8,44		
TOTAL	2810,13	100		0,017

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.5.3. Concentración de Fósforo Total que entra a la Laguna al año

Cuadro 37: Fósforo Total que ingresa a la Laguna anualmente

AFLUENTES g/m² · año	CUENCA HIDROGRÁFICA g/m² · año	TOTAL g/m² · año
21,266	0,017	21,283

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.1.5.4. Determinación del Estado Trófico de la Laguna.

Cuadro 38: Cálculo de Fósforo Total.

Datos para el cálculo	Símbolo	Valor
Carga de Fósforo	L(p)	21,283 g/m ² · año
Tiempo de Retención	T _w	0,0318 años
Profundidad media	z	1,9 m
Resultados		
Fósforo Total del Lago	P _λ	0,281 g/m³

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

Con los resultados obtenidos de la ecuación (2), se utilizó el siguiente gráfico, para establecer el grado de eutrofización de la laguna.

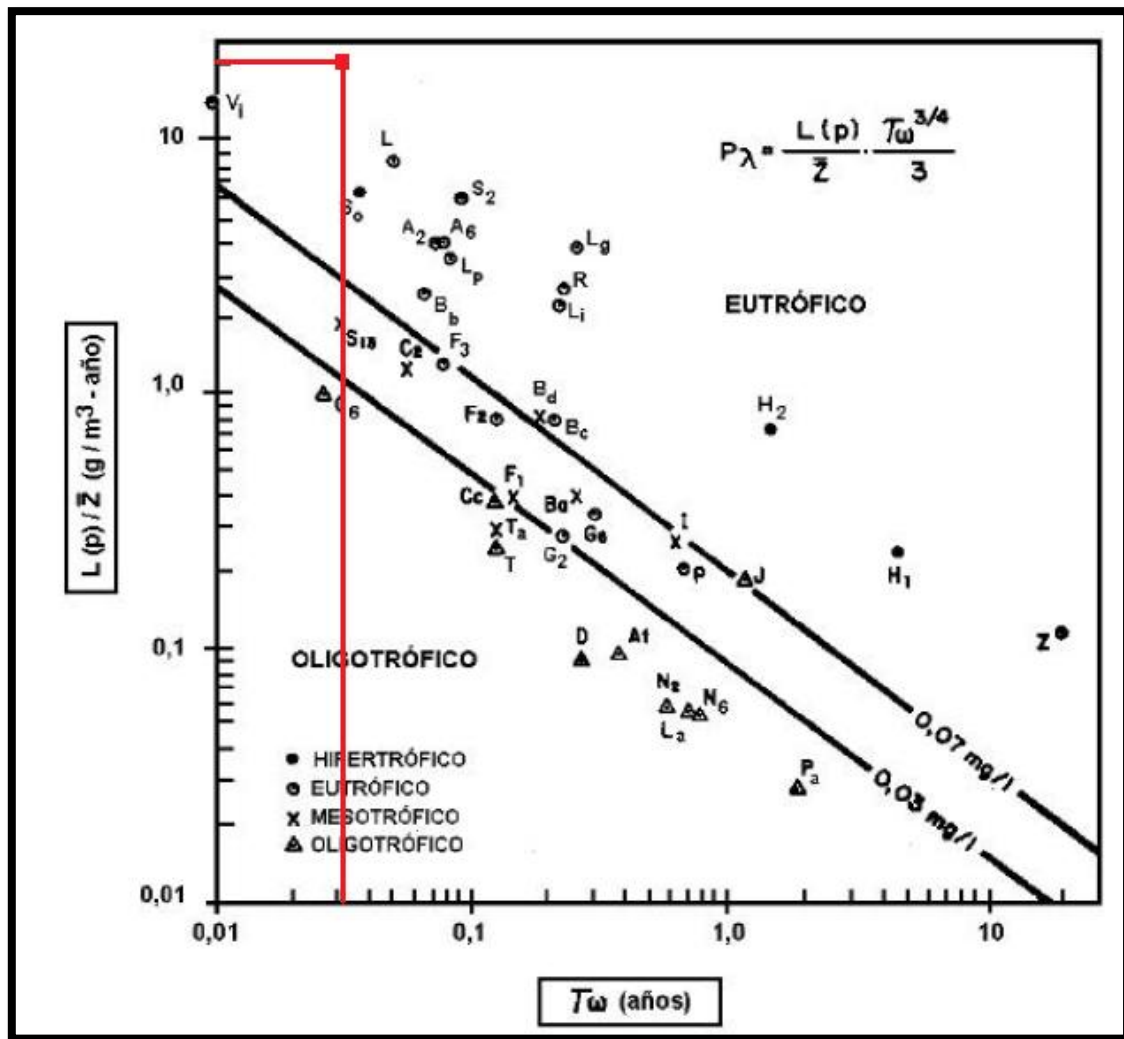


Gráfico 2: L(p)/z vs. Tw

El Cuadro 39 indica los valores que resultó del Programa de Lagos Cálidos Tropicales para lagos eutróficos, mesotróficos y oligotróficos. Con esto se realizó una comparación con la Laguna Limoncocha.

Según lo establecido en el Gráfico 2, la relación L(p)/z vs. Tw supera el rango eutrófico pre-determinado por LACAT.

Cuadro 39: Resultado de Programa LACAT

CLASIFICACIÓN	PROMEDIO GEOMÉTRICO Pλ (mg/m3)	PROMEDIO LOG ± SD	PROMEDIO GEOMÉTRICO Cl α (mg/m³)	PROMEDIO LOG ± SD
EUTRÓFICO	118,7	2,074 ± 0,316	17,39	1,24 ± 0,255
MESOTRÓFICO	39,6	1,598 ± 0,137	6,67	0,824 ± 0,225
OLIGOTRÓFICO	21,3	1,328 ± 0,165	3,56	0,552 ± 0,234
CLASIFICACIÓN	PROMEDIO GEOMÉTRICO Pλ (mg/m3)	PROMEDIO LOG ± SD	PROMEDIO GEOMÉTRICO Cl α (mg/m³)	PROMEDIO LOG ± SD
Laguna Limoncocha	499,13	2,699 ± 0,405	20,22	1,306 ± 0,095

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

3.2.Discusión

3.2.1. Parámetros “In Situ”

3.2.1.1.Laguna Limoncocha

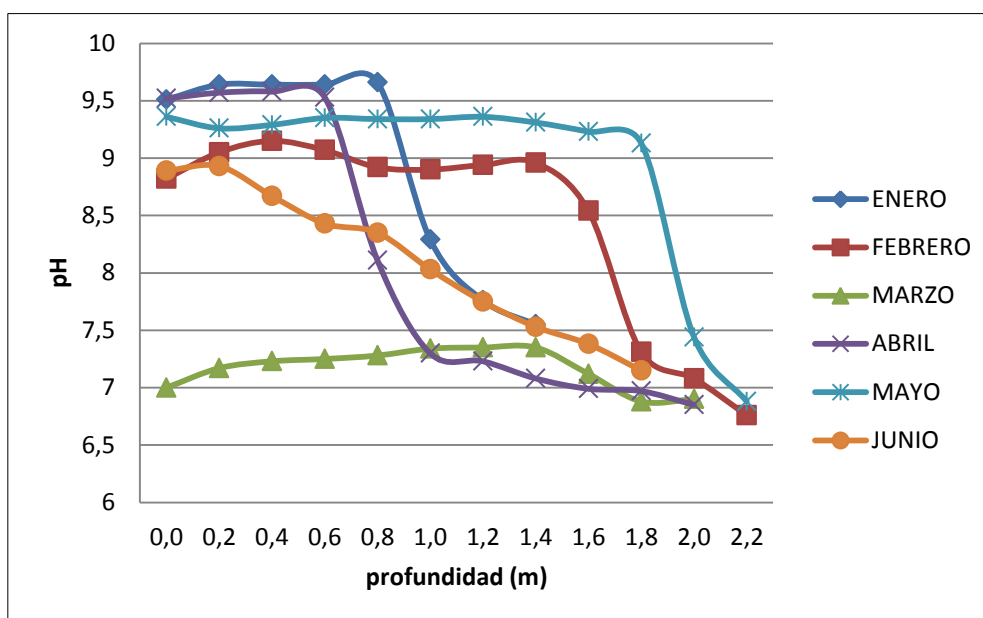


Grafico 3: Datos de pH mensuales en el punto 1 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

En el Grafico 3 se muestran los valores mensuales de pH en el punto 1 de la Laguna, tomando en cuenta que los datos se obtuvieron en toda la columna de agua (cada 0,2m). Se puede observar que en los meses de enero y abril se obtuvieron valores de pH elevados en las capas superficiales, es decir valores básicos, para luego ir disminuyendo a partir de una profundidad de 0,8 m hasta llegar a un valor de 7,6 para enero y 6,9 para abril.

En los meses de febrero y mayo se observan valores constantes de pH hasta una profundidad de 1,4 para febrero y 1,8 para mayo que descienden los valores bruscamente en las capas profundas. Por el contrario, en el mes de junio se observa un decrecimiento de pH constante, es por esto que no se encuentran cambios bruscos.

Por otro lado en marzo se obtuvieron datos alejados a valores de los 5 meses restantes en éste punto, ya que se obtuvieron valores con tendencia a la neutralidad (pH 7) en todo el perfil de la Laguna.

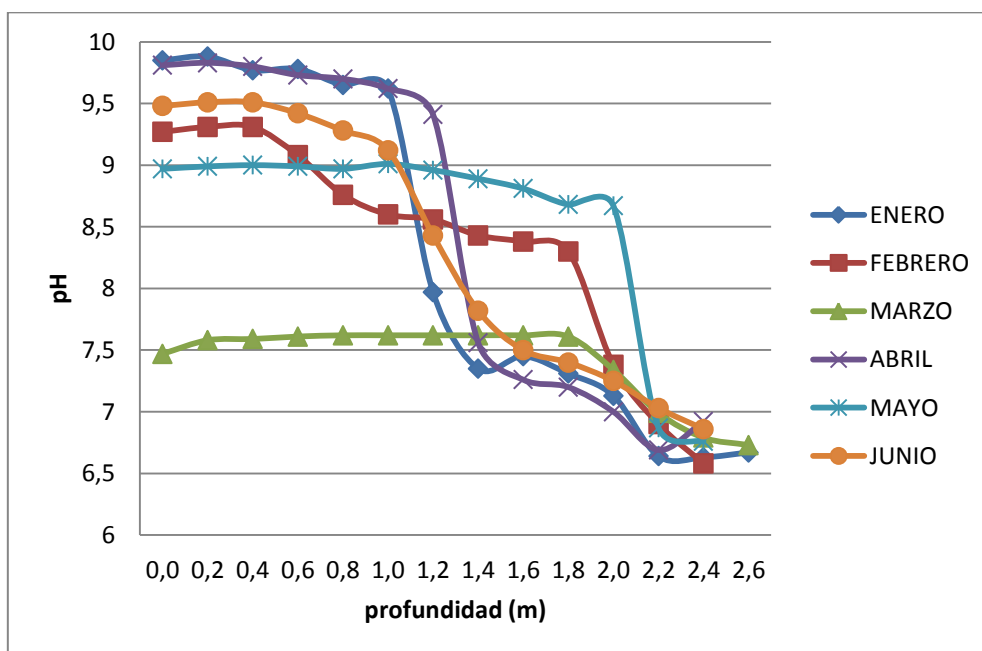


Gráfico 4: Datos de pH mensuales en el punto 2 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Gráfico 4 representa los valores mensuales de pH en el punto 2 de la Laguna tomando en cuenta que los datos se obtuvieron en todo el perfil de la misma. Se observa en este gráfico que al igual que en el punto 1, la tendencia de los valores de enero y abril es similar ya que se observan los más altos valores de pH en éstos meses en las capas superficiales hasta una profundidad de 1,2 m para luego tener un descenso brusco en capas profundas que tienden a un pH más neutro o ácido.

Por otro lado, en febrero y mayo se observan valores elevados en capas superficiales empezando con un valor de 9,27 y 8,97 respectivamente, decreciendo poco a poco hasta una profundidad de 1,8 m en dónde a partir de ésta capa baja considerablemente el pH hasta 6,58 para febrero y 6,76 para mayo, dando valores un tanto ácidos como en todos los meses.

Junio igual tiene un valor alto en la primera capa de agua con un valor de 9,48, pero éste mes indica un decrecimiento constante en sus valores en todas las profundidades, sin tener cambios bruscos de valores, hasta llegar a 6,86 un valor un poco ácido como en todos los meses.

Como en el punto 1, marzo nos dio valores un tanto básicos que tienden a la neutralidad que empieza con 7,47 y se mantiene constante, pero al igual que en el resto de meses termina en 6,73 un valor más básico.

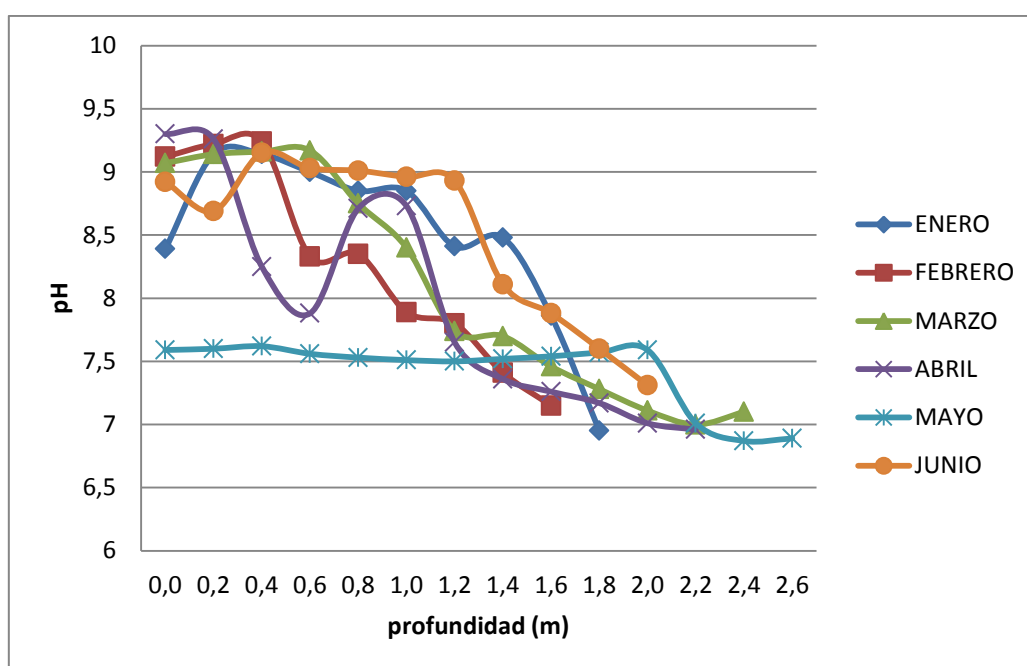


Gráfico 5: Datos de pH mensuales en el punto 3 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Gráfico 5 contiene los valores mensuales de pH en el punto 3 de la laguna. En éste punto se observa datos bastante irregulares de pH a comparación con los otros 2 puntos. El valor más alto corresponde al mes de abril con 9,3, además se observa que éste mes tiene variaciones grandes de pH que no se ha registrado en otros meses, ya que a una profundidad de 0,6 m tiene un pH de 7,88 y se incrementa bruscamente en 0,8 a un valor de 8,71 para luego disminuir nuevamente hasta llegar finalmente al fondo de la laguna a 6,96.

Los meses de febrero, marzo y junio presentan valores similares, y a medida que incrementa la profundidad desciende los valores de pH; por otro lado enero empieza con un valor de 8,39 y sube a 9,12 abajo, dando valores irregulares en éste mes.

Por el contrario los valores más bajo de pH corresponde a mayo, que nos da un valor de 7,59 en profundidad cero, manteniéndose relativamente constante en toda la columna de agua de éste punto, hasta finalmente llegar a un valor de 6,89. Cabe decir también que éste mes registró la mayor profundidad que los otros meses en este punto, en cambio se registró el valor más bajo en profundidad en el mes de febrero dando una diferencia 1 m entre ambos meses.

La tendencia general de la laguna indica la disminución del pH con la profundidad, esto se puede atribuir al paso de la zona aeróbica (presencia de CO₂ disuelto, a la zona anaeróbica o profunda en donde la concentración de especies alcalina (HCO₃⁻ y CO₃²⁻) es casi inexistente.

Finalmente, se puede decir en forma general que el pH de la Laguna es básico en su superficie debido a la acción de CO₂, ya que éste es incorporado por los organismos fototróficos que integran la comunidad acuática. Según se fija el CO₂, mediante la actividad fotosintética, el pH aumenta a una razón similar a la razón de fijación de CO₂ por los productores primarios.

3.2.1.1.1. Conductividad

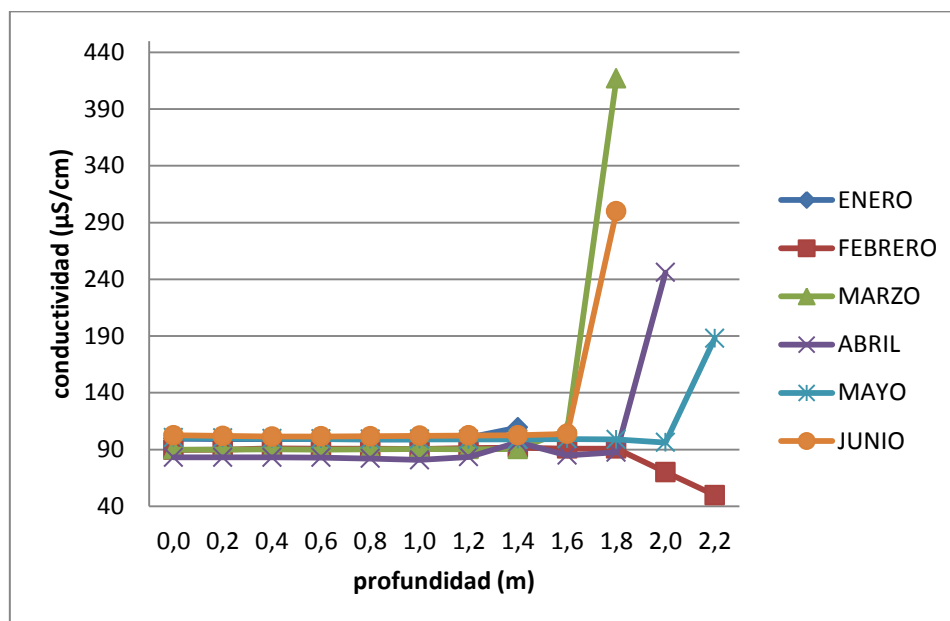


Grafico 6: Datos de conductividad mensuales en el punto 1 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Grafico 6 representa los valores de conductividad en $\mu\text{S/cm}$ obtenidos en los meses de enero a junio, datos que se obtuvieron en el punto 1 de la laguna de Limoncocha en la columna de agua, es decir cada 0,2 m.

Todos los meses tienen prácticamente valores semejantes en la conductividad como se observa en el gráfico, manteniéndose cada valor constante. En el caso de enero todos los datos son constantes, cabe decir también que en éste mes se registró la profundidad baja. Para los meses de marzo y junio los valores se mantienen hasta una profundidad de 1,6 m en donde los valores se disparan a 417 y 300 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente, comportamiento normal al encontrarse cerca de los sedimentos.

Para febrero se obtuvo valores al igual que los otros meses constantes en toda la columna de agua de este punto, pero a 1,8 m de la superficie se observó una disminución de conductividad.

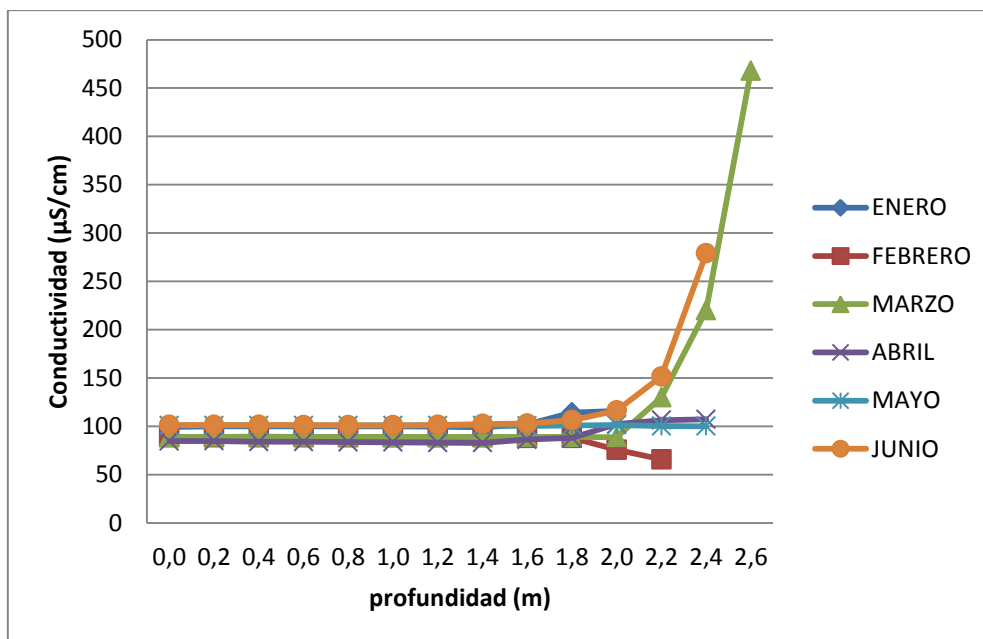


Grafico 7: Datos de conductividad mensuales en el punto 2 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Grafico 7 representa los valores de Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenidos en los meses de enero a junio, datos que se obtuvieron en el punto 2 de la Laguna de Limoncocha en toda la columna de agua, cada 0,2 m de profundidad.

Al igual que el punto anterior los datos de conductividad se mantienen constantes en un rango entre $88,7 \mu\text{S}/\text{cm}$ que corresponde al mes de febrero y $101 \mu\text{S}/\text{cm}$ que corresponde a los meses de mayo y junio. El mes de enero se mantiene constante en todas las mediciones realizadas, incluso en la profundidad.

En marzo y junio en las últimas capas se observa un gran incremento en la conductividad registrando el valor más alto en el mes de marzo con un valor de $468 \mu\text{S}/\text{cm}$ seguido de la última medición de junio con $279 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Como sucedió con el punto anterior en febrero se obtuvieron datos menores en el fondo de la laguna.

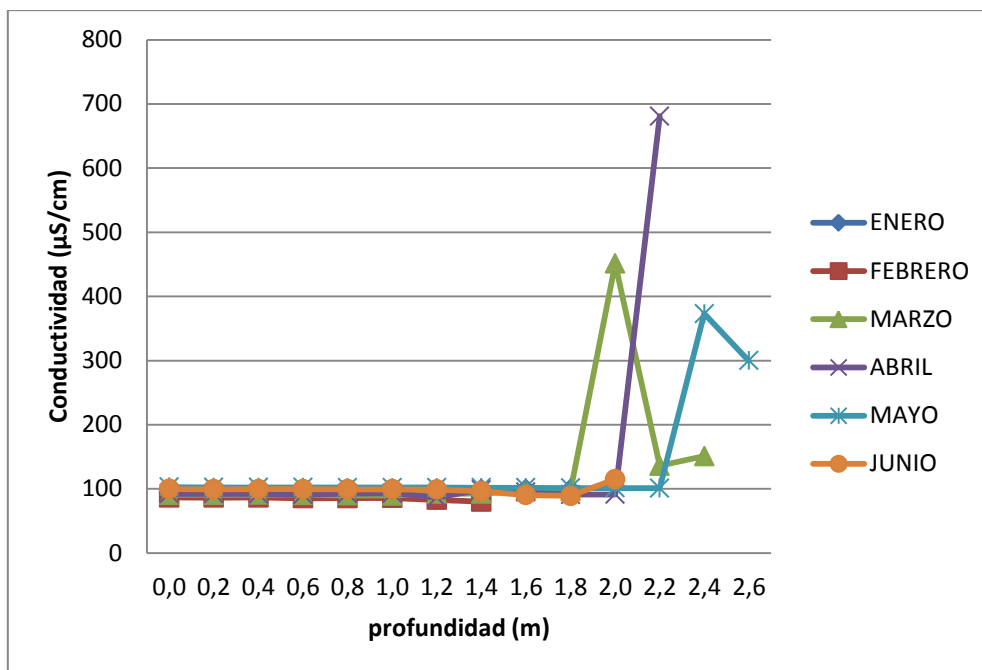


Grafico 8: Datos de conductividad mensuales en el punto 3 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Grafico 8 representa los valores de Conductividad en $\mu\text{S/cm}$ obtenidos en los meses de monitoreo, datos que se obtuvieron en el punto 3 situado en el caño de la laguna de Limoncocha en toda la columna de agua.

En el mes de enero los datos son constantes sin variaciones en todas las profundidades registradas; sucede lo mismo en febrero, pero al igual que en los 2 puntos anteriores, en las profundidad más baja se registró una disminución en el valor de conductividad en este mes, además febrero es el mes que registró una menor profundidad en éste punto.

Marzo desde 1,8 m de profundidad presenta variaciones, observándose un pico de 451 $\mu\text{S/cm}$. En abril el último valor de profundidad se incrementa alcanzando un pico de 681 $\mu\text{S/cm}$, el más alto en éste punto.

Al igual que marzo, en mayo y junio se obtuvieron datos elevados de conductividad en la zona profunda del punto 3.

3.2.1.1.2. Oxígeno Disuelto

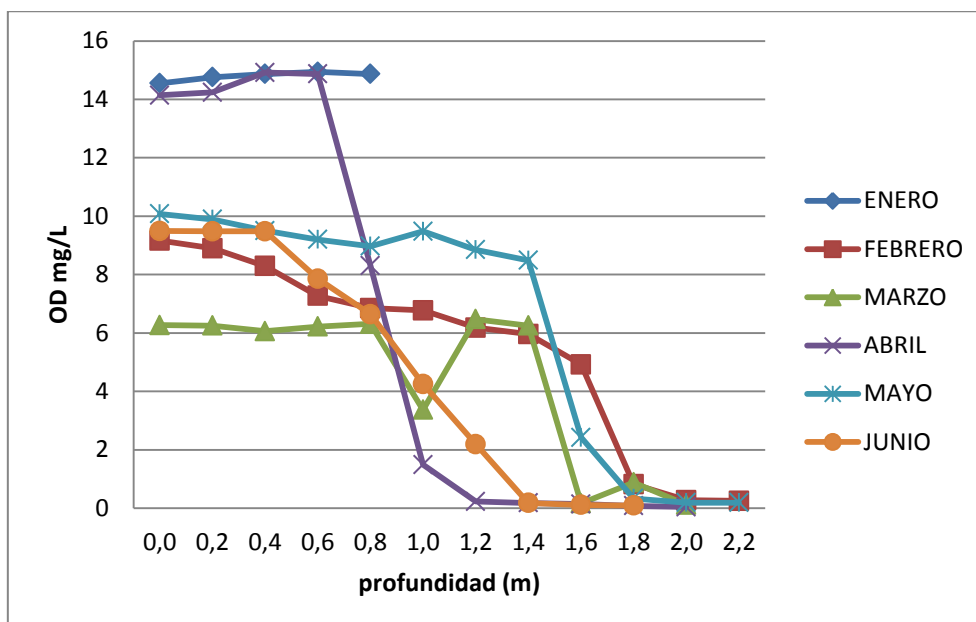


Gráfico 9: Datos de oxígeno disuelto mensuales en el punto 1 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Gráfico 9 representa los valores de oxígeno disuelto obtenidos de enero a junio del 2012 en el punto 1 de la Laguna, los mismos que fueron medidos cada 0,2 m de profundidad.

Los valores más altos de oxígeno disuelto corresponde a los meses de enero y abril; en el caso de enero, los valores son constantes; por el contrario en abril a partir de 0,8 m de profundidad los valores de oxígeno disuelto decrecieron notablemente.

En los otros meses se obtuvieron valores bajos de oxígeno disuelto, pero a su vez, presentan los datos más altos en la superficie de la laguna y bajos en las partes profundas, debido a las condiciones anóxicas que se producen cerca a los sedimentos

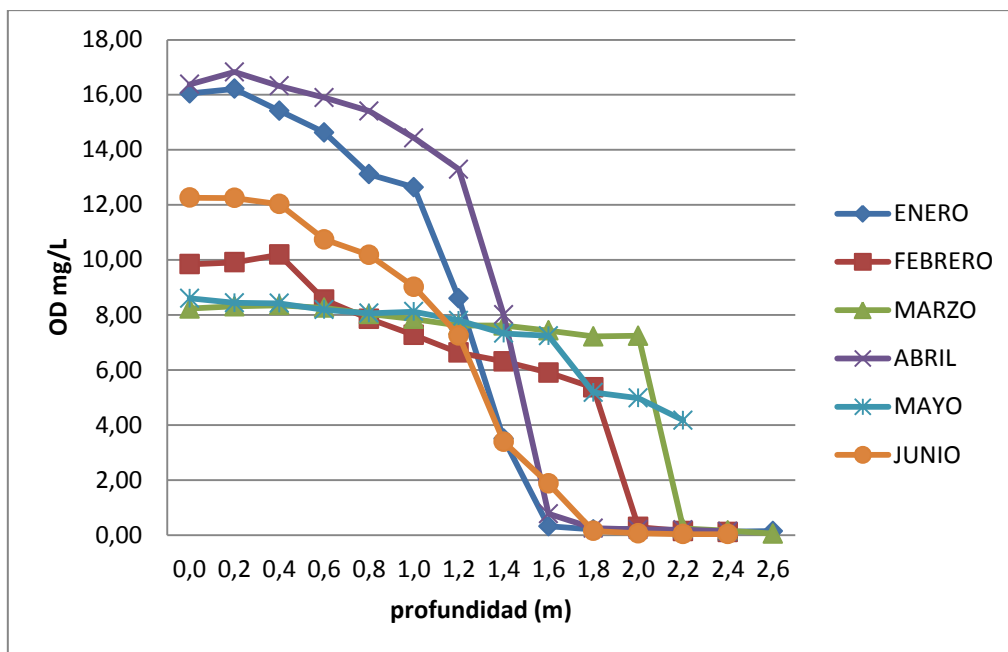


Grafico 10: Datos de oxígeno disuelto mensuales en el punto 2 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Gráfico 10 representa los valores de oxígeno disuelto en el punto 2 de la Laguna, los mismos que fueron medidos en toda la columna de agua.

Como sucede en el punto 1, enero y abril constituyen los valores más altos registrados de oxígenos disuelto en el punto 2, disminuyendo los valores conforme asciende la profundidad.

Los valores observados en febrero, marzo, mayo y junio son bajos con lo que respecta a enero y abril, por lo mismo tienen el mismo comportamiento, los valores disminuyen conforme asciende la profundidad.

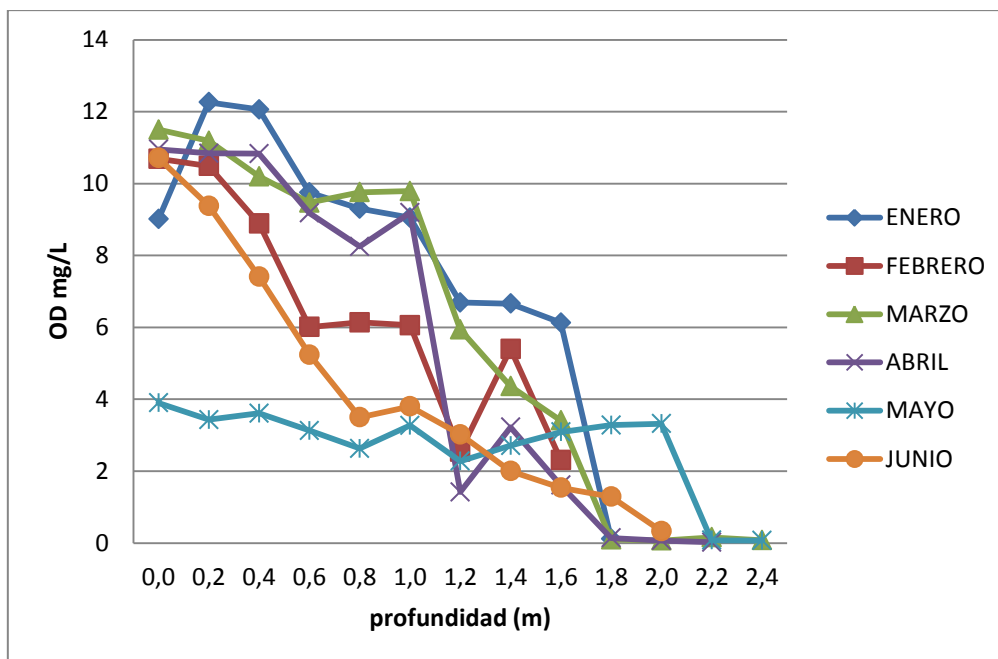


Grafico 11: Datos de oxígeno disuelto mensuales en el punto 3 de la Laguna Limoncocha según su profundidad.

El Gráfico 11 representa los valores de oxígeno disuelto obtenidos de enero a junio del 2012 en el punto 3 de la Laguna, valores que fueron medidos cada 0,2 m de profundidad.

En éste punto, se observan datos que en todos los meses, exceptuando mayo, son similares en un rango entre 9,01 y 11,5 mg/L, en la superficie de la laguna. Todos los datos son bastante irregulares, hasta llegar a valores bajos.

Para mayo, los valores de oxígeno disuelto en la superficie es de 3,9 manteniéndose relativamente constante, hasta la el nivel más profundo de la laguna.

3.2.1.2.Afluentes

3.2.1.2.1. pH

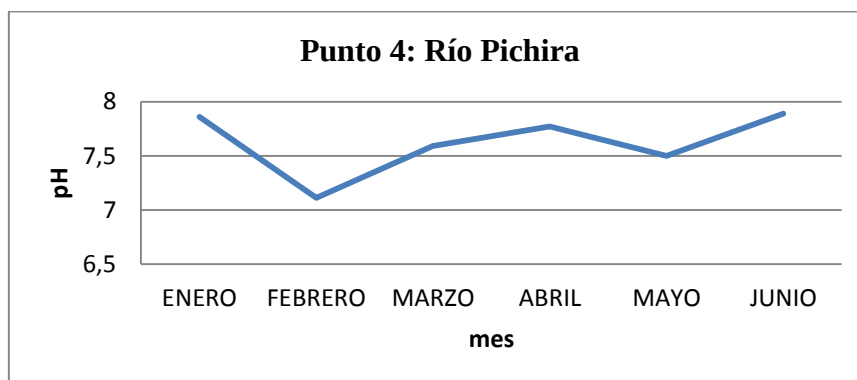


Gráfico 12: Valores de pH en el Punto 4

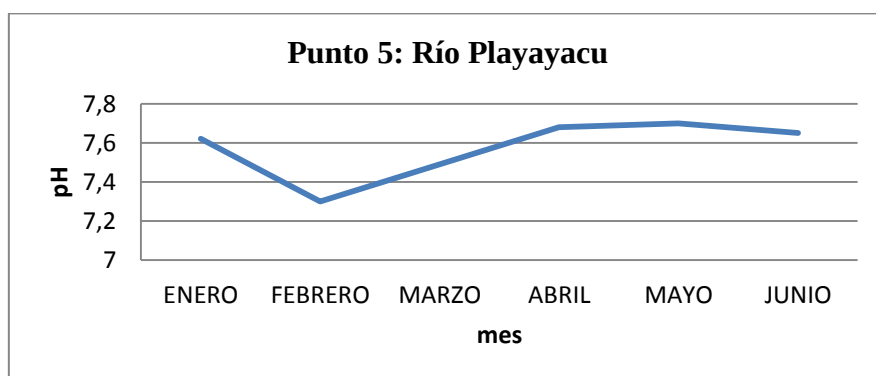


Gráfico 13: Valores de pH en el Punto 5

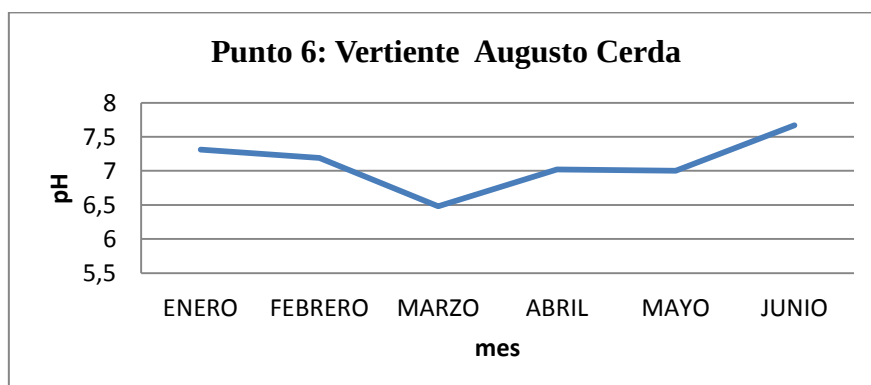


Gráfico 14: Valores de pH en el Punto 6

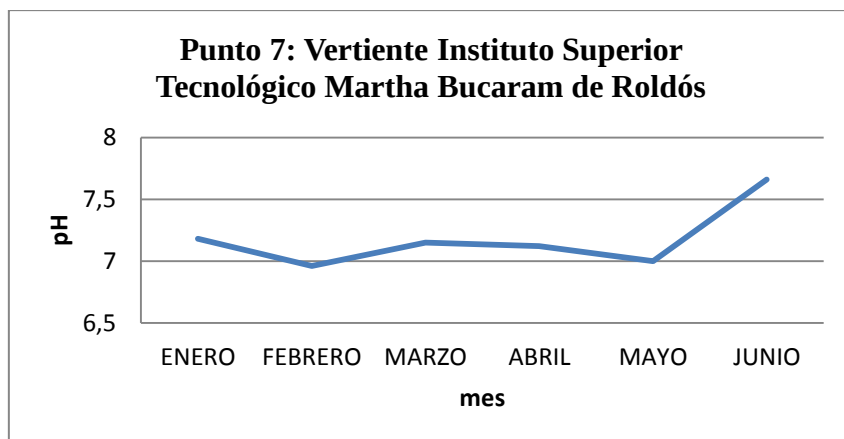


Gráfico 15: Valores de pH en el Punto 7

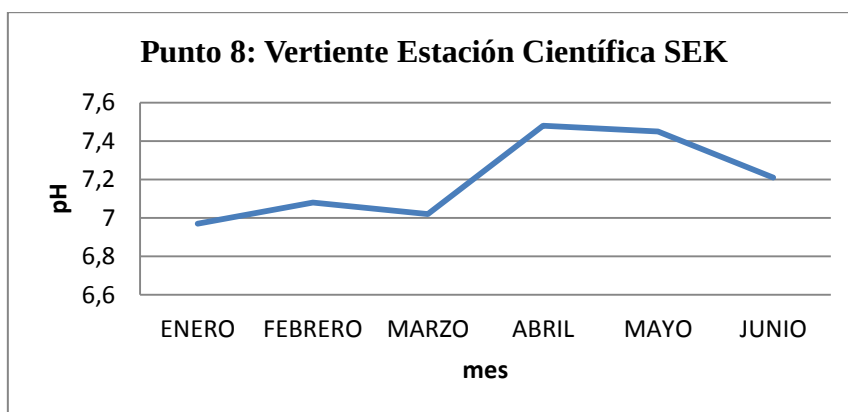


Gráfico 16: Valores de pH en el Punto 8

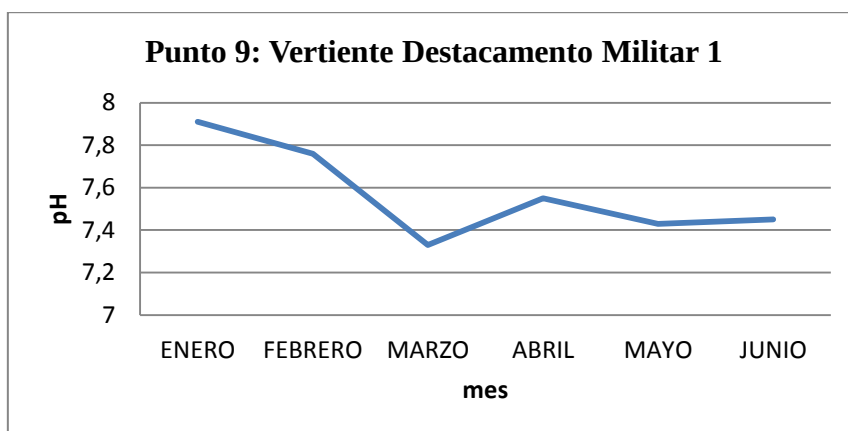


Gráfico 17: Valores de pH en el Punto 9

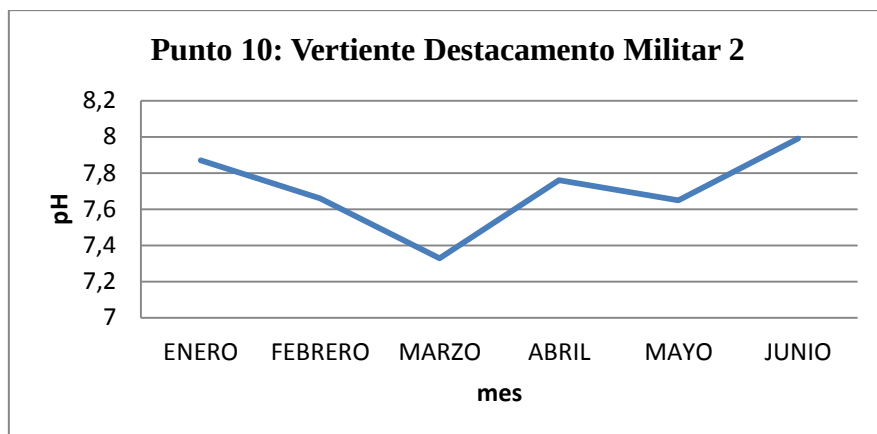


Gráfico 18: Valores de pH en el Punto 10

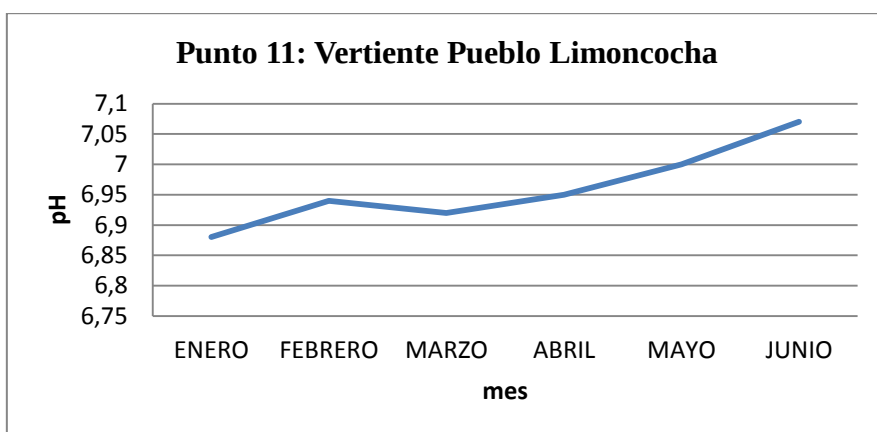


Gráfico 19: Valores de pH en el Punto 11

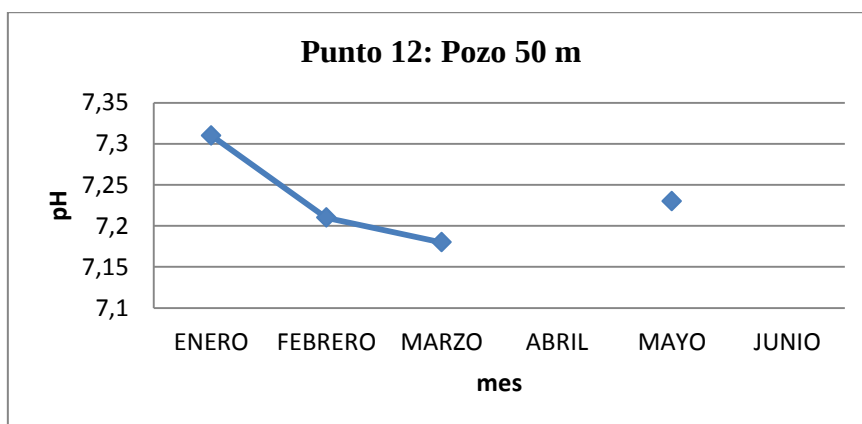


Gráfico 20: Valores de pH en el Punto 12

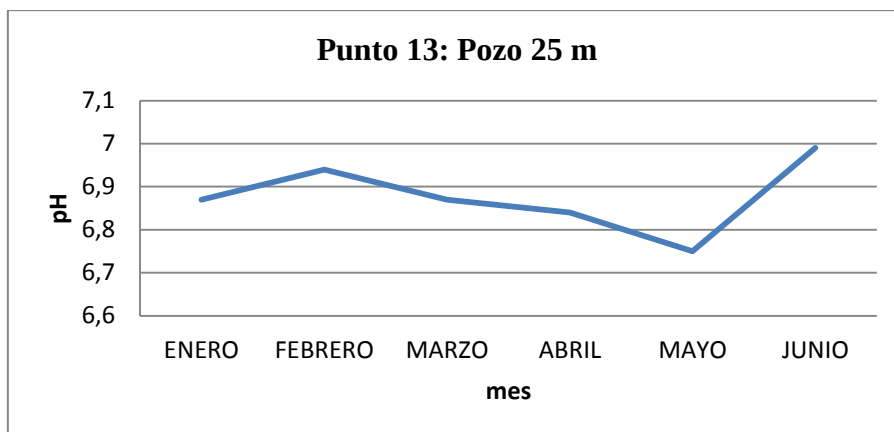


Gráfico 21: Valores de pH en el Punto 13

Los Gráficos 12 y 13 representan el pH mensual determinado en los puntos 4 y 5 correspondientes al Río Pichira y Playayacu respectivamente. Como se observa en los gráficos, en el mes de febrero se registra el pH mínimo, considerando que los valores de pH en ambos puntos es relativamente constante; con un promedio para el punto 4 de 7,62 y 7,57 en el punto 5, con un tendencia leve a la basicidad.

En los Gráficos 14 y 15, que corresponde a los puntos 6 y 7, se observa que en el mes de junio se encuentra el valor más alto de pH con valores de 7,67 y 7,66 respectivamente; considerando que los datos obtenidos mensualmente no tienen cambios importantes a considerar. Al igual, como se indican en los gráficos 16 al 18 los valores de pH se encuentran en un rango constante.

El Gráfico 19 que representa el punto 11, es el punto que posee los valores más bajos de pH con tendencia a la acidez, sin embargo, la variación de éste parámetro con los otros afluentes, no es considerable.

Por otro lado, los Gráficos 20 y 21, representan a los pozos situados en el pueblo, en el cual no se obtuvieron datos en los meses de mayo y junio en el punto 13, ya que el pozo se encontraba apagado. Se observa que el pozo de 50 m establecido por el punto 12, tiene valores de pH más elevados que el pozo de 25 m.

3.2.1.2.2. Conductividad

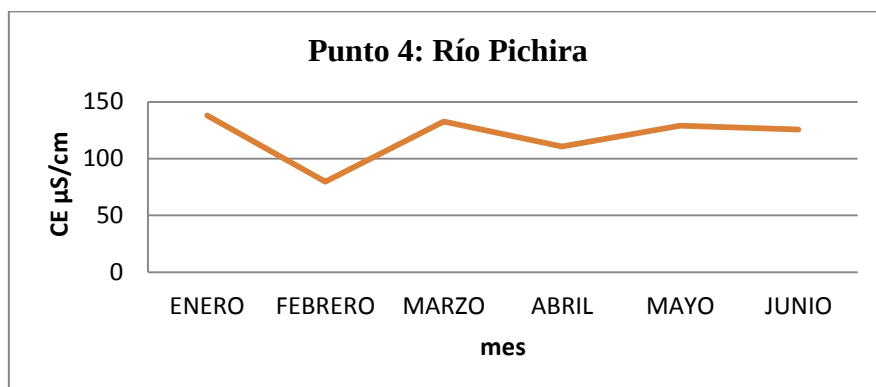


Gráfico 22: Valores de Conductividad en el Punto 4

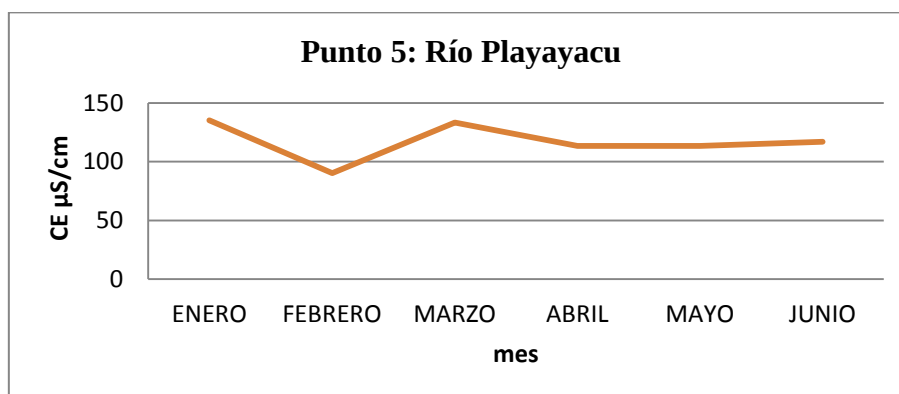


Gráfico 23: Valores de Conductividad en el Punto 5

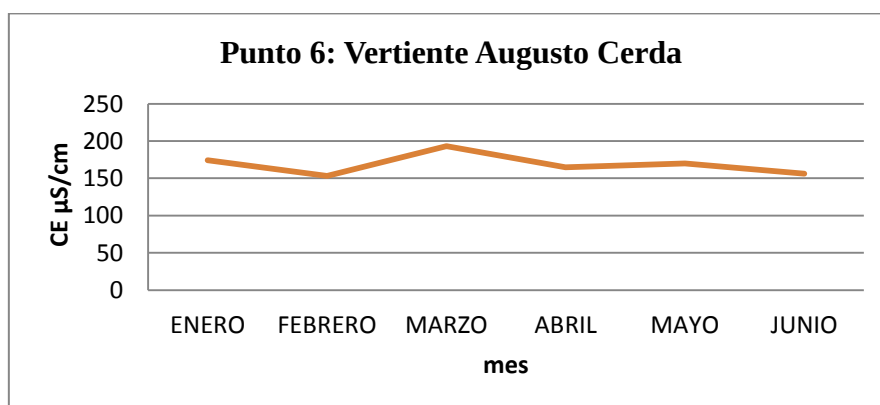


Gráfico 24: Valores de Conductividad en el Punto 6

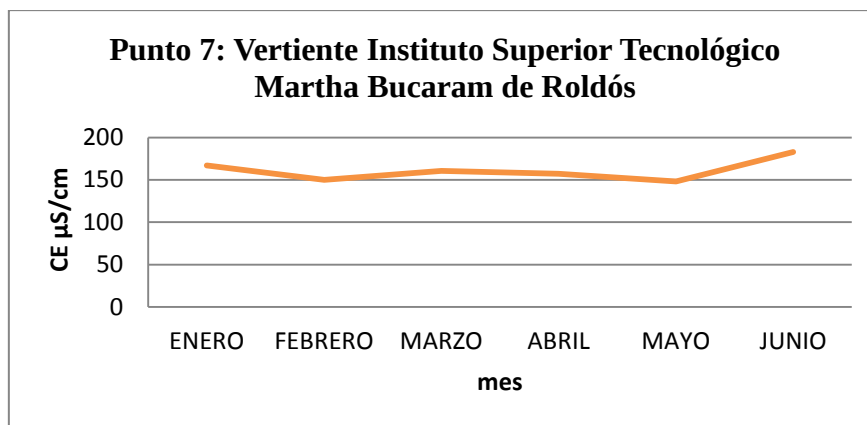


Gráfico 25: Valores de Conductividad en el Punto 7

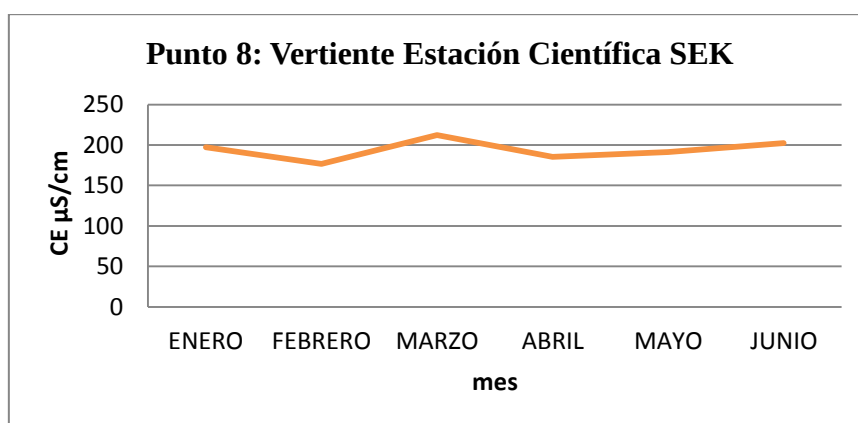


Gráfico 26: Valores de Conductividad en el Punto 8

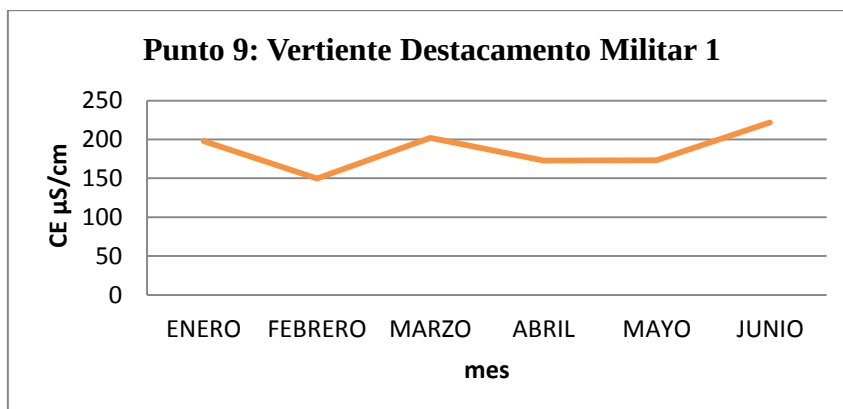


Gráfico 27: Valores de Conductividad en el Punto 9

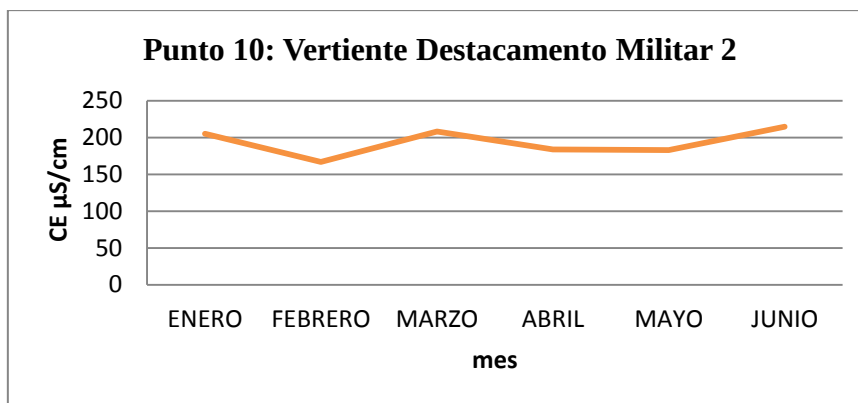


Gráfico 28: Valores de Conductividad en el Punto 10

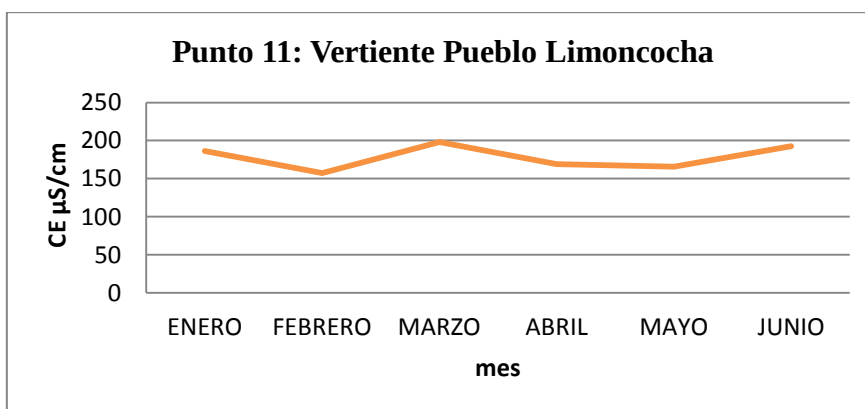


Gráfico 29: Valores de Conductividad en el Punto 11

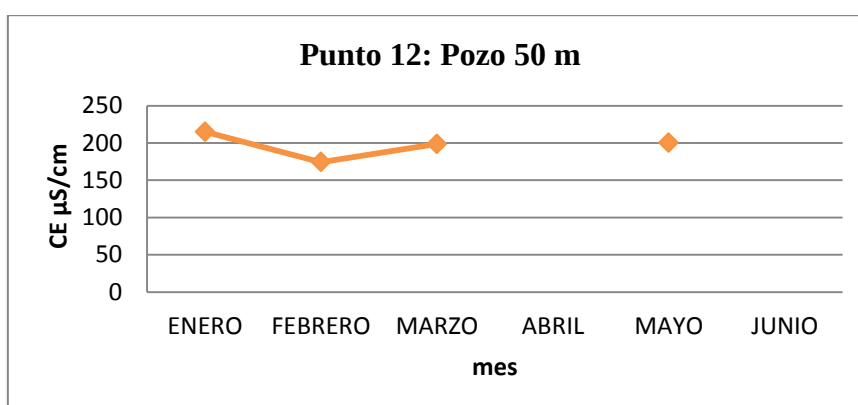


Gráfico 30: Valores de Conductividad en el Punto 12

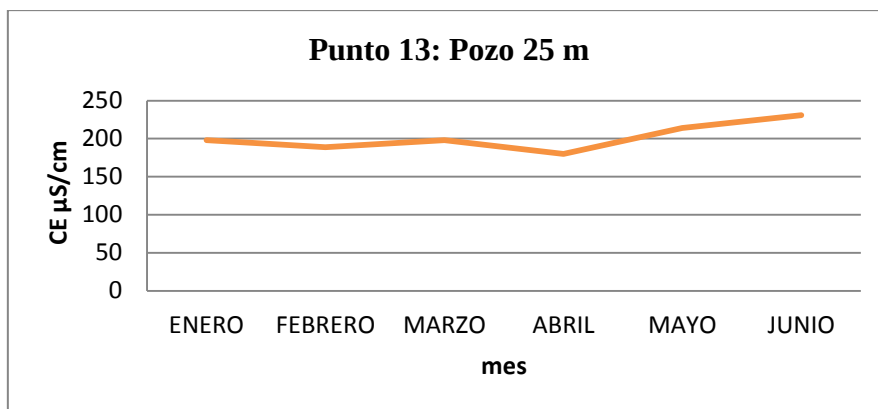


Gráfico 31: Valores de Conductividad en el Punto 13

En los gráficos 22 al 31 se muestran los datos de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$, de los afluentes, obtenidos en los muestreos mensuales que se realizaron de enero a junio del presente año.

Los gráfico22 y 23 correspondientes a los ríos, tienen los valores de conductividad similar en los dos puntos; es por esto que en el mes de febrero en ambos casos se muestra los valores más bajos.

Sin embargo, los gráficos 24 al 29 presentan valores elevados de conductividad, ya que al tratarse de aguas subterráneas, presentan mayor cantidad de sales disueltas y existe una alta relación agua-roca.

Finalmente, los gráficos 30 y 31 corresponden a los pozos ubicados en el Pueblo Limoncocha. En el punto 12, los meses de abril y junio, no se obtuvieron datos por encontrarse apagado el pozo. Así mismo, por tratarse de agua subterránea poseen valores elevados de conductividad, en los que los valores más altos se presentan en mayo y junio del presente año.

3.2.1.2.3. Oxígeno Disuelto

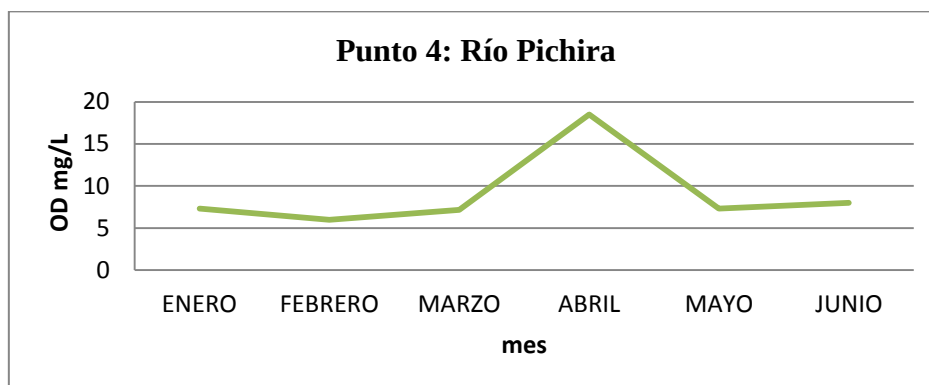


Gráfico 32: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 4

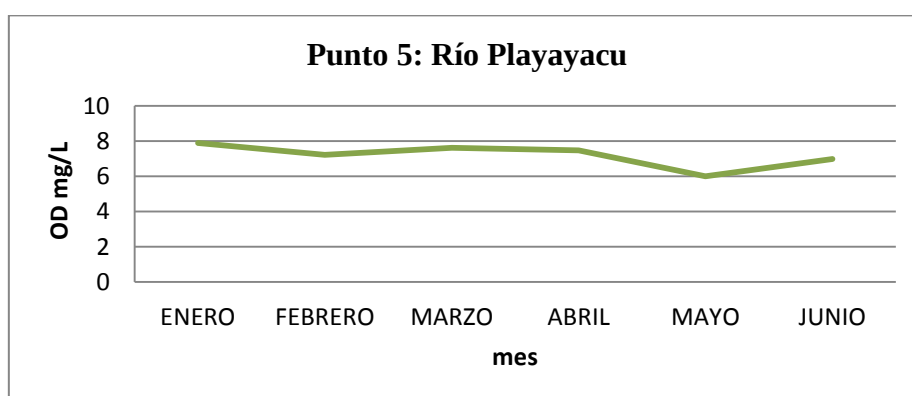


Gráfico 33: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 5

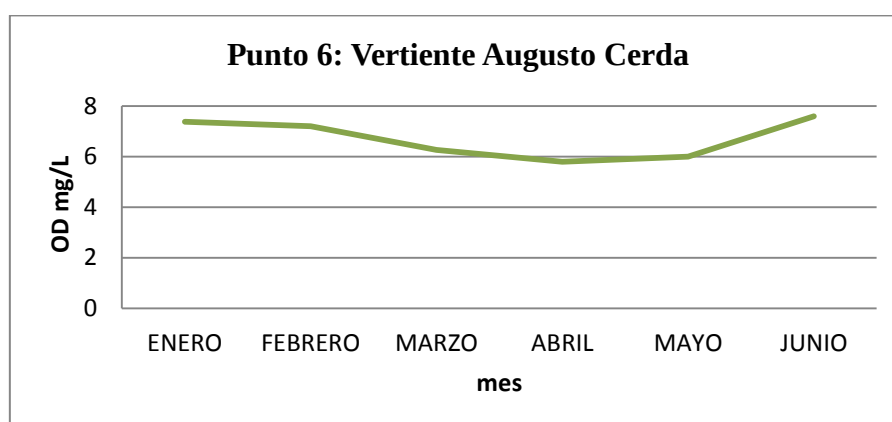


Gráfico 34: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 6

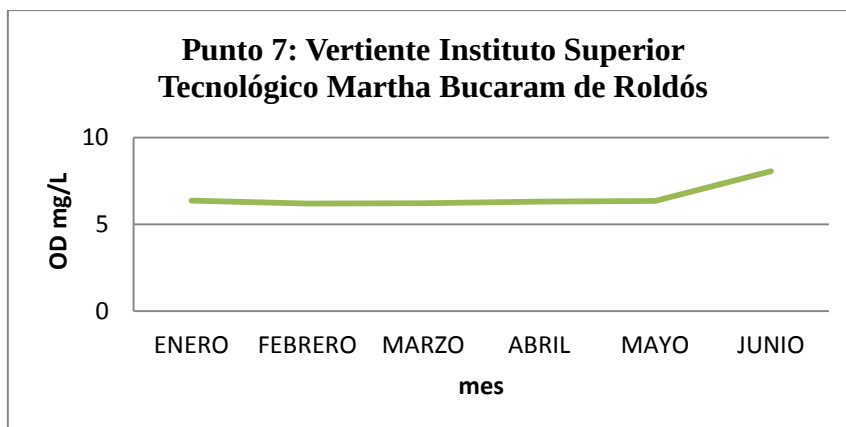


Gráfico 35: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 7

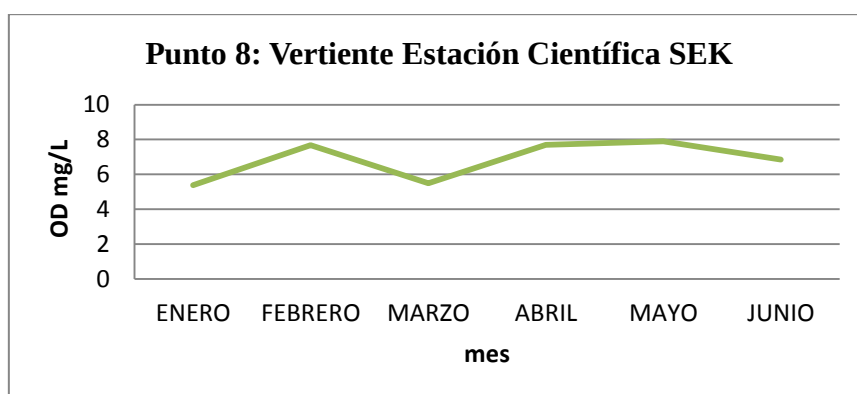


Gráfico 36: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 8

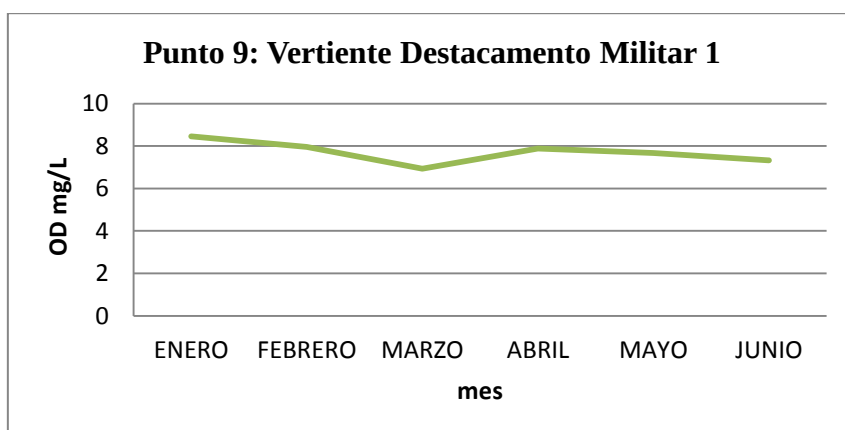


Gráfico 37: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 9

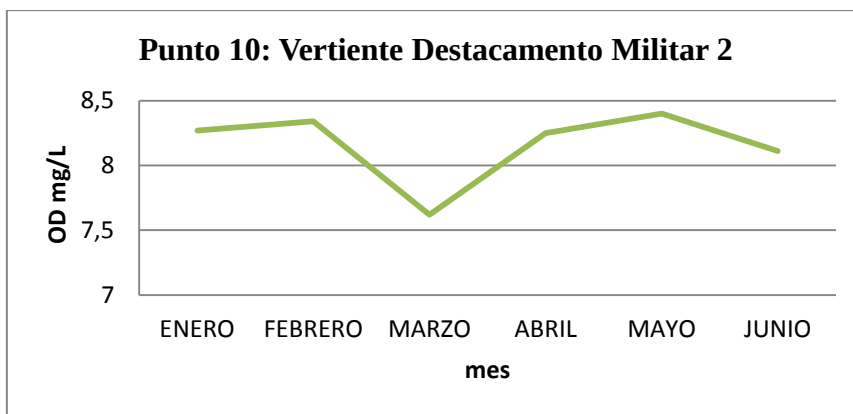


Gráfico 38: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 10

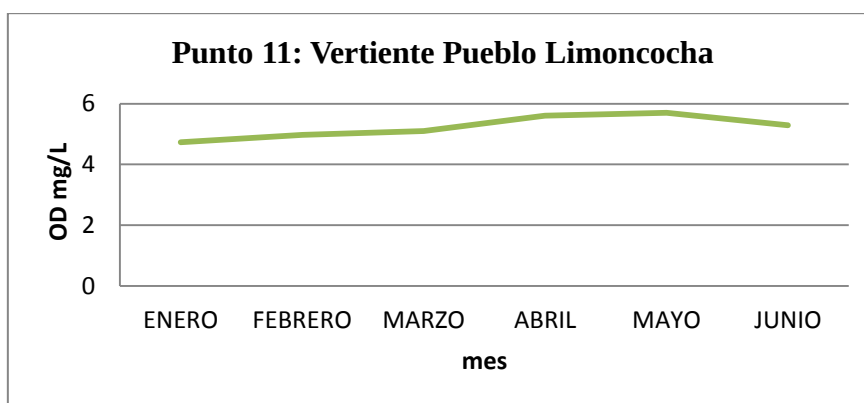


Gráfico 39: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 11

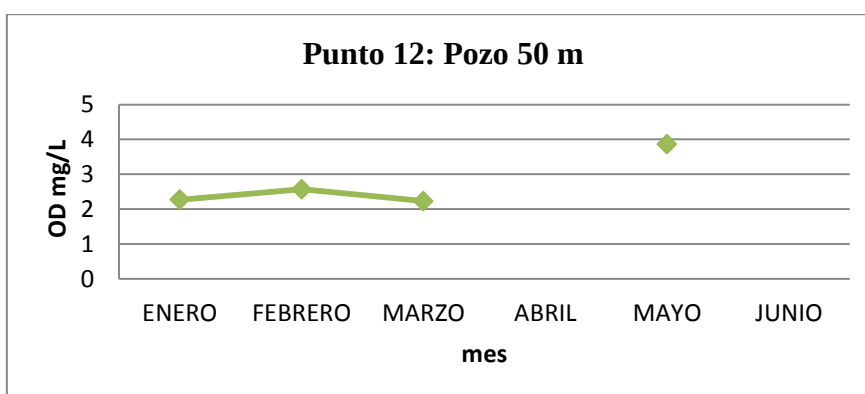


Gráfico 40: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 12

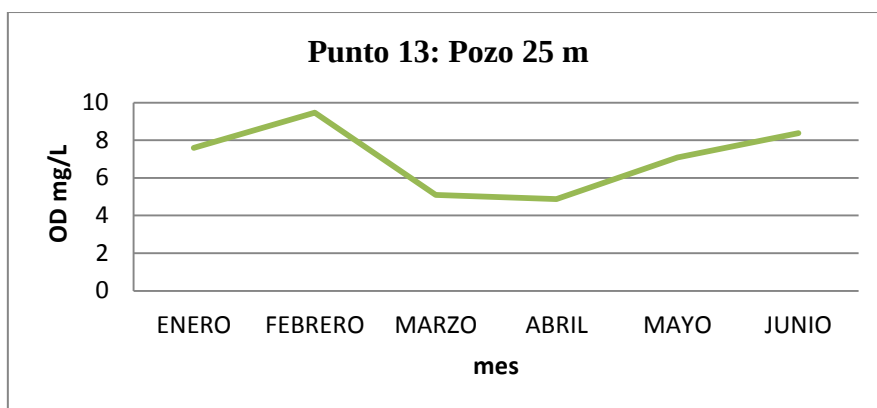


Gráfico 41: Valores de Oxígeno Disuelto en el Punto 13

Los Gráficos 32 al 41 presentan los valores obtenidos a partir de muestreos mensuales de oxígeno disuelto, en mg/L, de los afluentes de la laguna. El punto 4 presenta un alto valor de oxígeno disuelto, como se muestra en el Gráfico 32, posiblemente debido a la turbulencia del río presentada en ésta fecha de muestreo, por lo que aumentan las concentraciones de OD. Por otro lado, al ser ríos pequeños sin mayor turbulencia, se tienen datos no muy elevados de oxígeno disuelto.

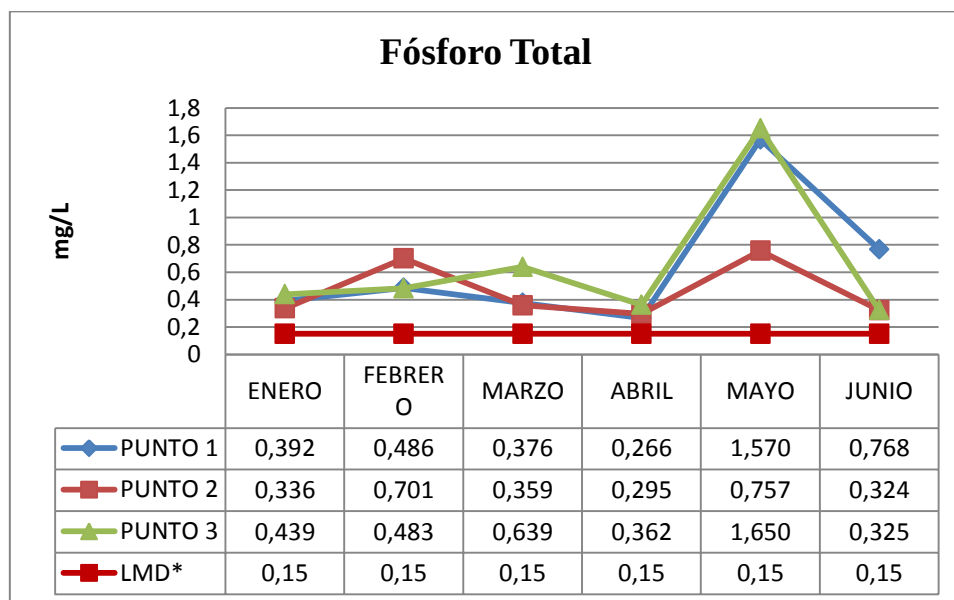
Los Gráficos 34 al 39 presentan valores relativamente constantes en los afluentes, sin embargo al tratarse de agua subterránea, al tener contacto con la atmósfera, se disuelve el aire presente, presentando valores más elevados de OD.

Los pozos se encuentran representado por los Gráficos 40 y 41, presentan variaciones importantes de OD. El punto 12 muestra valores bajos de OD, ya que éste pozo al provenir de aguas subterráneas, se encuentra en un tanque sin aireación; por otro lado los meses de abril y junio no se obtuvieron datos, ya que el pozo se encontraba apagado. El punto 13 presenta valores más elevados de OD, debido a que el pozo está sujeto al proceso de aireación.

3.2.2. Parámetro de Laboratorio

3.2.2.1.Laguna Limoncocha

3.2.2.1.1. Fósforo Total



*Límite mínimo de detección

Gráfico 42: Datos de Fósforo Total de la Laguna de Limoncocha en mg/L

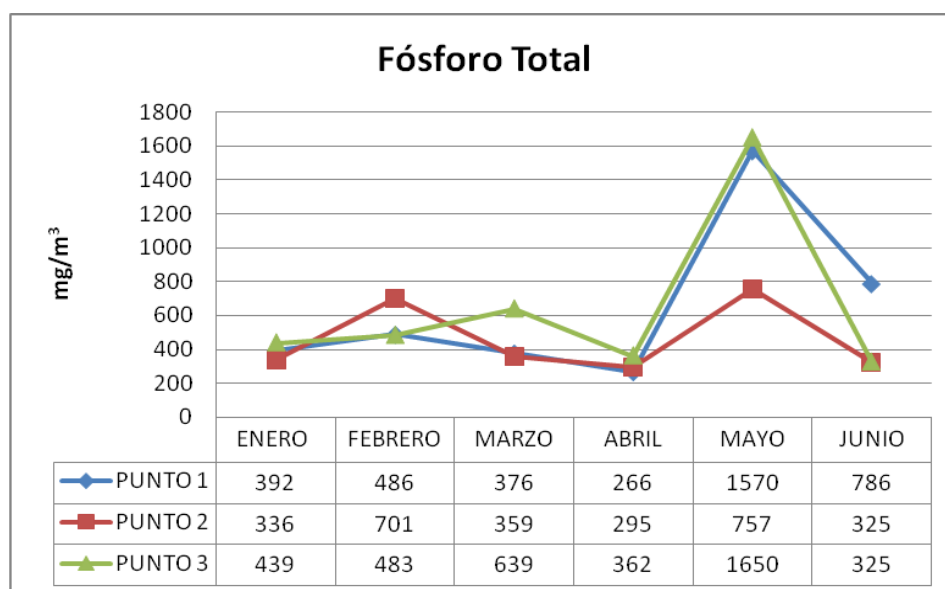
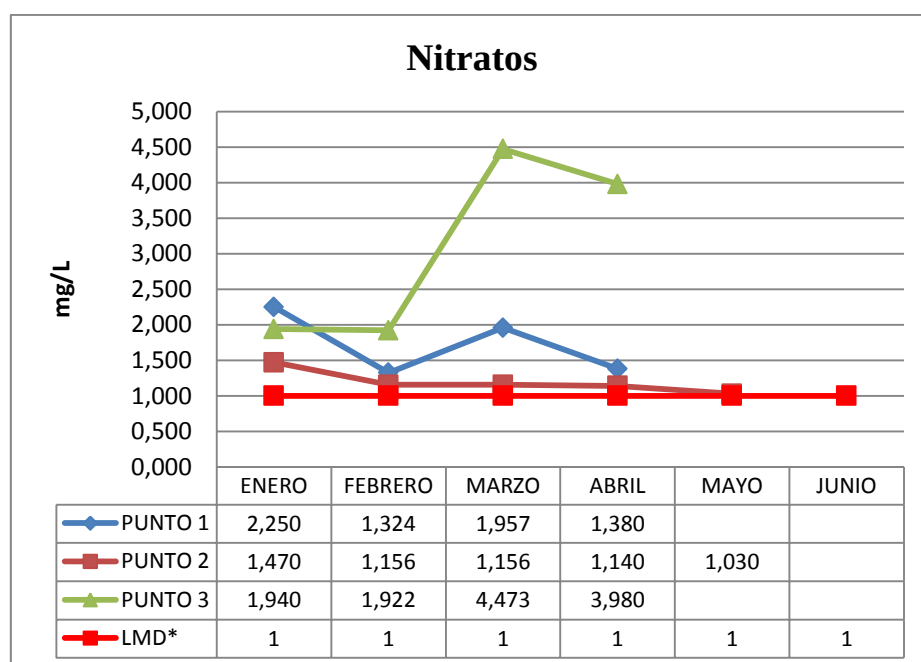


Gráfico 43: Datos de Fósforo Total de la Laguna de Limoncocha en mg/m³

Los Gráficos 42 y 43 presentan las concentraciones de fósforo total, en mg/L y mg/m³ respectivamente, presente en los tres puntos de la Laguna Limoncocha. Los datos fueron obtenidos en mg/L, pero para cálculos de determinación del estado trófico de la laguna, es necesario en mg/m³.

Se observa que en los puntos 1 y 3 se manifiestan concentraciones elevadas de fósforo total en mayo, cabe decir que en éste mes los valores de éste nutriente en afluentes son mayores que otros meses; por el contrario abril registró las menores concentraciones en todos los puntos de muestreo.

3.2.2.1.2. Nitrato



*Límite mínimo de detección

Gráfico 44: Datos de Nitrato presentes en la Laguna de Limoncocha

El Gráfico 43 indica las concentraciones de nitrato, en mg/L, que existe en la laguna. Así mismo se aplica el límite mínimo de detección por el método utilizado, con ello se observa que en el mes de mayo los valores de nitrato en los puntos 1 y 3 no son confiables ya que están

por debajo de dicho límite; el mismo caso es de junio que en los 3 puntos los datos no son confiables.

Las concentraciones más altas de nitrato se ubican en el punto 3, el cual demuestra bastante irregularidad en sus datos. Por el contrario, en marzo y abril los valores son elevados y lo contrario sucede con mayo y junio, que se manifiestan valores realmente bajos.

3.2.2.1.3. Clorofila α

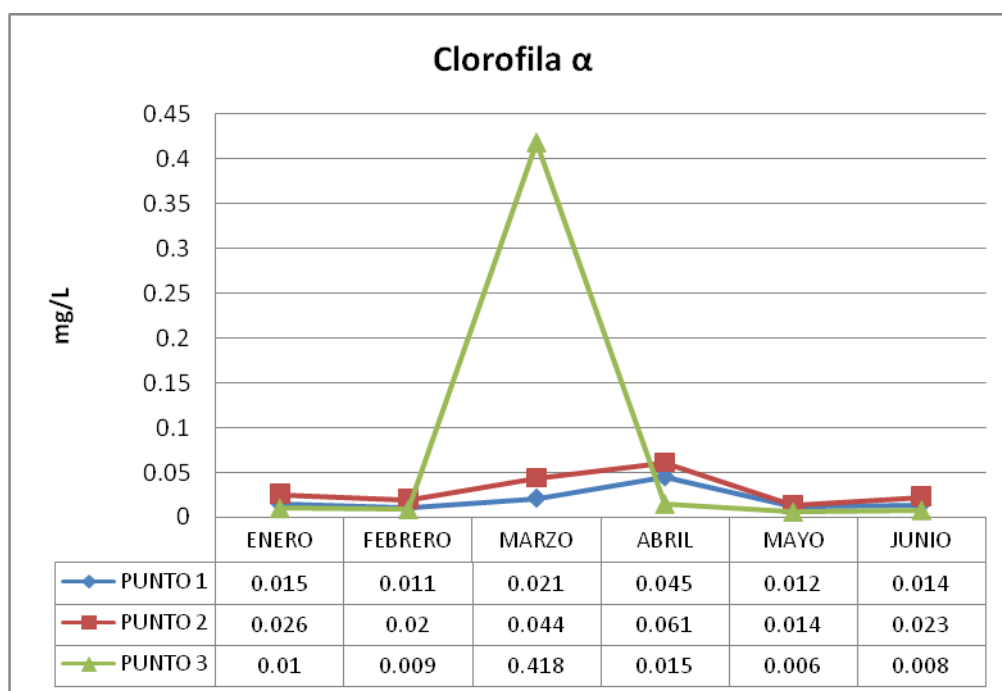


Gráfico 45: Concentraciones de Clorofila α en mg/L presentes en la Laguna Limoncocha

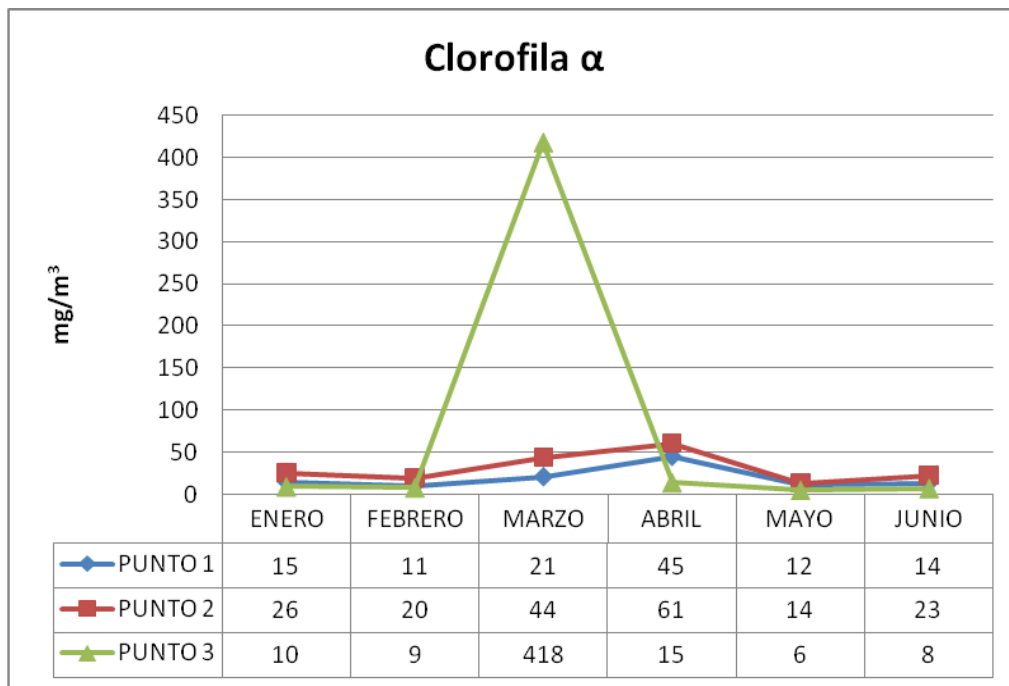


Gráfico 46: Concentraciones de Clorofila α en mg/m^3 presentes en la Laguna Limoncocha

El Gráfico 45 presenta los valores de clorofila α en mg/L , valores que se obtuvieron en éstas unidades por la ecuación (6) aplicada; por otra parte el Gráfico 46 muestra los mismos valores de clorofila α en mg/m^3 , datos necesarios para el cálculo del estado trófico de la laguna, con el fin de aplicar a la ecuación (4).

En general, el punto 2 contiene las concentraciones más altas de clorofila α , exceptuando la concentración en el punto 3, determinada en el mes de marzo, en dónde se observa una concentración diferente a la tendencia del gráfico, a lo que se atribuye probablemente a un error experimental.

Se puede decir que la laguna contiene concentraciones bajas de clorofila α , sin embargo, el punto 3 presenta irregularidades.

3.2.2.2.Afluentes

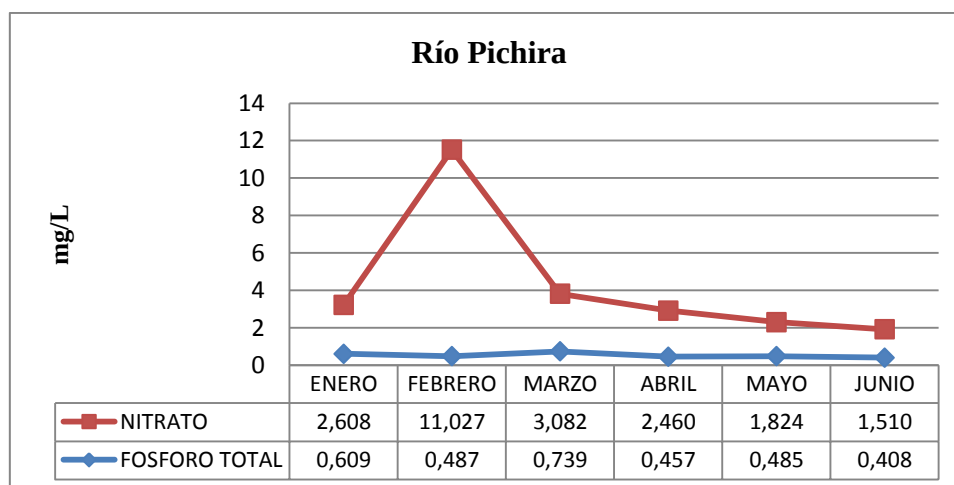


Gráfico 47: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 4

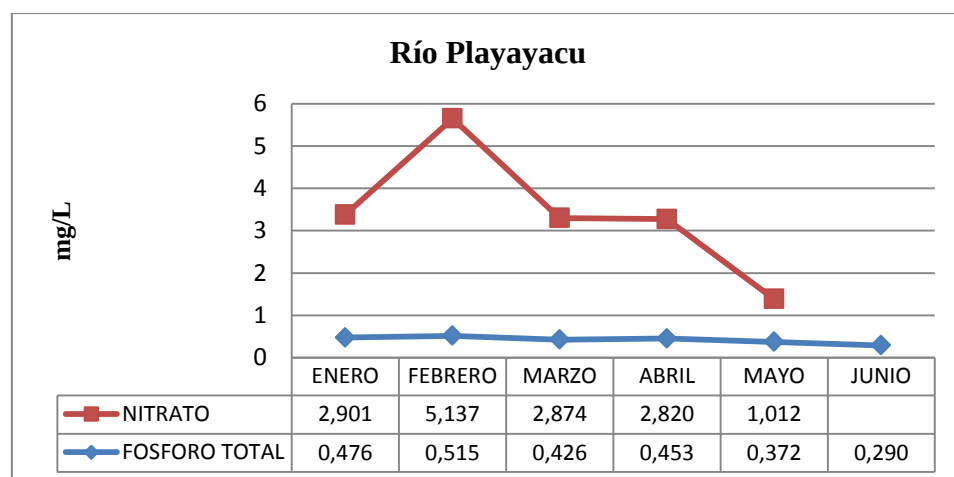


Gráfico 48: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 5

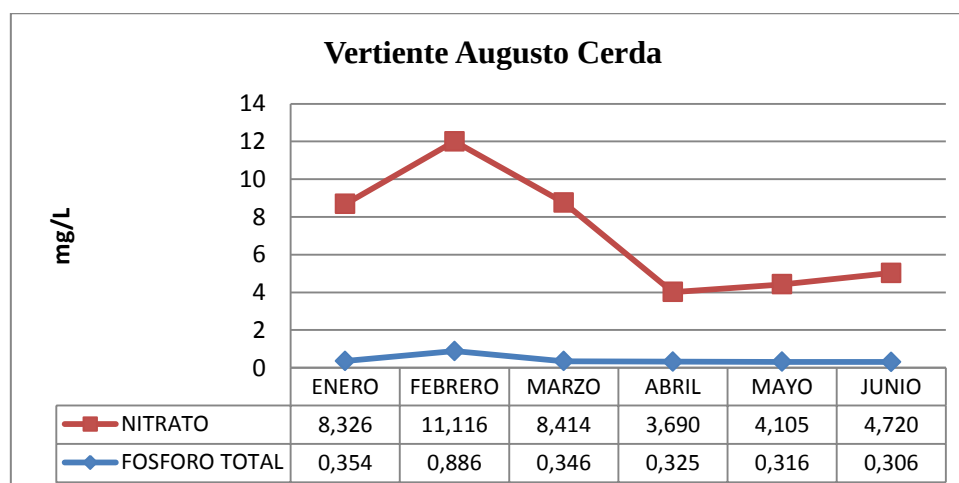


Gráfico 49: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 6

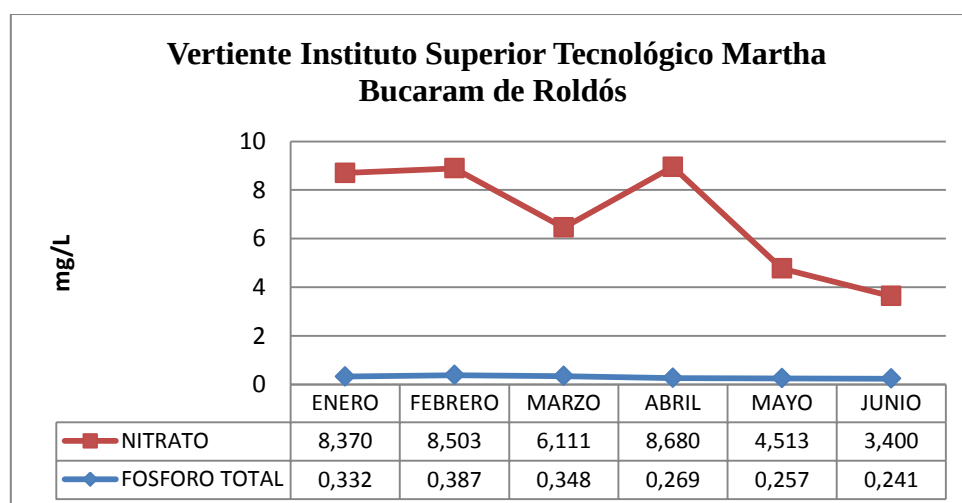


Gráfico 50: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 7

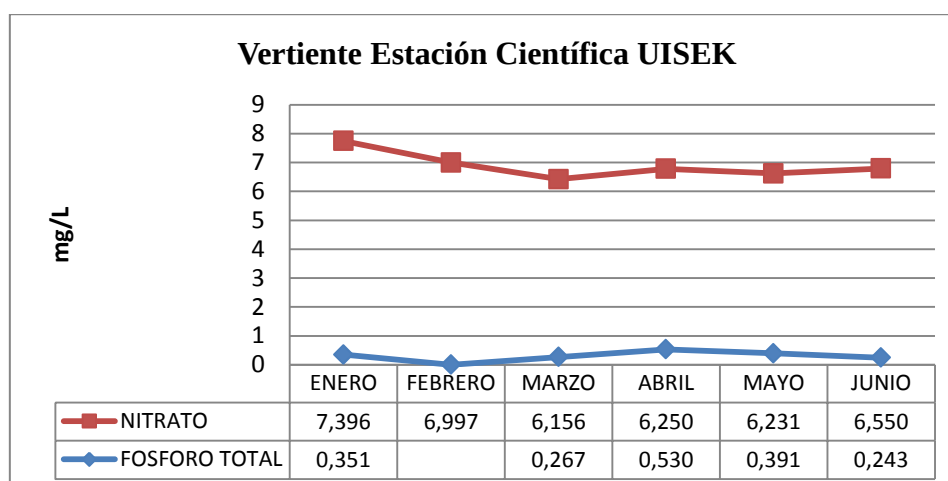


Gráfico 51: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 8

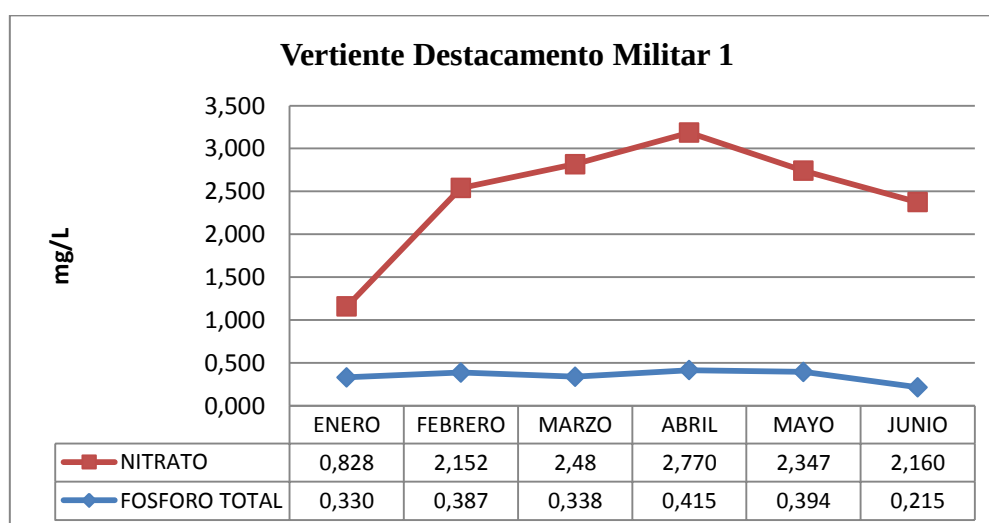


Gráfico 52: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 9

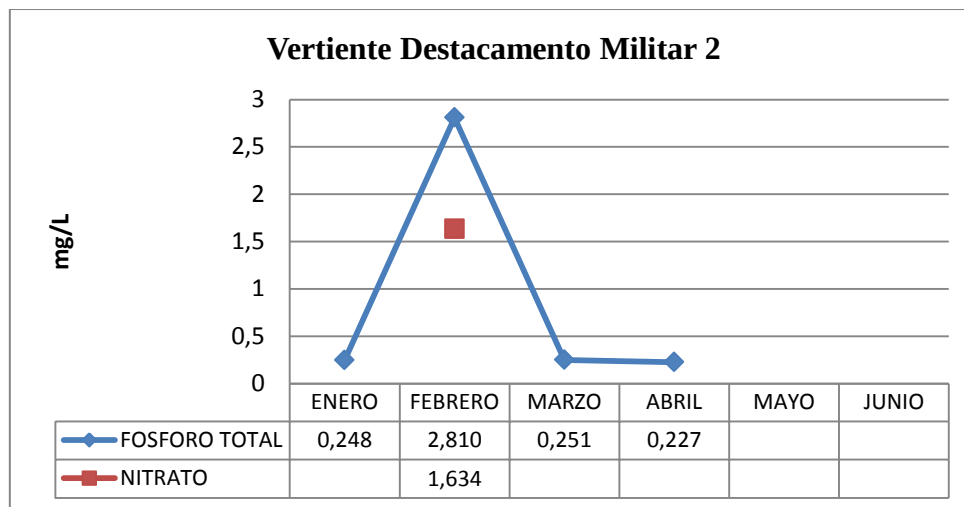


Gráfico 53: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 10

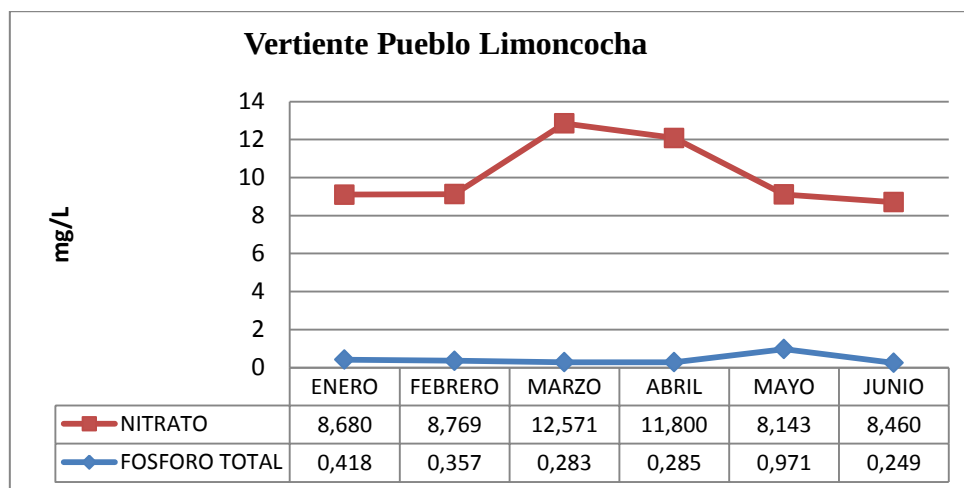


Gráfico 54: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 11

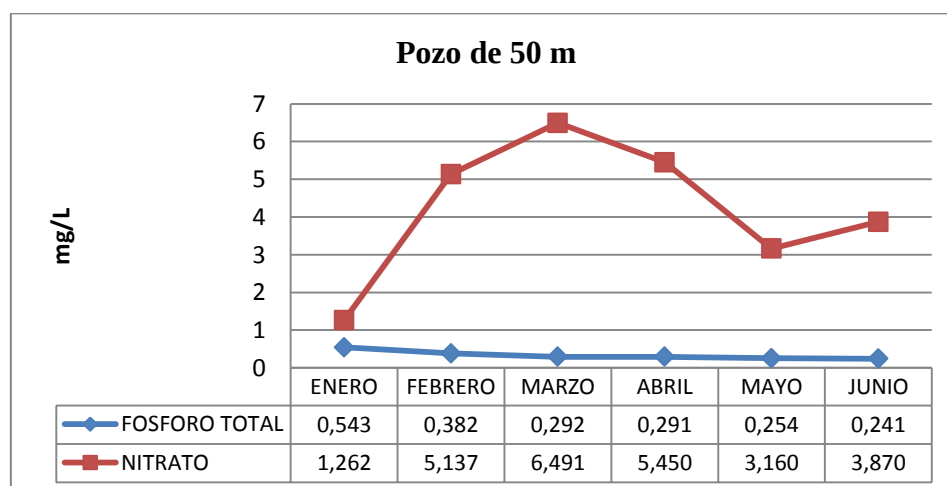


Gráfico 55: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto 12

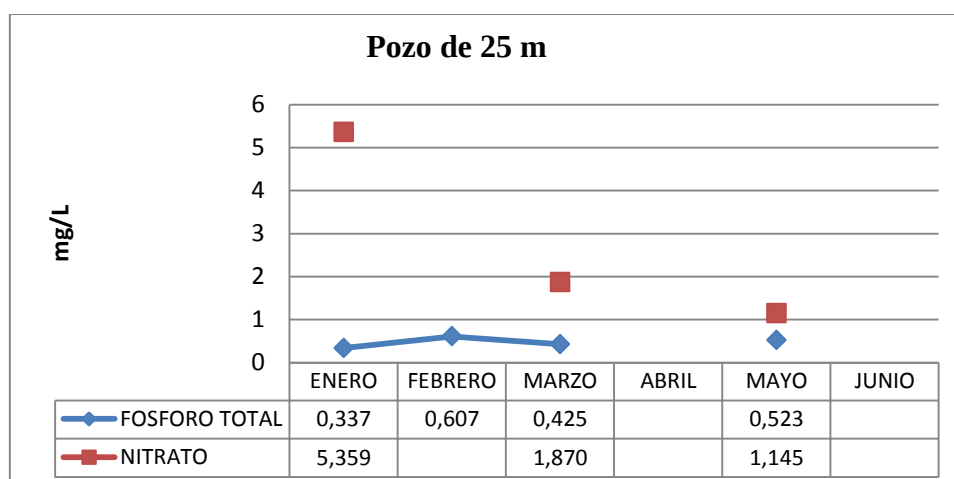


Gráfico 56: Concentraciones de Nitrato y Fósforo Total en el Punto13

Las concentraciones mensuales de fósforo y nitrato en los afluentes se muestran en los Gráficos del 47 al 56, en unidades de mg/L. Los Gráficos 47 y 48 corresponden a las concentraciones d nitrato y fósforo total en los ríos, en los cuales, se observa que febrero tiene altas cantidades de nitrato; por otro lado en el punto 5 no se encuentra un valor de nitrato, por estar bajo el límite de detección.

Los valores que no se encuentran en los gráficos, se debe a la no detección por el método utilizado para determinar fósforo total y nitrato, ya que se encuentra una concentración menor al límite mínimo de detección; exceptuando los meses de abril y junio del punto 13, en dónde el pozo se encontraba apagado.

En todos los gráficos de los afluentes, se aprecia que el nutriente dominante es el nitrógeno, por lo que, en todos los puntos se encuentra más cantidad de nitrógeno y bajas de fósforo total; debido a que en cuerpos de agua naturales, cuando hay una mayor concentración de uno de los componentes, se registra bajas concentraciones del otro.

3.2.2.3. Correlaciones de Parámetros establecidos en la Laguna Limoncocha

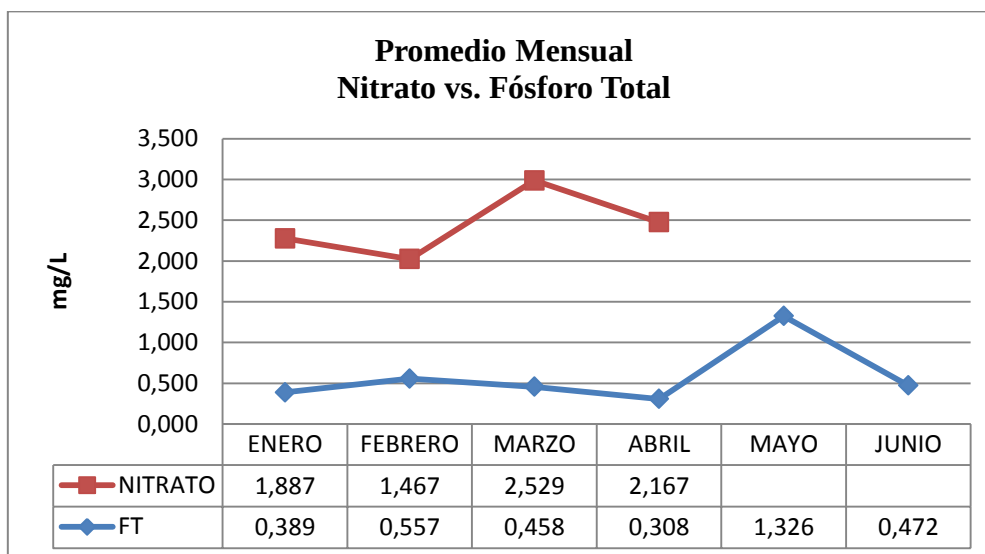


Gráfico 57: Relación establecida entre Nitrato y Fósforo Total

En el Gráfico 57 se compara entre las concentraciones de Nitrato vs. Fósforo Total, por lo que se indica que el nutriente limitante es el Fósforo Total, mientras que el nitrógeno es el que predomina.

Además cabe mencionar que, en el mes de mayo, la concentración de nitrato, se encontraba bajo el límite mínimo de detección del equipo.

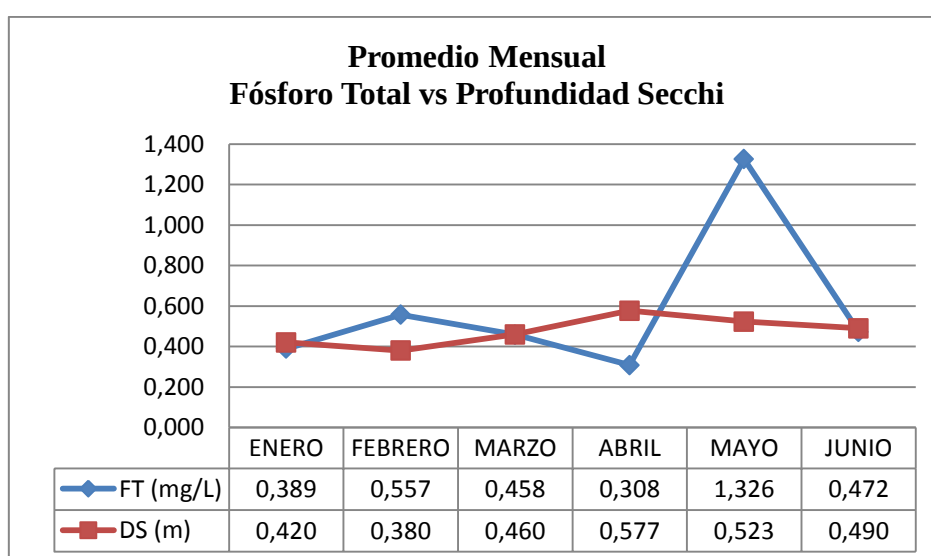


Gráfico 58: Relación establecida entre Oxígeno Disuelto y Fósforo Total

Como resultado del Gráfico 58 se aprecia, que el Fósforo Total en mg/L, es inversamente proporcional a la Profundidad Secchi medida en metros, por lo que mientras hay más cantidad de fósforo total en la Laguna, la Profundidad Secchi disminuye, debido a la actividad primaria que existe en la laguna.

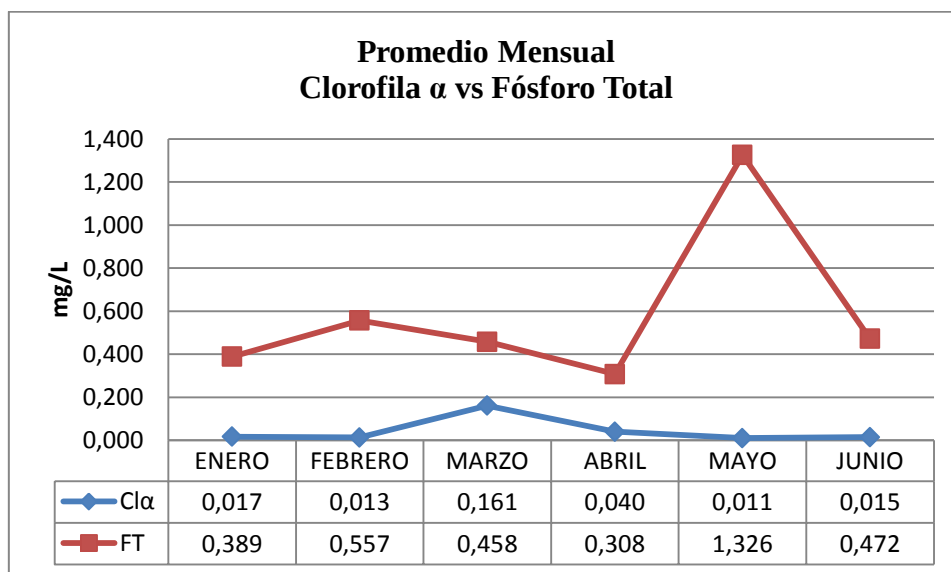


Gráfico 59: Relación establecida entre Clorofila α y Fósforo Total

El Gráfico 59 establece las concentraciones establecidas entre Clorofila α y Fósforo Total en la laguna de Limoncocha. En el mes de mayo se encuentran las concentraciones mas altas de Fósforo Total, como también el valor mínimo de Clorofila α . Por otro lado, se puede decir que existe una relación inversamente proporcional entre los datos de concentraciones existentes.

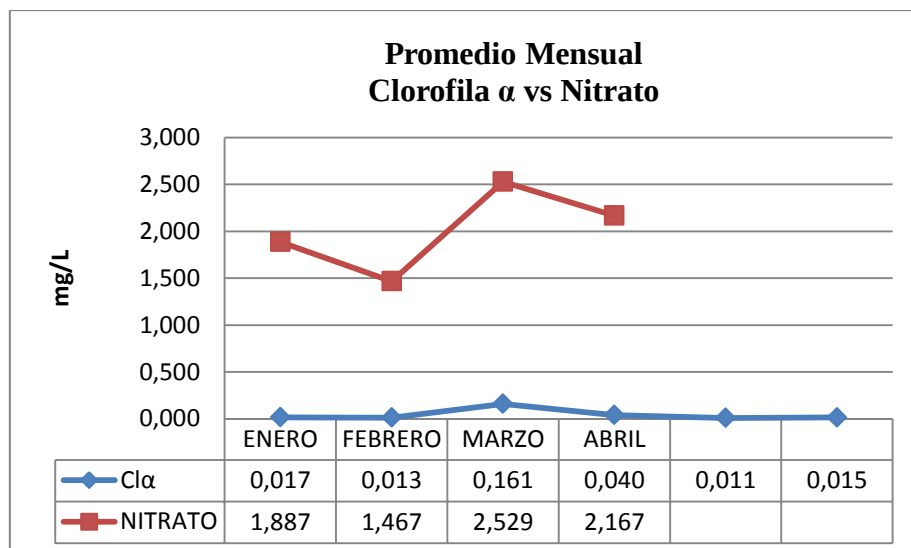


Gráfico 60: Relación establecida entre Clorofila α y Nitrato

El Gráfico 60 indica que la concentración de Nitrato presente en la laguna es proporcional a la Clorofila α , debido a que mientras hay más cantidad de nitrato, sucede lo mismo con las concentraciones de clorofila α .

3.2.3. Cálculo de Índice de Estado Tráfico (IET)

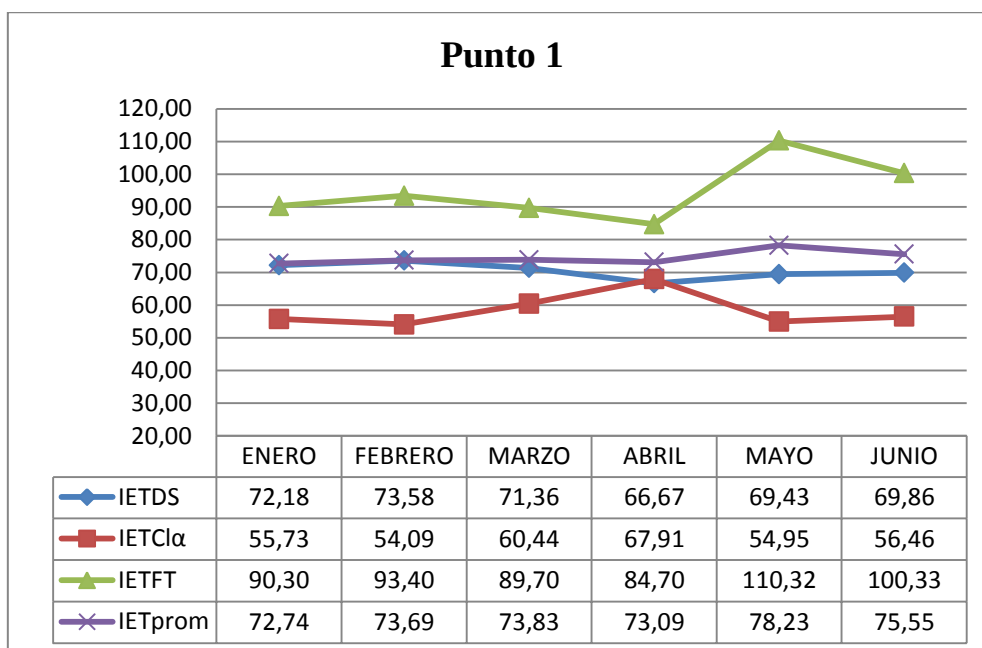


Gráfico 61: Datos de IET mensuales calculados en el Punto 1

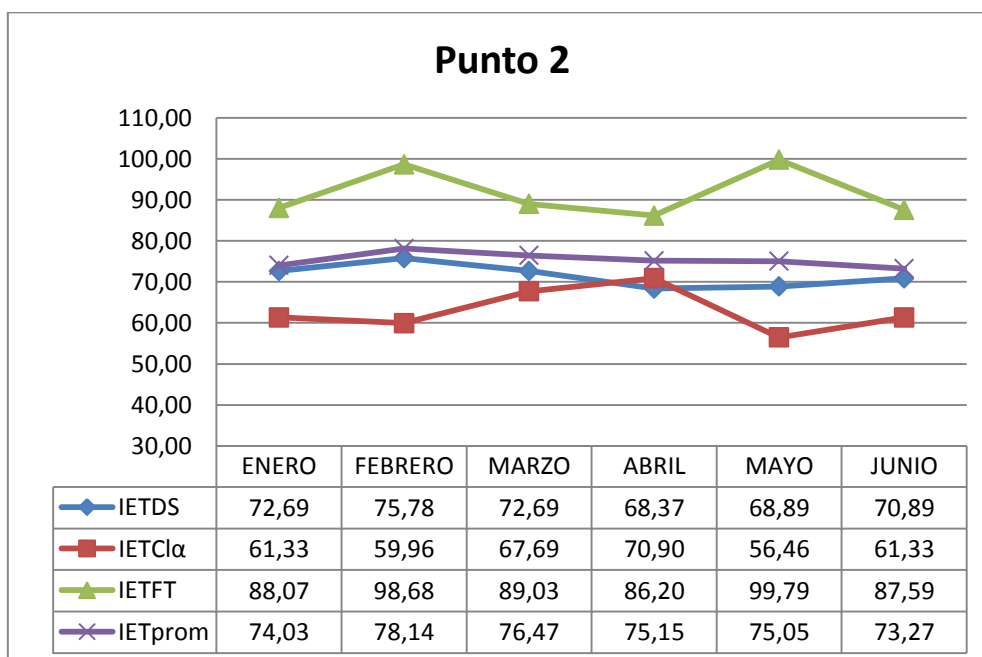


Gráfico 62: Datos de IET mensuales calculados en el Punto 2

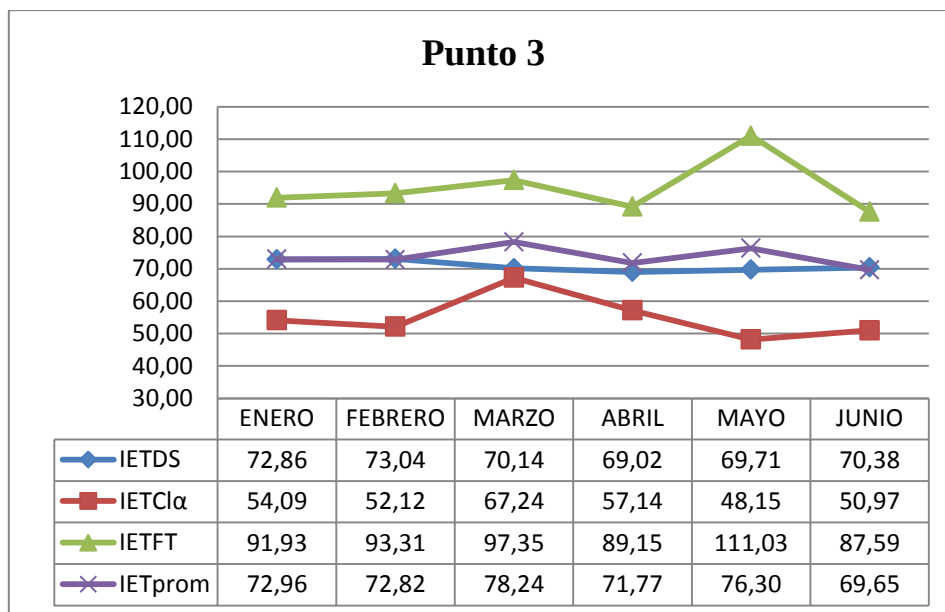


Gráfico 63: Datos de IET mensuales calculados en el Punto 3

Los Gráficos 61, 62 y 63 presentan los valores mensuales, calculados de enero a junio del presente año, del Índice de Estado Trófico. El IET es establecido mediante la medición promedio del Disco Secchi (IET_{DS}), Clorofila α ($IET_{Cl\alpha}$) y Fósforo Total (IET_{FT}), para cada punto de muestreo de la Laguna de Limoncocha. Además se realizó un promedio entre los IET calculados para cada parámetro mencionado, con la finalidad de determinar un IET_{prom} para cada mes de muestreo, en los tres puntos de la Laguna.

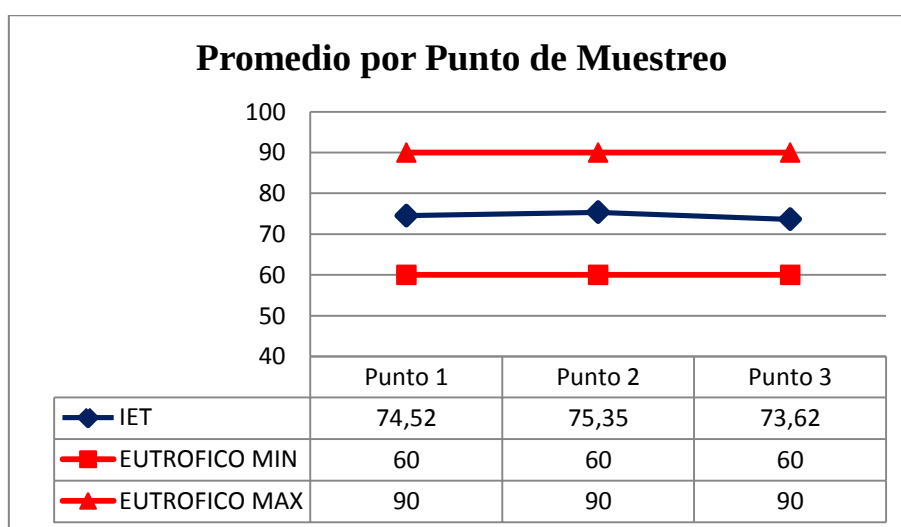


Gráfico 64: Promedio del IET por punto de muestreo

El Gráfico 64 indica el Índice de Estado Trófico (IET) para los tres puntos de muestreo ubicados en la Laguna, por lo que se puede ver que, los tres puntos entran en un rango comprendido entre 60 y 90, correspondientes al límite mínimo y máximo en el establecido para estado eutrófico, por lo que la Laguna Limoncocha entra en un rango eutrófico.

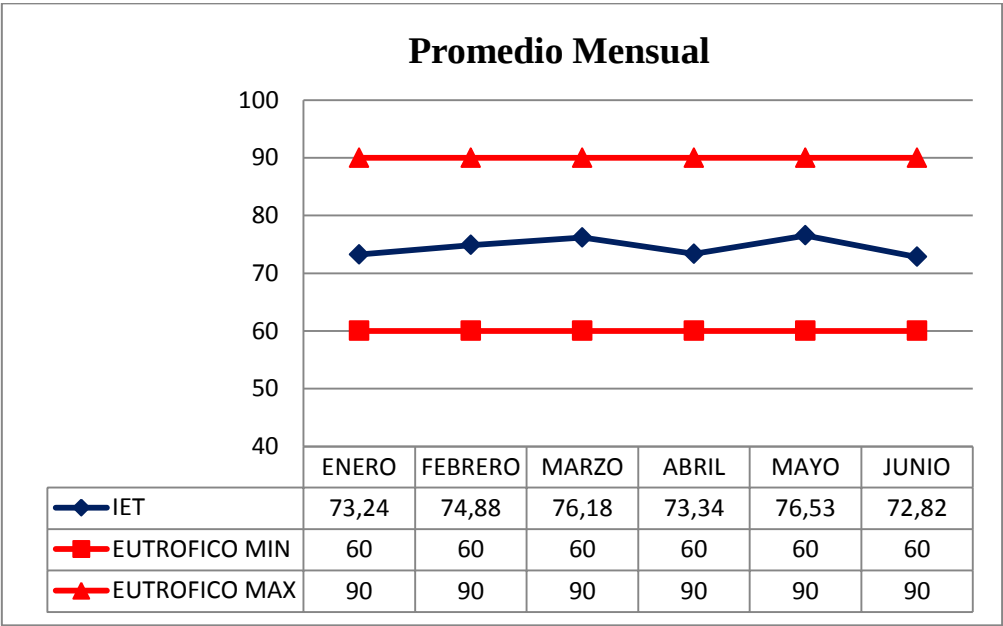


Gráfico 65: Promedio Mensual del IET en la Laguna Limoncocha

El Gráfico 65 presenta el promedio del IET determinado a través de la profundidad Secchi, la clorofila α y el fósforo total, de los tres puntos de muestreo, por cada mes. En éste gráfico se puede ver que los promedios mensuales entran en un rango entre 60 y 90, que corresponde a un estado eutrófico.

3.2.4. Lagos Cálidos Tropicales

3.2.4.1. Probabilidad del Nivel Trófico de la Laguna

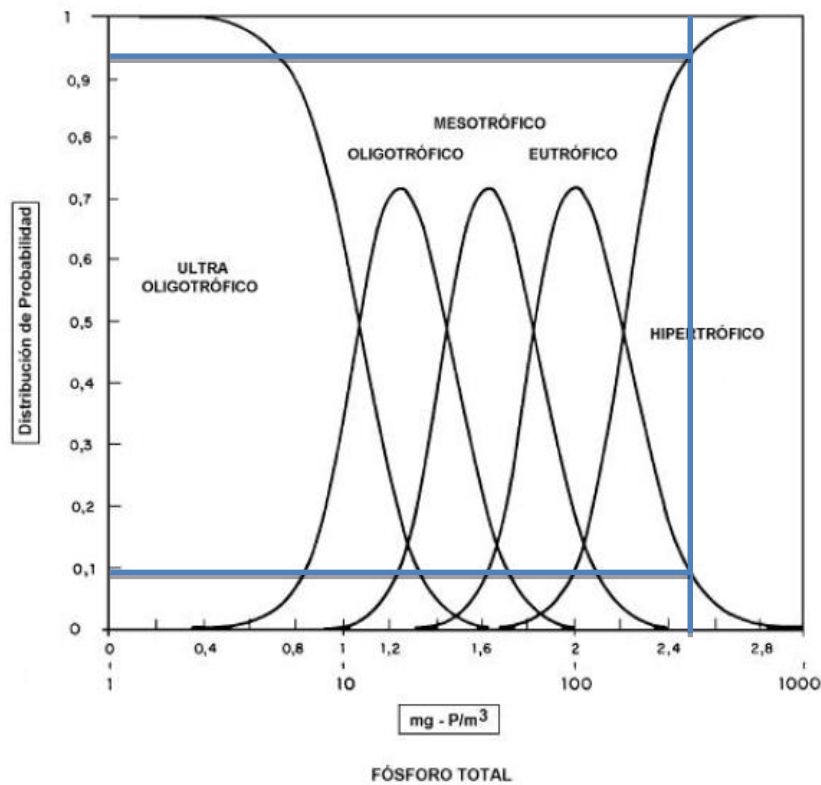


Gráfico 66: Probabilidad de Nivel Trófico determinado por el Fósforo Total presente en la Laguna

Con el promedio aritmético de las concentraciones de Fósforo Total de la laguna equivalente a 499,13 mg/m³; el Gráfico 66 determina las siguientes probabilidades:

Probabilidad de Eutrófico = 0,08 = 8%

Probabilidad de Hipertrófico = 0,92 = 92%

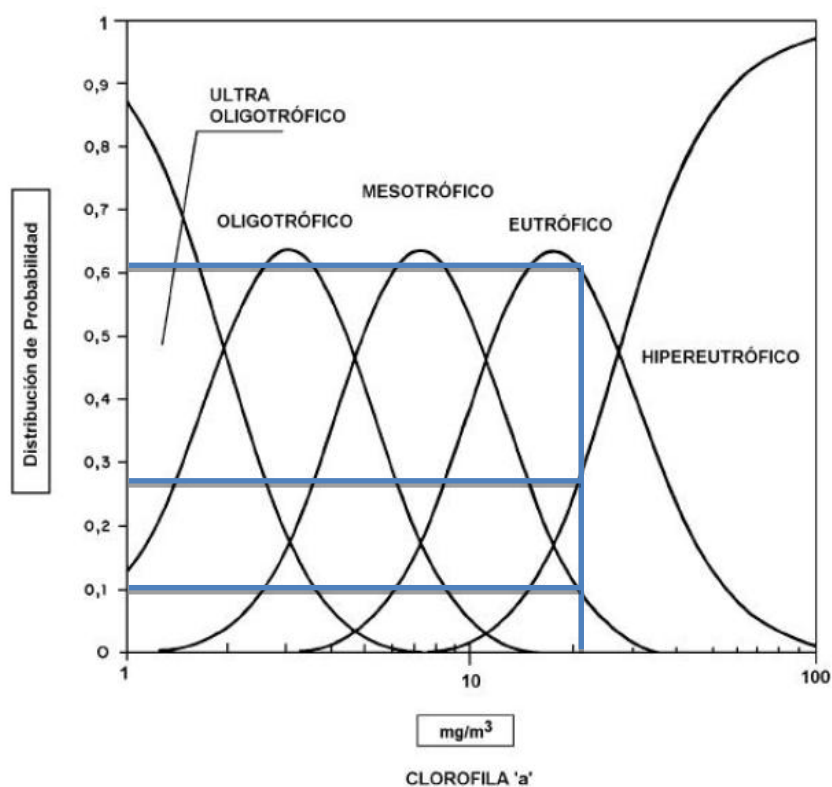


Gráfico 67: Probabilidad de Nivel Trófico determinado por Clorofila α presente en la Laguna

Con un promedio aritmético de clorofila α de 21,78 mg/m^3 en la Laguna Limoncocha, el Gráfico 67 nos da las siguientes probabilidades sobre el Estado Trófico de la Laguna:

Probabilidad de Mesotrófico = 0,1 = 10%

Probabilidad de Eutrófico = 0,62 = 62%

Probabilidad de Hipertrofico = 0,27 = 27%

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- En todas las mediciones de parámetros “in situ” el punto 3 de la Laguna Limoncocha, correspondiente al caño, presentó variaciones drásticas y determinantes que nos indican que específicamente en éste punto, el proceso de mezcla es elevado.
- El nutriente dominante en la Laguna Limoncocha es el nitrógeno, por lo que desplaza al fósforo, sin embargo existen altas concentraciones de éste en la laguna; obteniendo una probabilidad del 96% de estar en estado hipertrófico, únicamente con éste parámetro.
- La Laguna Limoncocha se presenta en general, un pH básico en su superficie por la actividad primaria, lo que indica que no existe contaminación, debido a que el rango de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 6.0 y 9.0.
- Según el Índice de Estado Trófico de Carlson (1977), la Laguna actualmente se encuentra Eutrofizada. Ésta categoría se mantiene, ya que en el último estudio realizado por Granizo (2010), se obtuvo el mismo resultado.
- El Programa de Lagos Cálidos Tropicales LACAT propuesto por CEPIS, coincide con el IET ya que las concentraciones de clorofila α categorizaron a la laguna como eutrófico, mientras que el fósforo total dio resultados de hipereutrófico.
- El cálculo de LACAT por medio de fósforo total y clorofila α , presentó discrepancia entre sus resultados. Se puede decir que la determinación por fósforo total resulta no confiable, debido a que se utiliza dicho nutriente en sus formas orgánico e inorgánico presente en la laguna. Sin embargo se debe tomar en cuenta únicamente el soluble en el agua (PO_4^{3+}) para que sea efectivo.

- Con un rango hasta 10 mg/L, se puede decir que las cantidades de clorofila α son bajas, pero a pesar de esto, se obtuvo resultados de eutrofización elevada en la Laguna Limoncocha.
- Los resultados de Fósforo Total con el cálculo del área de la cuenca hidrográfica de la Laguna Limoncocha son bajos, en relación con las concentraciones determinadas en la laguna, por lo que la determinación del estado trófico con LACAT, resulta poco certero utilizando únicamente la Cuenca Hidrográfica.
- Se estableció que en la medida que existan elevadas concentraciones de Fósforo Total, la Profundidad Secchi disminuye, debido a la gran producción primaria que se genera por la disponibilidad de nutrientes, en este caso el fósforo.
- La Cuenca Hidrográfica, presenta un área intervenida mayor en relación con el trabajo realizado por Gómez (2003), esto indica un crecimiento poblacional en el Pueblo Limoncocha, pero que no afecta considerablemente al cálculo de fósforo total que entra a la laguna al año.

4.2.Recomendaciones

Realizar un estudio de los sedimentos de la Laguna, debido a que se comprobó que existen condiciones anóxicas cerca de los mismos, por lo que entonces surgiría el intercambio de fósforo entre la columna de agua y el mencionado sedimento.

Evaluar posibles sistemas de drenaje y aportaciones externas de agua en el punto 3 de la laguna, correspondiente al caño, ya que aquí el proceso de mezcla es notable, como se demostró en la medición de todos los parámetros en éste punto. Por otro lado, se recomienda establecer el período de mezcla en la Laguna que se produce anualmente.

Determinar las concentraciones de fitoplancton a diferentes profundidades de la laguna; ya que son los principales responsables de la actividad primaria de los sistemas acuáticos, y realizar comparaciones con las concentraciones de clorofila α .

Continuar con los muestreos en jornadas nocturnas, cabe recalcar que se recomienda que sean en los mismos puntos establecidos, así como también adicionar varios puntos estratégicos que abarquen la Laguna, con la finalidad de realizar una comparación con los datos obtenidos, ya que fueron únicamente determinados en jornada diurna.

Para futuros proyectos, se recomienda utilizar el Índice de Estado Trófico propuesto por Carlson (1977), ya que el programa de LACAT resulta confiable únicamente aplicando las concentraciones de clorofila α , para el fósforo total resulta inconsistente el programa.

Se recomienda tomar como punto de referencia el punto 2 de la laguna, ya que corresponde al más profundo de la misma, además se demostró en los análisis realizados que los otros puntos no discrepan con este.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade Tobar, S. *Caracterización Limnológica de la laguna de Limoncocha*. Tesis (Ingeniería Ambiental). Quito, Universidad Internacional SEK, 2001.
- Ayala Hinojos, Pamela. *Caracterización limnológica de la laguna de Limoncocha e identificación de las características hidrológicas básicas de la zona de Limoncocha*. Tesis (Ingeniería Ambiental). Quito, Universidad Internacional SEK, 2003.
- Baena, L. (2006). *Evaluación de la Calidad del Agua en el Embalse Sara-Brut*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Dirección Técnica Ambiental Santiago de Cali.
- Baird, C. (2004). *Química Ambiental*. España, Barcelona, University of Western Ontario. Editorial Reverté, S.A.
- Carlson, R. (1977). *A trophic state index for lakes*. Limnological Research Center. University of Minnesota, Minneapolis.
- Casallas Jorge y GunkelGiinter. (2001). *Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo Ecuador*. TechnicalUniversityofBerlin, Dept. of WaterQuality Control.
- Cole, G. (1988). *Manual de Limnología* (Primera Ed.). Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur.
- ECOLAP y MAE. (2007). *Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador*. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador.
- Fuentes F. y Massol A. (2002). *Manual de Laboratorio, Ecología de Microorganismos*. Universidad de Puerto Rico.

- Granizo, Fernando. *El Estado Trófico de la Laguna de Limoncocha en el Período (Febrero 2010-Enero 2011)*. Tesis (Ingeniería Ambiental). Quito, Universidad Internacional SEK, 2011.
- Gómez P., Jorge. *Diagnóstico del estado trófico de la laguna de la laguna de Limoncocha y determinación de la calidad del sistema hídrico de la zona de Limoncocha*. Tesis (Ingeniería Ambiental). Quito, Universidad Internacional SEK, 2003.
- Hach Company. 1999. *DR/4000 Spectrophotometer Procedures Manual* (Novena Edición). USA.
- Hach Company. 2005. *DR/2800 User Manual* (Primera Edición). USA.
- Martino, P. (1989). *Curso Básico sobre Eutroficación*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Moreno, D. et al. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochi-milco. CBS. Departamento El Hombre y su Ambiente. Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal ICyTDF.
- Rivera, C. et al. (2005). *Comparación de la Estimación de la Clorofila *a* Mediante los Métodos Espectofotométricos y Fluorométricos*. Acta Colombiana, Vol. 10.
- Roldán, G. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda Ed.). Colombia, Antioquía: Universidad de Antioquía
- Salas H. y Martino P. (1996). *Curso de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana. Lima-Perú.

- Salas H. y Martino P. (2001). *Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Sawyer et al. 2001. *Química para ingeniería ambiental*. (Cuarta Ed.). Colombia: McGraw – Hill.
- Smith, R. L. T. M. Smith. 2001. *Ecología*. (Cuarta Ed.). Addison-Wesley.
- UISEK. (2011). *Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Escenario 2002*. Proyecto: Valoración Multicriterial de los Servicios Ambientales proporcionados por los Ecosistemas Presentes en la Reserva Biológica Limoncocha. F. Neira (2011).

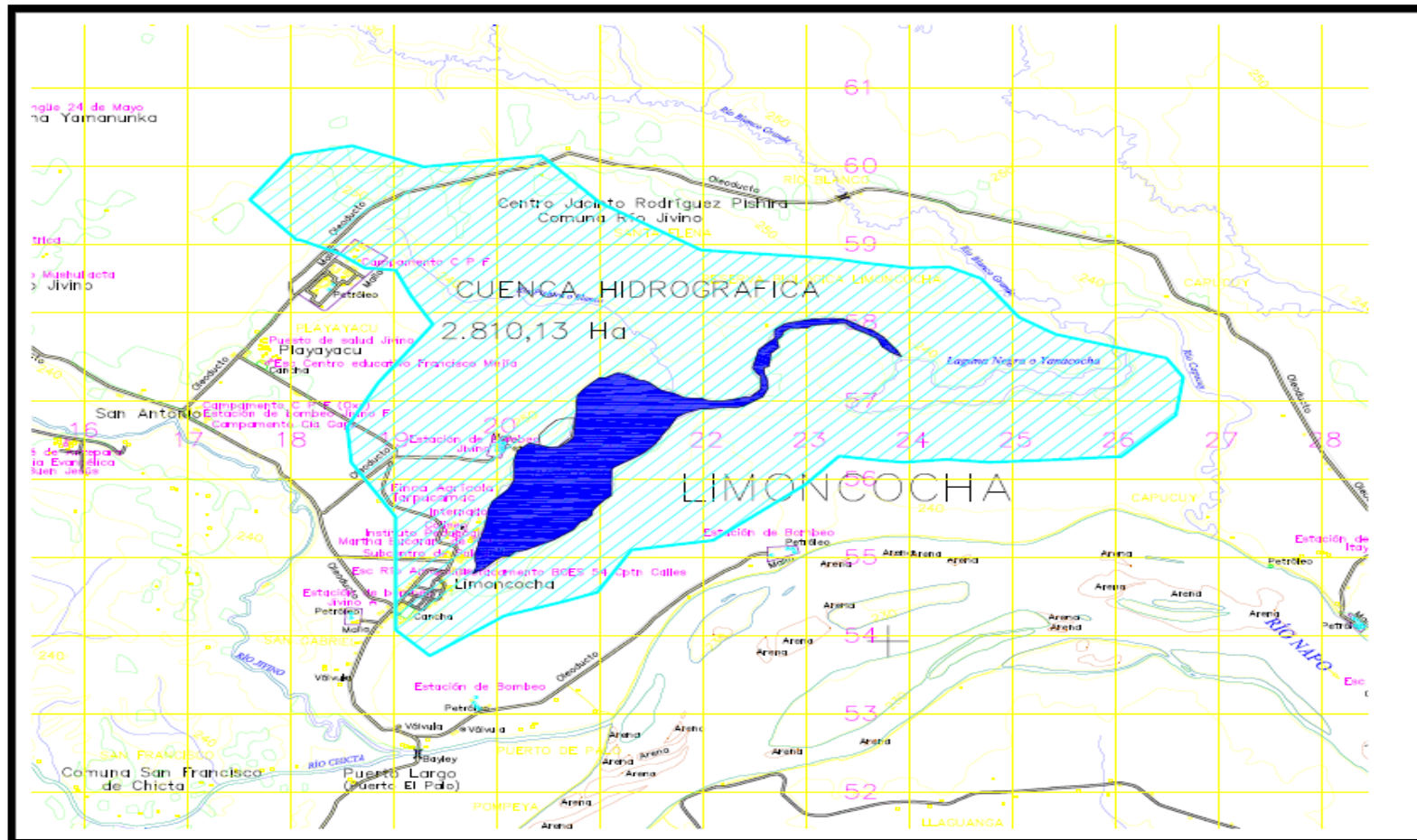
ANEXOS

ANEXO 1: Formato para reportar datos de laboratorio.

Resultados de Laboratorio								
Laboratorio - Estación SEK Limoncocha								
Fecha Recolección de muestras:								
Fecha Análisis de muestras:								
Fuente	Ptos.	Fosfatos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Clorofila α (mg/l)				
Laguna Limoncocha	1			Ab.				
				664	665	750		
				Ac.				
	2				Ab.			
					664	665	750	
					Ac.			
	3				Ab.			
					664	665	750	
					Ac.			
Vertientes de la Laguna Limoncocha	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
13								

Observaciones:

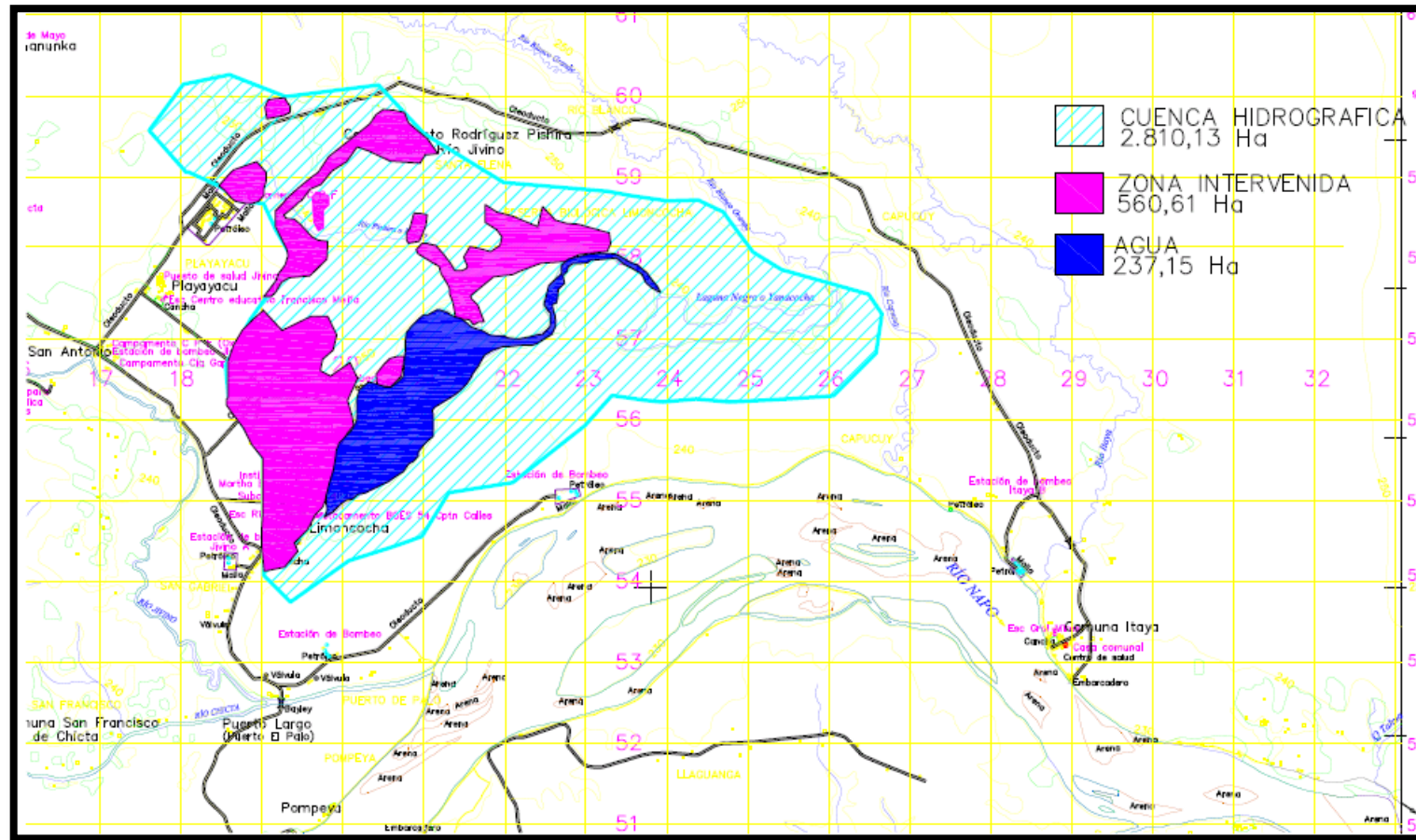
ANEXO 2: Cuenca Hidrográfica Limoncocha



AutoCad: 2005

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

ANEXO 3: Usos de Suelo de la Cuenca Hidrográfica Limoncocha



AutoCad: 2005

Elaborado por: Johanna Ortiz, 2012

ANEXO FOTOGRÁFICO:

Equipo de Filtración



Membrana Milipore



Membrana después del proceso de filtración



Macerado de la membrana



Extracto macerado



Extracto llevado a refrigeración



Kit para determinar Nitratos



Kit para determinar Fósforo Total



Termostato (determinación fósforo total)



Análisis de Nitratos y Fósforo

