

# 1. INTRODUCCIÓN

El agua es, sin lugar a dudas, el recurso natural más importante en el desarrollo de la vida. Los seres humanos no solo dependemos fisiológicamente de este recurso, sino que lo utilizamos en un sinnúmero de actividades diarias. Teniendo en cuenta que las características fisicoquímicas del agua determinan su posible utilización o “calidad” para un fin específico, es claro que un agua de mala calidad para consumo humano y uso doméstico, que esté siendo utilizada por una población, no sólo pone en peligro a su salud sino que incide en su nivel de calidad de vida. De ahí la importancia de identificar adecuadamente aquellas aguas que han de ser destinadas para consumo humano y uso doméstico, tras un análisis de sus características fisicoquímicas.

De todo lo anteriormente anotado, se deriva también la importancia de dar a este recurso vital un uso racional y adecuado, además de prevenir su contaminación y degradación. Lamentablemente, en los últimos años y aún en la actualidad, la contaminación del recurso agua constituye uno de los principales problemas ambientales de nuestro país y del mundo entero. Entre los agentes contaminantes significativos, causantes del deterioro del recurso agua, destacan el exceso de nutrientes y el ingreso de sedimentos (Ver gráfico No. 1). Estos dos agentes contaminantes pueden desatar el fenómeno conocido como “eutroficación”, el cual degrada notablemente a un cuerpo de agua y disminuye su grado de calidad necesario tanto para uso doméstico y consumo humano como para sostener el equilibrio del ecosistema que se desenvuelve alrededor de él.

En el presente estudio se evalúa la calidad del agua, en función de su aplicabilidad para consumo humano y uso doméstico, de varios constituyentes del sistema hídrico de la cuenca descrita por la laguna de Limoncocha (al sur de la Provincia de Sucumbíos, Ecuador); entre ellos están ríos y vertientes cuyas aguas son utilizadas por las comunidades quichuas del sector para satisfacer varias de sus necesidades básicas. También, siendo la laguna de Limoncocha el elemento principal de la Reserva Biológica Limoncocha, misma que constituye una zona de alta importancia ecológica y turística y que está protegida por la legislación ecuatoriana al estar incluida dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), este estudio desarrolla una evaluación sobre la calidad del agua de la laguna para preservación de fauna y flora y un análisis de su estado trófico o “grado de eutroficación”.

Con fines didácticos, los temas de “eutroficación” y “calidad de los cuerpos de agua” que se tratan en el presente estudio, son analizados por separado como subcapítulos de “limnología” y “calidad de agua del sistema hídrico”, respectivamente.

## **2. ALCANCE Y OBJETIVOS**

El presente estudio abarcó a la laguna de Limoncocha, los ríos Pishira, Playayacu, “SEK”\*, Jivino y Napo y a siete vertientes de la cuenca hidrográfica involucrada; teniendo como objetivos los siguientes:

### **OBJETIVOS GENERALES**

- Determinar el estado trófico de la laguna de Limoncocha durante los meses comprendidos entre noviembre del 2002 y abril del 2003.
- Determinar la calidad de varios cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, de la zona de Limoncocha, en concordancia con las disposiciones de la legislación ecuatoriana.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer la evolución de la concentración de fósforo, nitrógeno y clorofila-a en la laguna de Limoncocha, de noviembre del 2002 a abril del 2003.
- Determinar el estado trófico de la laguna de Limoncocha, durante los meses muestreados, según las concentraciones de fósforo, nitrógeno y clorofila-a encontradas.
- Establecer la calidad del agua de la laguna de Limoncocha, de los ríos Pishira, Playayacu, “SEK”, Jivino y Napo, así como la de las vertientes analizadas, comparando los resultados obtenidos con los valores máximos permisibles para consumo humano y uso doméstico, establecidos en las tablas 1 y 2, Anexo 1, Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. (Ver anexo No.1)
- Establecer la calidad del agua de la laguna de Limoncocha comparando los resultados obtenidos con los valores máximos permisibles para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces, expuestos en la tabla 3, Anexo 1, Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. (Ver anexo No.1)

Los diferentes parámetros fisicoquímicos que fueron determinados en cada cuerpo de agua se describen en la tabla No.1.

\* Ver página 22, subcapítulo 6.1.1.1, comentarios RSEK.

### **3. ZONA DE ESTUDIO**

#### **3.1 UBICACIÓN**

La Reserva Biológica Limoncocha se encuentra ubicada aproximadamente a 210 km. al este de Quito, en la Provincia de Sucumbíos, Cantón Shushufindi, Parroquia Limoncocha (Ver mapa No.1).

Fue declarada Reserva Biológica y, por consiguiente, incluida dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP), mediante Acuerdo Ministerial No. 394 del 23 de septiembre de 1985, declaración publicada en el Registro Oficial No. 283 del 1 de octubre del mismo año. Sus límites originales, los cuales cubrían un área de 5.261 Ha, fueron modificados el 29 de septiembre de 1986, reduciendo su superficie a 4.613 Ha.

La laguna de Limoncocha, conocida antiguamente con el nombre de laguna Capucui, está ubicada entre las coordenadas geográficas 00°20" y 00°30" Sur 76°30" y 76°40" Oeste y constituye el elemento principal de la Reserva Biológica, cubriendo un área total de 3,7 Km<sup>2</sup>.

#### **3.2 CARACTERÍSTICAS**

Clima.- Según la clasificación Pourrut en "Los Climas del Ecuador", 1983, el clima de la Reserva es "Uniforme Megatérmico Muy Húmedo" (Ulloa, 1988) y según el sistema Holdrige es "Bosque Muy Húmedo Montano Bajo".

Temperatura.- De acuerdo a los promedios de temperatura de quince años, descritos en el Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha, desarrollado por el Departamento de Áreas Naturales y Recursos Silvestres del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Ulloa, 1988), la temperatura media anual bordea los 25°C. Los meses más calurosos son octubre, noviembre y diciembre, y los más frescos los de mayo, junio y julio (Ver anexo No.2).

Humedad Relativa.- La humedad relativa, determinada según promedios de quince años, está en el orden del 90% (Ulloa, 1988).

Insolación.- Las horas anuales de insolación suman aproximadamente 1.000 (Ulloa, 1988).

Precipitación media anual.- Según promedios de distribución mensual de lluvias en Limoncocha, durante los años comprendidos entre 1964 a 1978, la precipitación media anual se sitúa entre los 3000 y 3500 mm. Las precipitaciones mensuales son bastante uniformes, presentando un decrecimiento en los meses de diciembre, enero, febrero y agosto, y los máximos valores durante los meses de marzo, abril, mayo, junio y octubre (Ulloa, 1988). (Ver anexo No.3) La media mensual se sitúa en los 262,0 mm. (Ecuambiente, 1990)

Morfología y edafología.- Según el mapa Morfo-edafológico preparado por la ORSTOM y el PRONAREG en 1977, Limoncocha está en el cuadrilátero definido por los ríos Aguarico, Coca y Napo, en el centro de la encrucijada “Shushufindi”. Esta zona corresponde a una explanada de sedimentación depositada sobre un substrato arcilloso antiguo, salpicado por grupos de colinas arcillosas de suelos rojos, misma que está drenada por varios arroyos bien encajados, tributarios de los ríos Aguarico y Napo. (Ulloa, 1988).

Tipos de suelo.- Roberto Ulloa, en el Plan de Manejo de la Reserva de 1988, describe las siguientes clasificaciones de suelos encontrados:

- Suelos desarrollados en depósitos aluviales y coluviales de origen volcánico, generalmente bien drenados.
- Suelos de terrazas aluviales y de depresiones pantanosas, desarrollados en bancos consolidados de arenas de origen volcánico.

Clasificación ecológica.- De acuerdo con el mapa ecológico elaborado según las zonas de vida de Holdridge, la formación predominante de la Reserva es la de Bosque Húmedo Tropical. (Ulloa, 1988).

Poblaciones.- Las principales comunidades que habitan la Reserva son Limoncocha, Santa Elena, Jivino e Itaya, en su mayoría de la etnia quichua.

Flora.- La vegetación es vasta, propia de la zona amazónica ecuatorial. Se identifican dentro de la Reserva bosques primarios con mal drenaje, bosques primarios con buen drenaje, bosques primarios temporalmente inundables, bosques secundarios temporalmente inundables, bosques secundarios con mal drenaje, matorrales de pantano temporalmente inundables y matorrales de pantano permanentemente inundables (Ulloa, 1988). Las especies de vegetación primaria son similares a las de las áreas vecinas Cuyabeno y Yasuní.

Fauna.- La Reserva está caracterizada por un alto nivel de biodiversidad, pero con una baja densidad poblacional que se mantiene constante. Las lagunas de esta Reserva poseen una rica fauna, especialmente de aves, con más de 460 especies identificadas, de las cuales la mayoría son especies endémicas.

La herpetofauna es también muy variada. La gran cantidad de gramíneas de la laguna de Limoncocha constituye un hábitat óptimo para anfibios y reptiles. El caimán negro es abundante.

En cuanto a la ictiofauna de la laguna y sus afluentes, a pesar de la escasa información existente, se han identificado 41 especies, 38 géneros y 19 familias, entre las cuales se encuentran peces como la piraña, que son aprovechados como alimento por los quichuas del sector. (Internet:1) (Ecuambiente, 1990) (Ver anexo No.4) Cabe señalar, que la laguna alberga grandes poblaciones de peces pero de un reducido grupo de especies.

Actividad Petrolera.- La Reserva Biológica Limoncocha se encuentra dentro del bloque de explotación petrolera número 15, concesionado a Occidental Exploration & Production Company (OXY). Luego de suscribir un contrato con el gobierno ecuatoriano para la exploración y explotación de hidrocarburos, en 1985, OXY inició la producción del campo Jivino-Laguna-Napo en mayo de 1993.

#### 4. ANTECEDENTES

Existen extensos y variados estudios limnológicos que han permitido comprender la influencia y el ciclo de los nutrientes dentro de distintos ecosistemas, desarrollar modelos matemáticos para predecir fenómenos como la eutroficación, determinar bioindicadores y comprender en mayor medida el comportamiento general de lagos y lagunas. Lamentablemente, la gran mayoría de estos estudios se han circunscrito a países de zonas templadas y frías, mientras que los estudios limnológicos neotropicales se han caracterizado por su escasez y dispersión. Más escasos aún son aquellos desarrollados en el trópico americano, el cual difiere, especialmente en su hidrología, de los trópicos asiáticos y africanos. Aun así, cabe resaltar a Brasil como el país sudamericano que más ha ahondado en este ámbito. Entre los estudios desarrollados en dicho país, es importante resaltar los del limnólogo holandés Kleerekoper (1939), quién estableció la ocurrencia de períodos diarios de estratificación térmica en ecosistemas lénticos tropicales; los de Klinge y Ohle (1964), sobre propiedades químicas de ríos amazónicos, donde se determinó que aguas de cuencas amazónicas de suelos antiguos y de sedimento del terciario resultaron muy pobres en electrolitos, con mayores concentraciones de cationes que de aniones y con bajas concentraciones de nitratos, fosfatos y sulfatos; y finalmente a los de Furch et al. (1982), que destacan el carácter ácido de aguas amazónicas con abundante cantidad de metales alcalinos, y los de Hill y Rai (1982) que discuten la pobreza de nitrógeno y fósforo en estas aguas. (Roldan, G., 1992).

Otro estudio que merece nuestra atención es el desarrollado por el CEPIS, HPE y la OPS durante 1981 a 1990, en el cual se evaluó información de 27 lagos y embalses de 15 países americanos tropicales (más los EEUU) y con la que se desarrollaron metodologías simplificadas para evaluar el estado trófico de lagos tropicales.

Por otro lado, entre los estudios realizados en nuestro país, se destaca el de Colinvaux et al. (1982-1985) que abarcó a ocho lagos de la región amazónica, incluyendo entre ellos a la laguna de Limoncocha. En este estudio, fechas de radiocarbono determinaron que la laguna de Limoncocha, misma que se cree es de origen fluvial y que se formó de un antiguo brazo del río Napo, tiene una edad de  $1.230 \pm 120$  años. Se determinó la singularidad de esta laguna al no compartir la característica de “aguas negras” como las otras siete. Finalmente, se concluyó que el ingreso de sedimentos minerales a la laguna permite su alta productividad, al mismo tiempo que la enturbia y, quizá, permite la rápida captura de las bajas concentraciones de nutrientes que ingresan en ella.

Otros estudios que involucran a la laguna de Limoncocha son el Plan de Manejo de la Reserva, desarrollado por el MAG del Ecuador (1988) y el Estudio de Evaluación Ambiental del Bloque 15, (Fase Diagnóstico) de la OXY (1990), los cuales establecen que la alta productividad de la laguna se debe a que su poca profundidad permite que los vientos, lluvias y tormentas mezclen el agua y resuspendan nutrientes del fondo en la columna de agua. Estos estudios la califican como polimítica y eutrófica por su concentración de fitoplancton. Recientes estudios son: el de Ribadeneira (1999), quién realizó una caracterización y evaluación fisicoquímica del agua del sector de Limoncocha, concluyendo que, ésta, se encuentra en un estado aceptable. El de Buitrón (1999); quién, tras un biomonitoreo de la laguna utilizando macroinvertebrados bénticos, concluyó que ésta tiene una eutroficación alta. El de Espinosa (2001), el de Andrade (2001) y el Ayala (2003), que determinaron las siguientes características de la laguna de Limoncocha:

Altitud promedio.- de 230 m.s.n.m.

Profundidad promedio.- 1,8 m. (máxima 2,5 m.).

Área de la laguna.- 2,7 Km<sup>2</sup>

Tiempo de residencia calculado.- 9,3 días.

Caudal de salida calculado.- 61,66 m<sup>3</sup>/s.

Volumen total promedio.- 4,309354 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Transparencia.- Profundidad promedio de visión del disco Secchi, 0,5 metros; profundidad de zona fótica 1,35 m (cálculo realizado con la constante de Pool & Atkins).

Épocas de mayor estratificación.- Noviembre a Marzo y Julio a Agosto.

Profundidad promedio de la termoclina.- 1 m.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 LIMNOLOGÍA**

#### **5.1.1 ¿QUÉ ES LA EUTROFICACIÓN?**

La eutroficación, también llamada eutrofización, es un fenómeno generalmente asociado a la "excesiva fertilidad" de un cuerpo de agua que dispara las poblaciones de fitoplancton y macrófitas, desencadenando una serie de eventos que terminan por agotar el oxígeno disuelto del mismo.

Tanto el fitoplancton como las macrófitas deben disponer de ciertos requerimientos para poder desarrollarse en forma óptima; entre éstos están la luz solar y elementos disueltos en el agua (básicamente carbono, nitrógeno y fósforo). Generalmente, la luz solar y el carbono están presentes en rangos muy superiores a los mínimos requeridos por el fitoplancton y las macrófitas, por lo que es la disponibilidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el agua la que en realidad regula el crecimiento de estos organismos.

La eutroficación comienza, justamente, por un incremento en la concentración de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) disponibles en el agua, en especial, por el aumento del nutriente limitante (generalmente fósforo). Este aumento permite el crecimiento acelerado de las poblaciones de fitoplancton y macrófitas, las mismas que incrementan la turbidez del cuerpo de agua y, en consecuencia, disminuyen la zona fótica. Al no permitir el ingreso de rayos solares la flora béntica no puede realizar la fotosíntesis y eventualmente muere. "Incluso si la luz llega al fondo, no se produce fotosíntesis porque las hojas y tallos de la flora béntica quedan cubiertas con algas epífitas que medran en tales aguas." (Miller, 1993). La falta de fotosíntesis disminuye la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

El fitoplancton puede duplicar su biomasa en 24 horas. Este elevado índice de crecimiento, que supera ampliamente el de la flora béntica, le permite alcanzar rápidamente su máxima densidad poblacional, luego de la cual su crecimiento y reproducción se compensan con su muerte. El aumento en la cantidad de fitoplancton muerto, el cual se asienta en el fondo del cuerpo de agua, produce depósitos espesos de detritos. La cantidad de detritos en el fondo aumenta también debido a la flora béntica y a las macrófitas muertas. Estos detritos incrementan la población de descomponedores (en su mayoría bacterias) que comienzan a degradar aeróbicamente la materia orgánica, aumentando, por tanto, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y disminuyendo, aún más, el oxígeno disuelto en el agua. Cabe recalcar que las bacterias (facultativas) que degradan los detritos no mueren al agotarse el oxígeno,



pues tienen la capacidad de cambiar a respiración anaerobia, por lo que prosperan y aprovechan el oxígeno cada vez que éste está disponible, manteniendo al agua sin oxígeno disuelto en tanto haya detritos que las alimenten.

La muerte de flora béntica significa la pérdida de alimento, de hábitat para desove y protección para peces y moluscos; lo cual, sumado al agotamiento del oxígeno disuelto, determina su muerte y afecta a toda la cadena trófica del ecosistema acuático.

Si bien el fitoplancton y las macrófitas realizan fotosíntesis y generan significativas cantidades de oxígeno, éste se escapa, en su gran mayoría, hacia la atmósfera, por lo que no abastece a las zonas profundas (excepto en épocas donde el epilimnion e hipolimnion se mezclan). Además, la capa superficial del agua, al estar saturada de oxígeno, no permite el proceso de disolución de oxígeno atmosférico en el agua.

El proceso de la eutroficación se convierte en un círculo vicioso cuando la liberación de nutrientes por la degradación del fitoplancton, macrófitas y organismos superiores muertos, sumado a la liberación de nutrientes de los sedimentos del fondo, que antes eran absorbidos por las raíces de la flora béntica y por la presencia de  $H_2S$ , incrementa la concentración de nutrientes en el agua y alimenta la causa de todo el fenómeno.

Los sedimentos también son una causa de eutroficación. Los sedimentos que ingresan a un cuerpo de agua no solo arrastran consigo nutrientes, sino que implican sólidos suspendidos que disminuyen la zona fótica al aumentar la turbidez del agua, desatando todos los efectos antes descritos. Además, al asentarse en el fondo, cubren a la flora béntica, impidiendo la fotosíntesis, entierran huevos de peces y otros organismos, tapan las agallas de peces, etc., lo que conlleva a su muerte. El ingreso de sedimentos disminuye, también, la capacidad de almacenamiento del cuerpo de agua, lo que hace que ella se desborde con mayor frecuencia. Las zonas inundables son muy susceptibles a la erosión, por lo que un aumento de éstas provoca un incremento de la erosión y, por consiguiente, un mayor ingreso de sedimentos al cuerpo de agua.

Los sedimentos tienen un efecto negativo, aún mayor, en arroyos y ríos. La arena y el limo no se mantienen en suspensión sino que son arrastrados por el fondo a diferentes velocidades, removiendo algas y otras plantas acuáticas que se adhieren a las rocas y que sostienen una compleja red alimentaria de bacterias, larvas de insectos, caracoles, protozoarios, gusanos, peces, cangrejos, etc.

"Se suele decir que las masas eutróficas de agua están 'muertas', pero biológicamente están lejos de ello. Lo real es que, la producción total de biomasa del fitoplancton llega a ser mayor

que la de la comunidad béntica anterior. Asimismo, el fitoplancton mantiene grandes poblaciones de ciertos peces que se han adaptado a consumirlo y a evitar las aguas profundas sin oxígeno como al boquerón el arenque." (Miller, 1993).

En lagos y charcas someras, con una profundidad menor o igual a un metro, la eutroficación se debe al crecimiento excesivo de la flora béntica emergente, la cual se extiende por toda la superficie evitando el ingreso de luz solar, y que al morir se asienta en el fondo y genera una demanda bioquímica de oxígeno.

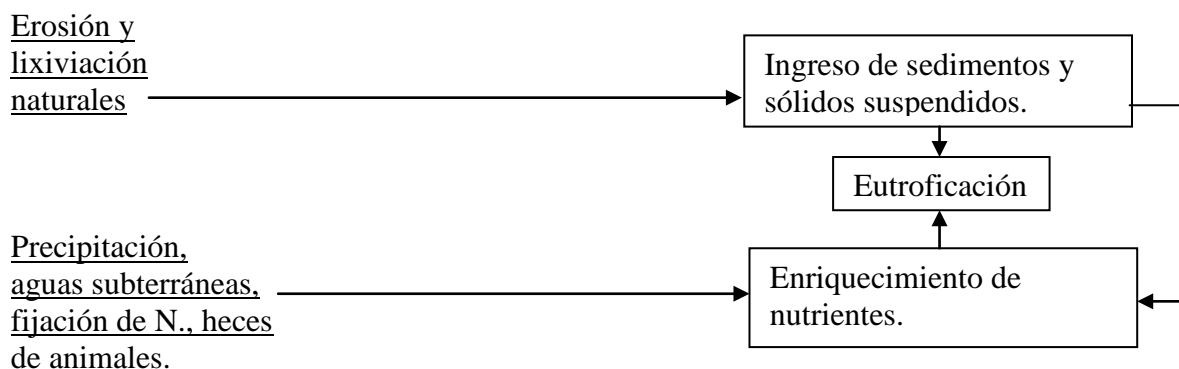
Otro aspecto a considerar es que, ciertas especies de fitoplancton secretan diversas toxinas que matan a otros miembros de la comunidad acuática (marea roja) y/o pueden causar afecciones a la salud humana.

Un esquema del fenómeno de eutroficación en lagos y lagunas se presenta en el Gráfico No.2.

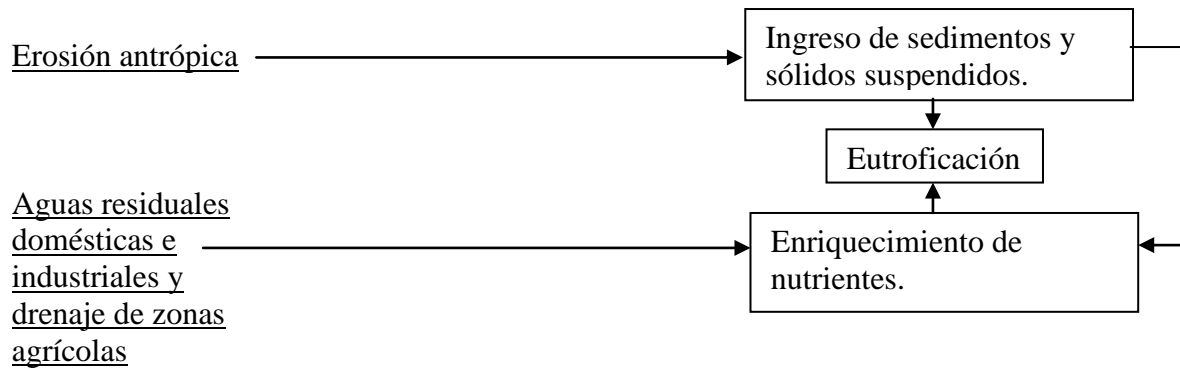
### 5.1.2 TIPOS DE EUTROFICACIÓN

La Eutroficación puede dividirse en dos tipos:

Eutroficación Natural: Consiste en el envejecimiento geológico de hábitats acuáticos. Se debe a los procesos naturales de erosión del suelo y de lixiviación, que enriquecen con nutrientes a las masas de agua al cabo de cientos o miles de años. El lento incremento de nutrientes también se da por fijación de nitrógeno atmosférico realizado por ciertas algas y bacterias nitrificantes, aporte de aguas subterráneas y deposiciones de animales en el agua. Así:



Eutroficación Cultural: Consiste en la aceleración de la eutroficación natural por efecto del desarrollo de actividades humanas. Se debe, entonces, a la erosión acelerada o antrópica, al vertido de aguas residuales domésticas e industriales ricas en nutrientes (fósforo y nitrógeno) y al drenaje de zonas agrícolas donde se usan fertilizantes que contienen fósforo y nitrógeno.



Las fuentes principales de nutrientes y sedimentos que causan la eutroficación antrópica se exponen en la tabla No.2.

### 5.1.3 ESTADOS TRÓFICOS

En base al grado de desarrollo del fenómeno de la eutroficación, los cuerpos de agua se clasifican en dos tipos principales:

**OLIGOTRÓFICOS:** Cuerpos de agua relativamente improductivos, con bajas concentraciones de nutrientes. Es decir, cuerpos de agua no eutroficados.

**EUTRÓFICOS:** Cuerpos de agua altamente productivos, con altos flujos de nutrientes. Es decir, cuerpos de agua eutroficados.

Se ha definido además un estado o clasificación trófica intermedio entre los dos estados básicos antes descritos. Este es:

**MESOTRÓFICO:** Fase intermedia entre los estados oligotrófico y eutrófico, que combina las características de cuerpos de agua en estado oligotrófico con las de cuerpos de agua en estado eutrófico.

Un esquema gráfico de estos tres estados tróficos se expone en el gráfico No.3.

Finalmente, varios autores han descrito dos estados tróficos adicionales: “Ultraoligotrófico” e “Hipereutrófico” que corresponden a los casos extremos de los estados “oligotrófico” y “eutrófico”, respectivamente.

Las características generales de este tipo de clasificación se exponen en la tabla No.3.

#### **5.1.4 ACCIONES PARA COMBATIR LA EUTROFICACIÓN CULTURAL**

Si consideramos que el fitoplancton y las macrófitas necesitan de los nutrientes disueltos en el agua, mientras que la vegetación béntica utiliza los nutrientes de los sedimentos del fondo, y que las concentraciones de nutrientes en el agua son generalmente bastante inferiores a las de los sedimentos, lo que contrarresta la gran velocidad de desarrollo del fitoplancton comparada con la de la flora béntica, es claro que cuando se modifica la concentración de nutrientes disueltos en el agua se altera el equilibrio entre ellos. Por lo tanto, la mejor forma de combatir la eutroficación se basa en lograr que falte un nutriente (preferiblemente el limitante) para suprimir su crecimiento.

De esta forma, las principales acciones para combatir la eutroficación cultural son:

- Control sobre usos del suelo (planificación territorial).
- Prácticas agrícolas y urbanas eficaces (control de escurrimientos, uso de fertilizantes orgánicos en lugar de inorgánicos y rotación de cultivos).
- Tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales.

Se ha determinado que en ecosistemas naturales de agua dulce el fósforo es el agente limitante más común, mientras que en ecosistemas marinos el nitrógeno es el elemento más escaso. Por consiguiente, una estrategia eficaz en el control de la eutroficación de cuerpos de agua dulce es la prohibición del uso de detergentes fosfatados.

Asimismo, para evitar la generación de sedimentos se recomienda:

- Reforestar zonas de suelo descubierto y
- Controlar los sedimentos (trampas de sedimentos).

Otras prácticas comunes que buscan combatir los efectos de la eutroficación son:

- Aireación.
- Dragado.
- Remoción manual o mecánica de macrófitas y fitoplancton.
- Inactivación y sedimentación de fósforo (por adición de sales de aluminio, hierro y calcio).

Menos recomendables son:

- Control del crecimiento de fitoplancton y macrófitas por agentes químicos (sulfato de cobre, etc.)

- Dilución (mezcla entre un cuerpo de agua con poca concentración de nutrientes y el cuerpo eutroficado)

### 5.1.5 QUÍMICA DEL FÓSFORO

El fósforo es un elemento esencial en la vida y desarrollo de los organismos, pues forma parte de los ácidos nucleicos, del adenosín tri-fosfato (ATP), de fosfolípidos, de huesos y dientes, etc. En plantas tiene una proporción promedio de 0,2%, mientras que en animales alcanza el 1% de su masa. Su principal reserva la constituye la corteza terrestre. Se encuentra en muchos minerales comunes como la apatita. Por meteorización de rocas o por aporte de cenizas volcánicas queda disponible para las plantas, es absorbido con facilidad por partículas del suelo y es arrastrado, por la erosión o por su dilución en aguas de escorrentía superficiales, hacia cuerpos de agua. En condiciones naturales, en un año, entra a un sistema acuático menos de 1Kg de fosfatos por hectárea (Internet: 2) Una vez en cuerpos de agua, el fósforo, en sus diferentes compuestos, puede sedimentar y formar nuevamente rocas que tardarán millones de años en volver a emerger y liberar de nuevo las sales de fósforo. "En condiciones normales, el aporte de fósforo se equilibra con su depósito en los sedimentos." (Miller, 1993). El ciclo del fósforo se expone en el gráfico No.4.

Generalmente, el fósforo (P) se encuentra en forma de fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ). La mayor parte de fosfatos disueltos en el agua son ortofosfatos ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), siendo muy insignificantes las concentraciones de piro y metafosfatos. A pH elevado los  $\text{HPO}_4^{-2}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4$  pasan a forma  $\text{PO}_4^{-3}$ .

El fósforo, por sus propiedades, ha sido comúnmente utilizado en fertilizantes, ácidos y detergentes.

### 5.1.6 QUÍMICA DEL NITRÓGENO

Es también un elemento esencial para los organismos. Se emplea en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo. Su principal reserva es la atmósfera en donde se encuentra en forma de  $\text{N}_2$ , molécula que no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos. Ciertas bacterias como el *Rhizobium* y algas cianofíceas pueden capturar el  $\text{N}_2$  del aire y convertirlo en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), proceso que se denomina "fijación del nitrógeno". El nitrógeno en forma de

amonio y nitrato sí puede ser utilizado directamente por las plantas. Algunas bacterias convierten al amoniaco en nitrito, al mismo tiempo que otras transforman al nitrito en nitrato. Cuando hay un exceso de materia orgánica y en condiciones anaerobias, ciertas bacterias convierten al N en  $N_2$ , permitiendo que se escape a la atmósfera, proceso que se conoce como "desnitrificación".

En el metabolismo de los animales los compuestos nitrogenados forman ión amonio, el cual es altamente tóxico y es eliminado en forma de amoniaco (por algunos peces y organismos acuáticos), en forma de urea (por el hombre y otros mamíferos) o en forma de ácido úrico (por las aves y otros animales de zonas secas). Estos compuestos van a la tierra o al agua en donde pueden ser usados por plantas y bacterias.

El ciclo del nitrógeno se expone en el gráfico No.5.

El nitrógeno es más móvil que el fósforo, puede ser arrastrado a través del suelo o ingresar al aire por evaporación del amoniaco o por desnitrificación. A pesar de ello, el nitrógeno es el factor limitante más común para mares y otros cuerpos de agua salada. Gran parte del nitrógeno que ingresa a cuerpos de agua lo hace a través de la atmósfera.

Debido a sus propiedades, es también utilizado en la fabricación de fertilizantes y abonos.

### **5.1.7 FACTORES QUE INFLUENCIAN LA EUTROFICACIÓN**

Clima.- Climas cálidos favorecen el proceso de eutroficación.

Profundidad.- Cuerpos de agua poco profundos y/o de bajo caudal son más propensos al proceso de eutroficación.

Vegetación y precipitación.- Zonas con poca cubierta arbórea y altas precipitaciones son muy susceptibles a la erosión y al arrastre de sedimentos hacia cuerpos de agua.

Geología.- Áreas de drenaje donde predominan rocas sedimentarias tienen mayor aporte de fósforo por escorrentía. Los suelos arcillosos drenan pobremente, favoreciendo también a la escorrentía y por consiguiente al aporte de nutrientes.

Estratificación.- Un cuerpo de agua estratificado (estratificación termal) está determinado por dos zonas o capas que actúan como dos cuerpos de agua distintos y cuya interacción es mínima. El "Epilimnion" (zona superior) y el "Hipolimnion" (zona inferior), están separados por el "Metalimnion", que es la zona de interfase donde se produce un cambio brusco en la temperatura (termoclina) (Ver gráfico No.6). La estratificación generalmente responde a cambios estacionales. La estratificación favorece la eutroficación al desencadenar los siguientes fenómenos:

- Al comportarse como dos cuerpos de agua aislados, los nutrientes que ingresan al agua y que normalmente se distribuirían en todo su cuerpo, no pueden ingresar al hipolimnion y se concentran en el volumen de agua descrito por el epilimnion, favoreciendo el crecimiento de fitoplancton y macrófitas.
- Al no existir intercambio de oxígeno disuelto entre el epilimnion y el hipolimnion, la descomposición del material orgánico en este último consume al oxígeno presente, pudiendo alcanzar incluso situaciones anóxicas, mientras que las concentraciones de oxígeno en el epilimnion permanecen relativamente altas, debido a la disolución de oxígeno atmosférico.
- Al producirse la estratificación, los nutrientes pueden quedar atrapados en el hipolimnion, sin poder ascender al epilimnion, lo cual parecería prevenir la eutroficación. Sin embargo, al perderse la estratificación (mezclarse el lago), la brusca liberación de nutrientes al epilimnion puede disparar a su vez las poblaciones de fitoplancton, generando el fenómeno conocido como “algal blooms”.

Los factores anteriormente descritos son tan solo algunos del gran conjunto de factores que determinan las características de un lago y, por tanto, influyen en su productividad y estado trófico. El esquema de Rawson (Roldán, G. 1992), que se expone en el gráfico No.7, describe esta gran red de influencias. Aunque no está incluido en el esquema de Rawson, es importante tener en cuenta que un factor determinante es el tiempo o la edad del lago; pues, tanto si existe una contaminación cultural o un aporte natural de nutrientes, el tiempo de exposición del lago a estas fuentes será el que finalmente determine su estado y evolución trófica.

## **5.2 CALIDAD DE AGUA DEL SISTEMA HÍDRICO**

El grado de calidad de un agua esta determinado por los requisitos (características fisicoquímicas) que la misma cumpla para el uso que se le quiera dar. Así, para determinar la “calidad” de un agua, es necesario evaluar varios parámetros fisicoquímicos de ella y comparar dichos resultados con los valores máximos permisibles establecidos en la legislación, u otro criterio de caracterización, para el uso específico al que se le desee destinar.

### 5.2.1 SÍNTESIS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

**Alcalinidad:** Es la capacidad de un agua de neutralizar ácidos. Está determinada por todas las bases titulables en ella. Depende primordialmente del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, pero también de otras bases como boratos, fosfatos, silicatos, etc. o de metales alcalinotérreos. Se expresa como mg/l de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

“La alcalinidad es importante en muchos usos y tratamientos de agua naturales y residuales”. (APHA 1992)

**Bario (Ba):** Peso atómico: 137,33. Metal de color blanco argénteo, algo maleable. Elemento alcalinotérreo que reacciona fácilmente con agua, amoníaco, halógenos, oxígeno y la mayoría de ácidos. En forma de polvo, a temperatura ambiente, es inflamable. Constituye el decimosexto elemento en orden de abundancia en la naturaleza. En agua, sin embargo, su concentración generalmente es muy baja, por lo que está presente tan solo como trazas.

Este metal estimula al músculo cardíaco y es letal para seres humanos en dosis de 550 a 600 mg. Puede ingresar al organismo por vía oral o respiratoria, donde genera trastornos en el sistema nervioso, corazón y vasos sanguíneos. (Seoáñez, 1999; APHA 1992)

**Clorofila-a:** La clorofila consiste en un complejo de pigmentos fotosintéticos presentes en los cloroplastos de las plantas verdes. Aproximadamente, el 1 al 2% en peso del fitoplancton corresponde a clorofila-a; por lo que, ésta, se utiliza comúnmente para determinar su biomasa en cuerpos de agua. La clorofila b y c, son otros pigmentos también presentes en algas plantónicas. (APHA 1992)

**Cloruros (Cl):** Constituye uno de los aniones típicos de aguas naturales y residuales fruto de la disolución de suelos y rocas con este elemento. En altas concentraciones puede irrumpir el desarrollo vegetal, corroer metales, etc. y produce un sabor salado ( $\text{NaCl}$ ). (APHA 1992)

En seres humanos pasa inalterado a través del aparato digestivo por lo que no se considera tóxico; sin embargo, puede formar compuestos altamente tóxicos. Elevadas concentraciones de este ión suelen asociarse a vertidos de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales.

**Coliformes:** Se han definido comúnmente como aquellos bacilos en bastón Gram-negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados, que hacen fermentar a la lactosa a  $37^\circ\text{C}$  y en menos de 24 horas, con producción de ácido y gas. (Seoáñez, 1996). Sin embargo, se ha



determinado que ciertas cepas asignadas taxonómicamente a este grupo no siempre pueden fermentar la lactosa o, de hacerlo, no necesariamente generan gas.

Las bacterias coliformes no poseen un hábitat exclusivo, a excepción de las fecales y la *Escherichia coli*, las cuales habitan en el tracto intestinal de ciertos animales de sangre caliente, como el hombre, por lo que éstas últimas son usadas como un indicador de la calidad sanitaria del agua (Seoáñez, 1999).

**Color real:** El color de un cuerpo de agua está asociado a la presencia de iones metálicos naturales (hierro y magnesio), humus y turbas, plancton, material suspendido, etc. Puede expresarse como “aparente” o como “real”. El color aparente es aquel producido por materiales flotantes y disueltos, mientras que el real es aquel debido únicamente a elementos disueltos. Se expresa como mg/l de PtCo. (APHA 1992)

**Conductividad (eléctrica):** Se refiere a la capacidad del agua, o una solución cualquiera, de transportar una corriente eléctrica. Dicha capacidad está determinada por la presencia de iones, su concentración total y relativa, su movilidad, su valencia y su temperatura. (APHA 1992). La conductividad está íntimamente relacionada con los sólidos totales disueltos. Se expresa comúnmente como micro-siemens sobre centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Incrementos en la conductividad pueden deberse al vertido de aguas residuales domésticas (orinas) e industriales.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica del agua. Incluye a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), misma que es la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar el material orgánico del agua, más la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica recalcitrante y la no biodegradable. De manera que, la DQO puede ser igual o mayor a la DBO, pero jamás inferior.

**Dureza:** Suma de las concentraciones de iones de calcio y magnesio en un agua. Las concentraciones de estos iones se expresan como mg/l de carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  y tienen la facultad de precipitar al jabón y de formar precipitados e incrustaciones. La dureza puede ser temporal o permanente.

La dureza temporal se debe a carbonatos y bicarbonatos, pudiendo ser fácilmente eliminada por calentamiento del agua. La dureza permanente está determinada por los iones calcio y magnesio.

El tipo de agua según el grado de dureza se determina así:

ppm $\text{CaCO}_3$	Grado de dureza
0 – 75	Agua blanda
75 – 150	Agua semidura
150 – 300	Agua dura
> 300	Agua muy dura

**Fósforo Total (P):** El fósforo (peso atómico = 31) es un elemento esencial para el desarrollo de organismos. Se encuentra en la naturaleza en rocas de fosfato, como parte de compuestos orgánicos de los tejidos vivos, como fosfatos (orto, piro, meta y otros polifosfatos) en el suelo o disueltos en el agua, etc. También como nódulos de fosforita en los fondos de los océanos. Este nutriente puede limitar la productividad de un cuerpo de agua (Ver "Química del Fósforo").

**Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ):** Estado general del nitrógeno orgánico. Puede alcanzar niveles altos en aguas subterráneas, mientras que en aguas superficiales generalmente se presenta como trazas. Puede generar sales de ácido nítrico. Actúa como nutriente, a la vez que puede contaminar el agua (APHA 1992).

**Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ):** Constituye un estado intermedio de oxidación del nitrógeno. En organismos de sangre caliente bloquea la hemoglobina, en niños causa la enfermedad denominada metahemoglobinemia. En soluciones ácidas forma ácido nitroso, el cual puede reaccionar con aminas secundarias dando lugar a nitrosaminas, muchas de las cuales son agentes carcinógenos reconocidos (APHA 1992). Por todo esto, el nitrito es considerado un compuesto importante en el análisis de calidad de agua para consumo humano.

**Nitrógeno Total (N):** El nitrógeno (peso atómico = 14) es el elemento gaseoso más abundante en la atmósfera terrestre. Es ligeramente soluble en agua y en alcohol. No es tóxico ni combustible. Constituye un nutriente esencial y, en ocasiones, puede ser el factor limitante del desarrollo orgánico (Ver "Química del Nitrógeno").

**Oxígeno Disuelto (OD):** Constituye la concentración de oxígeno que, a una determinada temperatura, se encuentra disuelto en el agua.

**Plomo (Pb):** Peso atómico: 207. Metal de color gris blando, pesado y dúctil. (Seoáñez, 1999). En la naturaleza, el plomo se presenta como carbonato ( $\text{PbCO}_3$ ) y sulfato ( $\text{PbSO}_4$ ), los cuales tienen su origen en aguas termales y en los sedimentos volcánicos.

Ingresa al organismo vía respiratoria u oral. Una vez dentro, se almacena temporalmente en la sangre y luego alcanza a otros órganos y tejidos. Causa afecciones al corazón, los riñones, el cerebro, los huesos, etc.

Se ha utilizado en la fabricación de pinturas, como antidetonante en gasolinas, en la soldadura de tuberías y demás actividades industriales.

**Potencial Hidrógeno (pH):** "Logaritmo de base 10 del recíproco de la concentración de iones hidronio" (Seoáñez, 1999). Determina la capacidad del agua de neutralizar una base (valores de  $\text{pH} < 7$ ) o neutralizar un ácido (valores  $> 7$ ), capacidad determinada por la actividad del ion hidrógeno según su disociación en iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ , siendo el valor 7 el equilibrio ácido-base o valor neutro. Así, un agua con  $\text{pH} < 7$  se dice está acidificada (concentraciones altas de  $\text{H}^+$ ), mientras que una con  $\text{pH} > 7$  es alcalina (concentraciones altas de  $\text{OH}^-$ ) y una con  $\text{pH} 7$  es neutra.

**Sólidos Totales Disueltos (TDS):** Son aquellos sólidos solubles (iones, sustancias orgánicas e inorgánicas) diluidos en un agua, que pueden colorear la misma. Éstos pueden afectar negativamente a la calidad del agua. Aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor (APHA 1992).

**Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ):** Es un compuesto ampliamente distribuido en la naturaleza. En aguas naturales su concentración puede variar desde pocas ppm a cientos o miles. La oxidación de la pirita constituye una fuente significativa de sulfatos, por lo que el drenaje de minas aporta significativamente sulfatos a cuerpos de agua. "Los sulfatos de sodio y magnesio ejercen una acción catalítica". (APHA 1992)

**Tensoactivos (Detergentes):** También llamados surfactantes, son productos compuestos por moléculas que combinan grupos hidrofóbicos e hidrofílicos. "Dichas moléculas tienden a congregarse en las interfases entre el medio acuoso y las otras fases del sistema, como aire, líquidos oleosos y partículas, impartiendo por tanto propiedades tales como formación de espuma, emulsificación y suspensión de partículas" (APHA 1992). Otra propiedad importante

de éstos es la capacidad de disminuir la tensión superficial del agua. Todas estas propiedades hacen que estos compuestos se utilicen ampliamente para fines de limpieza.

**Turbidez:** Implica la disminución de la "transparencia" de un líquido debido a la presencia de partículas sólidas o de coloides en suspensión, como arcilla, cieno, material orgánico e inorgánico finamente dividido, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros organismos (APHA 1992). Estas partículas y compuestos no permiten el paso de la luz sino que la dispersan y/o absorben. El grado de dispersión/absorción de luz (turbidez) está determinado por la concentración, tamaño, forma, etc., de tales partículas y compuestos.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 LIMNOLOGÍA

Con el objeto de determinar el estado trófico de la laguna de Limoncocha, se evaluó la concentración y comportamiento del fósforo total, nitrógeno total y de la clorofila-a. Se tomó adicionalmente una muestra de sedimentos de fondo, en la que se analizó la concentración de fósforo soluble y de fósforo total.

Con el fin de establecer el aporte de nutrientes a la laguna, se determinó la concentración de fósforo total y nitrógeno total en los ríos tributarios Pishira, Playayacu y “SEK” y se la conjugó con sus respectivos caudales.

#### 6.1.1 PLAN DE MUESTREO

##### 6.1.1.1 PUNTOS DE MUESTREO

Se identificaron seis puntos de muestreo en la laguna de Limoncocha y tres puntos adicionales en los ríos Pishira, Playayacu y “SEK”, los cuales se exponen en el mapa No.2. Estos puntos fueron elegidos con el propósito de brindar representatividad al muestreo y coincidir con puntos utilizados en estudios anteriores. La ubicación de dichos puntos se expone a continuación:

**CUADRO 1.**

<b>PUNTOS DE MUESTREO (LAGUNA)</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)</b>	<b>COMENTARIOS</b>
P1	319754 E 9955028 N	Ubicado en el muelle de la estación científica.
P2	319812 E 9954822 N	Ubicado en el extremo sur de la laguna
P3	319962 E 9954910 N	Ubicado frente al muelle de la estación científica.
P4	320859 E 9955524 N	Ubicado en la orilla este de la laguna.
P5	320611 E 9955709 N	Ubicado en el centro de la laguna
P6	322219 E 9956968 N	Ubicado en el extremo noreste de la laguna, en el canal de conexión con la “Laguna Negra”.

<b>PUNTOS DE MUESTREO (RÍOS)</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)</b>	<b>CAUDAL MEDIO (l/s)</b>	<b>COMENTARIOS</b>
RSH	Río Pishira	321536 E 9957529 N	1076,83	Situado, aproximadamente, a 300 metros al norte de la laguna (Ver foto No.1)
RYY	Río Playayacu	320314 E 9956497 N	25,345	Situado, aproximadamente, a 100 metros al oeste de la laguna (Ver foto No.2)
RSEK	Río “SEK”	319315 E 9954209 N	31,07	*Pequeño río al suroeste de la laguna que carece de nombre definido, razón por la cual, a lo largo de este estudio, es calificado por el autor como “SEK” (Ver foto No.3)

#### **6.1.1.2 FRECUENCIA DEL MUESTREO**

Para el presente estudio se realizaron mediciones y muestreos mensuales, en los meses de noviembre del 2002 a abril del 2003.

#### **6.1.2 METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS**

Para la recolección de muestras, en los seis puntos ubicados en la laguna, se utilizó recipientes plásticos de 500 ml, debidamente identificados y rotulados. Estos recipientes fueron pintados de negro para evitar el ingreso de luz. Las muestras fueron simples, tomadas a una profundidad de 35 cm.

Para la recolección de muestras en los ríos Pishira, Playayacu y “SEK” se utilizó envases plásticos de dos litros (mismos que fueron utilizados en los muestreos para determinar la calidad de agua del sistema hídrico). Las muestras fueron simples tomadas a:

- 35 cm de profundidad y 1 m de la orilla (Río Pishira)
- 7 cm de profundidad y en el centro (Río Playayacu)
- 10 cm de profundidad y en el centro (Río “SEK”)

Se siguieron las técnicas de muestreo descritas a continuación:

- Antes de tomar la muestra se enjuagó tres veces el envase con el agua del río o laguna, según fuere el caso.
- Se sumergió el envase con su boca hacia abajo para evitar el ingreso de la capa superficial de agua.
- En los ríos se tomó las muestras en contracorriente.

- En la laguna (al no existir corriente) se introdujo el envase y se lo alejó lentamente del muestreador.
- Se evitó el ingreso de sólidos grandes como hojas y ramas.
- Se siguió las técnicas de muestreo para la recolección de muestras simples, especificadas en el “Manual para Muestreo de Aguas y Sedimentos” del Municipio Metropolitano de Quito.

El fósforo total fue determinado inmediatamente. Las muestras para determinar clorofila-a (200 ml de los 500 ml recolectados en cada punto) fueron filtradas inmediatamente a través de filtros de luz de poro de 0,45µm, protegidos contra la luz y preservados a 4°C hasta su posterior análisis en laboratorio. Las muestras para determinar nitrógeno total también fueron preservadas a 4°C hasta ser analizadas en la ciudad de Quito, 24 a 48 horas más tarde.

Se dejó un espacio de aire en los envases transportados para permitir la expansión térmica.

Para tomar un testigo del sedimento de fondo, se utilizó un tubo de PVC de 1½ pulgada de diámetro y 2,50 metros de largo. El muestreo siguió los pasos siguientes:

1. Introducción del tubo tapado hasta una profundidad de 20 cm dentro de los sedimentos.
2. Remoción de la tapa para succionar el sedimento.
3. Extracción del tubo tapado. (Ver gráfico No.8)

La muestra, en el tubo, fue trasladada a Quito para su análisis en laboratorio. De la columna de sedimento tomada se separó dos zonas: la superior "A" y la inferior "B", en las cuales se determinó la concentración de fosfatos solubles. El fósforo total fue determinado en toda la columna de sedimentos. Esta muestra fue tomada en el punto de muestreo "P5" (centro de la laguna), el 24 de abril del 2003.

### **6.1.3 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE MUESTRAS**

Para analizar las muestras se siguió la metodología expuesta a continuación:

**CUADRO 2.**

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	EQUIPO UTILIZADO	APRECIACIÓN DEL EQUIPO	% ERROR
Clorofila-a	mg/m <sup>3</sup> CL-a	Colorimétrico – Extracción con Acetona	Espectofotómetro HACH DR/4000	--	--
*Fósforo reactivo (Ortofosfato)	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Colorimétrico – Ácido ascórbico	Espectofotómetro HACH DR/2000	0,00 a 2,50	± 0,01
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l TKN	Colorimétrico – Nessler	Espectofotómetro HACH DR/2000	0 a 150	± 0,8
Fosfatos solubles (Sedimentos)	% en peso de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Colorimétrico – APHA – Cloruro estagnoso	Espectroscopio UV visible LAMBDA 10 (Perkin-Elmer)	0,05 a 3,00 mg/l	--
Fósforo Totales (Sedimentos)	% en peso de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Colorimétrico – APHA – 223D	Espectroscopio UV visible LAMBDA 10 (Perkin-Elmer)	--	--

\*Método aceptado por la USEPA.

Nota: Los fosfatos determinados fueron convertidos a fósforo total multiplicándolos por el factor 0,326 , el cual fue obtenido de la relación estequiométrica 31 (P) ÷ 95 (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Igualmente, los resultados de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fueron transformados a fósforo total al multiplicarlos por el factor 0,4366 de la relación estequiométrica 62 (P<sub>2</sub>) ÷ 142 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

#### 6.1.4 METODOLOGÍA DEL TRATAMIENTO DE RESULTADOS

Para determinar el nutriente limitante se utilizó la relación nitrógeno total : fósforo total para el fitoplancton, de 9:1, propuesta por Vollenweider (CEPIS/HPE/OPS, 1981-1990). Según ésta, lagos con relaciones de nitrógeno a fósforo superiores a 9 están limitados por fósforo, mientras que aquellos con relaciones inferiores a 9 son limitados por nitrógeno.

Para calcular la probabilidad del nivel trófico de la laguna, se utilizó el programa “LACAT”, desarrollado por el CEPIS, la HPE y la OPS durante el programa regional para la evaluación de eutroficación en lagos tropicales, 1981-1990, el cual se basa en la carga superficial de fósforo anual que recibe un lago. Para establecer la carga superficial de fósforo total que ingresa a la laguna de Limoncocha al año, se calculó el aporte superficial anual de fósforo de los ríos tributarios Pishira, Playayacu y “SEK”. Para esto, se multiplicó el caudal medio de cada río por su concentración media de fósforo, pudiendo determinarse así el caudal másico de aporte de fósforo. Éste último fue dividido para el área total de la laguna y corregido a un año, obteniéndose al final gP/m<sup>2</sup>·año. Finalmente, se añadieron los aportes de cada río más el coeficiente de exportación de fósforo correspondiente al uso de la microcuenca y el aporte de



fósforo por precipitación seca y lluvia. El coeficiente de exportación de fósforo de la cuenca fue determinado correlacionando los distintos coeficientes de exportación, descritos en el capítulo "Evaluation of Nitrogen and Phosphorus Loads to Water Supply Reservoirs" del Cursillo Sobre Eutroficación de Lagos y Embalses, 1980 (Ver tabla No.4), con los principales usos de la microcuenca, según su proporción.

Información sobre el programa "LACAT" se expone en el anexo No.5.

Se comparó, también, los promedios geométricos de las concentraciones de fósforo y clorofila-a con los valores referenciales establecidos en las tablas de "Clasificación del Estado Trófico" de las "Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Tropicales" para fósforo total y clorofila-a. Se utilizó, además, las gráficas de "Distribución de Probabilidad de Nivel Trófico" establecidas en las mismas "Metodologías Simplificadas" para determinar la probabilidad de nivel trófico en base a las concentraciones promedio (promedio aritmético) de fósforo total y clorofila-a.

Se comparó los resultados obtenidos con los criterios para determinar el estado trófico de lagos y embalses de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OECD).

La concentración de fósforo en sedimento se comparó con los criterios de clasificación de Kelly M., Hite R. y Rogers K de "Lake and Reservoir Management".

Se realizó una aproximación de la velocidad de sedimentación, de la pérdida neta de fósforo total y de la carga de fósforo que abandona la laguna.

Finalmente, se aplicó el índice de estado trófico de Carlson (TSI), el cual conjuga los valores obtenidos de fósforo total en el agua, clorofila-a y profundidad del disco Secchi.

Adicionalmente a toda la información obtenida durante los meses considerados en la frecuencia de muestreo, se incluyó para el presente análisis resultados de mediciones y monitoreos realizados durante los meses de julio y agosto del 2002, de algunos de los cuerpos de agua contemplados en este estudio y en los mismos puntos de muestreo. También se tomó información relevante de otros estudios realizados en la zona.

## **6.2 CALIDAD DE AGUA DEL SISTEMA HÍDRICO**

Con el fin de determinar el grado de "calidad" del agua de la laguna, de los ríos y de las vertientes considerados en este estudio, se evaluó la concentración y el comportamiento de los distintos parámetros fisicoquímicos expuestos en la tabla No.1.

## 6.2.1 PLAN DE MUESTREO

### 6.2.1.1 PUNTOS DE MUESTREO

Se identificaron trece puntos de muestreo de diferentes cuerpos de agua (Ver mapa No.3), los cuales se describen a continuación:

**CUADRO 3.**

PUNTOS DE MUESTREO	NOMBRE	UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)	CAUDAL MEDIO (l/s)	COMENTARIOS
LL	Laguna de Limoncocha	320937 E 9956434 N	--	Ubicado en el centro de la laguna. Coincide con el punto "P5" del subcapítulo de limnología.
RSH	Río Pishira	321536 E 9957529 N	1076,833	Coincide con el punto "RSH" del subcapítulo de limnología. (Ver foto No.1)
RYY	Río Playayacu	320314 E 9956497 N	25,345	Coincide con el punto "RYY" del subcapítulo de limnología. (Ver foto No.2)
RSEK	Río "SEK"	319315 E 9954209 N	31,067	Coincide con el punto "RSEK" del subcapítulo de limnología. (Ver foto No.3)
RJ	Río Jivino	319153 E 9952545 N	--	Cerca al puente que cruza al río.
RN	Río Napo	319233 E 9950785 N	--	Ubicado en el muelle conocido como "Pompeya" (Ver foto No.4)
V1	Vertiente 1 "Agustín"	319911 E 9955548 N	0,845	Situada a pocos metros de la orilla oeste de la laguna, entre el río Playayacu y la vertiente 2. (Ver foto No.5)
V2	Vertiente 2 "Augusto"	319818 E 9955312 N	0,161	Localizada a pocos metros de la orilla oeste de la laguna, entre la vertiente 1 y la vertiente 3. Es utilizada principalmente para lavar ropa. (Ver foto No.6)
V3	Vertiente 3 "IPIB"	319805 E 9955290 N	15,814	Ubicada entre la vertiente 2 y el muelle de la estación, es utilizada por los moradores para lavar, bañarse y beber y abastece de agua al "Instituto Martha Bucarám de Roldós" (Ver foto No.7)
V4	Vertiente 4 "Estación científica"	319639 E 9955053 N	0,194	Abastece de agua a la estación científica de la UISEK. (Ver foto No.8)
V5	Vertiente 5 "Desagüe"	319518 E 9954714 N	1,155	Cercana al pueblo, está influenciada por el desagüe de aguas lluvias del pueblo. Es una de las vertientes más utilizadas por los moradores para lavar ropa. (Ver foto No.9)
V6	Vertiente 6 "Agua Potable"	319297 E 9954267 N	0,498	Cercana al pueblo, es utilizada principalmente para bañarse y beber. (Ver foto No.10)
V7	Vertiente 7 "Pachakutik"	319226 E 9954214 N	0,368	Cercana al pueblo, es utilizada principalmente para bañarse y beber. (Ver foto No.11)

Nota: Las muestras fueron tomadas en el origen de las vertientes, con excepción de la V5, cuyas muestras fueron tomadas a la salida de uno de los tubos que la canalizaban.

Adicionalmente, por interés de la comunidad, se tomaron muestras en dos puntos diferentes a los anteriormente expuestos, en las que se analizó la presencia de bacterias coliformes totales y fecales. Éstos fueron:

**CUADRO 4.**

<b>PUNTOS DE MUESTREO</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)</b>	<b>COMENTARIOS</b>
V3*	319805 E 9955290 N	Muestra tomada el 30 de marzo del tanque de recolección de agua para el “Instituto Martha Bucarám de Roldós”. (Ver foto No.7)
V5*	319518 E 9954714 N	Muestra tomada el 22 de diciembre de una vertiente aledaña a la V5, agua que es directamente consumida por los moradores, sin ningún tratamiento previo. (Ver foto No.9)

#### **6.2.1.2 FRECUENCIA DEL MUESTREO**

Para el presente estudio se realizaron mediciones y muestreos mensuales, en los meses de noviembre del 2002 a abril del 2003.

#### **6.2.2 METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS**

Para la determinación de parámetros “in situ” se utilizó la sonda portátil HORIBA.

Para la recolección de muestras en los trece puntos antes descritos, se utilizó recipientes plásticos de 2000 ml, debidamente identificados y rotulados. Para la recolección de muestras destinadas a la determinación de bacterias coliformes, se utilizó frascos plásticos esterilizados de 150 ml. Las lecturas “in situ” y las muestras simples fueron tomadas a las siguientes profundidades:

**CUADRO 5.**

<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>PROFUNDIDAD DE MUESTREO</b>	<b>COMENTARIOS</b>
LL	1,5 m. 35 cm. (Coliformes)	Para obtener la muestra a 1,5 m. se utilizó un muestreador de profundidad casero (Ver foto No.12)
RSH	35 cm.	A un metro de la orilla.
RYY	7 cm.	En el centro del río.
RSEK	10 cm.	En el centro del río.
RJ	35 cm.	A dos metros de la orilla.
RN	35 cm.	Junto al muelle (Ver foto No.4)
V4, V5, V6	--	Se aprovechó caídas de agua para recolectar la muestra, misma que involucró a todo el caudal.
V1,V2, V3, V7	Entre la superficie y el fondo del caudal.	Debido a la poca altura de la columna de agua, se utilizó jeringuillas esterilizadas de 60 ml para llenar los envases.
V3*	35 cm.	--
V5*	--	De la caída de agua (todo el caudal).

Para la medición de los caudales se utilizaron los métodos:

**CUADRO 6.**

<b>MÉTODO</b>	<b>PUNTOS</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
Flotador	RSH, RYY, RSEK, V3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se determinó el área transversal promedio del cauce, mediante mediciones de su ancho y profundidad.</li> <li>- Se determinó una distancia “x”.</li> <li>- Se determinó el volumen (calculado) del cauce.</li> <li>- Se midió el tiempo en que un flotador (hoja o rama) recorrió la distancia “x”</li> <li>- Se repitió tres veces el punto antes descrito y se determinó un valor de tiempo promedio.</li> <li>- Se dividió el volumen calculado por el tiempo promedio. (Ver gráfico 9)</li> </ul>
Aforo volumétrico	V1, V2, V4 V5, V6, V7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se determinó el tiempo necesario para recolectar un volumen “x”.</li> <li>- Para esto se utilizó una probeta de 1000 ml. y un cronómetro.</li> </ul>

En la recolección de muestras se siguieron las técnicas de muestreo expuestas a continuación:

- Antes de tomar la muestra se enjuagó tres veces el envase con el agua del río, vertiente o laguna, según fuere el caso.
- En los ríos, se sumergió el envase con su boca hacia abajo para evitar el ingreso de la capa superficial de agua.
- En los ríos, se tomó las muestras en contracorriente.
- En los ríos y la laguna, los envases esterilizados para la muestra de bacterias coliformes fueron abiertos y cerrados dentro del cauce.
- Se evitó el ingreso de sólidos grandes como hojas y ramas.
- Se siguió las técnicas de muestreo para la recolección de muestras simples, especificadas en el “Manual para Muestreo de Aguas y Sedimentos” del Municipio Metropolitano de Quito.

Las muestras fueron preservadas a 4°C y trasladadas a los laboratorios de la UISEK, en la ciudad de Quito, donde fueron analizadas (24 a 48 horas más tarde).

Se dejó un espacio de aire en los envases transportados para permitir la expansión térmica.

### **6.2.3 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE MUESTRAS**

Para analizar las muestras se siguió la metodología expuesta a continuación:

**CUADRO 7.**

<b>PARÁMETRO ANALIZADO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÉTODO UTILIZADO</b>	<b>EQUIPO UTILIZADO</b>	<b>APRECIACIÓN DEL EQUIPO</b>	<b>% ERROR</b>
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico	Bureta de 10 ml	0,00 a 10,00	± 0,05
Bario	mg/l Ba <sup>2+</sup>	Colorimétrico – Turbidimétrico	HACH DR/2000	0 a 100	± 1
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	Colorimétrico – Tiocianato de mercurio	HACH DR/2000	0,0 a 20,0	± 0,3
Coliformes Totales y Fecales	NMP/100ml	Número Más Probable (NMP)	--	--	--
Color Real	mg/l PtCo	Colorimétrico – Estándar platino-cobalto	HACH DR/2000	0 a 500	--
Conductividad	µS/cm	Electrodo selectivo	HORIBA	0,000 a 1,000	± 0,01
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	Titulométrico – Reflujo abierto	Bureta de 10 ml	0,00 a 10,00	± 0,05
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico - Complexiométrico	Bureta de 10 ml	0,00 a 10,00	± 0,05
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Colorimétrico – Reducción de cadmio (bajo rango)	HACH DR/2000	0,00 a 0,40	± 0,010
*Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Colorimétrico – Disociación (bajo rango)	HACH DR/2000	0,000 a 0,300	± 0,0011
OD	mg/l OD	Electrodo selectivo	HORIBA	0,0 a 19,9	± 0,1
pH	--	Electrodo selectivo	HORIBA	0,00 a 14,00	± 0,1
*Plomo	µg/l Pb	Colorimétrico – Ditzona	HACH DR/2000	0 a 160	± 1,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/l TDS	Relación con conductividad	--	--	--
*Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Colorimétrico – SulfaVer 4	HACH DR/2000	0 a 70	± 0,9
Surfactantes aniónicos	mg/l Deterg. aniónicos.	Colorimétrico – Cristal violeta	HACH DR/2000	0,000 a 0,275	± 0,0035
Temperatura	°C	Electrodo selectivo	HORIBA	0,0 a 50	± 1
Turbidez	FTU	Absorbotométrico	HACH DR/2000	0 a 450	± 2

\*Aceptados por la USEPA

El cálculo de los Sólidos Totales Disueltos con datos de la Conductividad se desarrolló en base a la relación lineal  $TDS = 0,4971COND + 0,487$ , misma que fue determinada con datos de muestreos anteriores realizados en la zona.

#### 6.2.4 METODOLOGÍA DEL TRATAMIENTO DE RESULTADOS

Para establecer la calidad de las aguas, para consumo humano y uso doméstico, se comparó los resultados obtenidos tras el análisis de muestras y de mediciones “in situ” con los valores

máximos permisibles establecidos en las tablas 1 y 2, Anexo 1, Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente. (Ver anexo No.1).

Para establecer la calidad del agua de la laguna de Limoncocha, para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces, se comparó los resultados obtenidos en los análisis y mediciones con los valores máximos permisibles expuestos en la tabla 3, Anexo 1, Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador. (Ver anexo No.1)

Tras tales comparaciones, se desarrolló índices de calidad para cada parámetro, según la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{(Ca/Cb)_1 + (Ca/Cb)_2 + (Ca/Cb)_3 + \dots + (Ca/Cb)_n}{n}$$

Donde:

IC = índice de calidad.

Ca = concentración medida del parámetro fisicoquímico.

Cb = concentración máxima permitida por la legislación.

n = número de muestreos

Considerándose aquellos índices mayores a 1 como incumplimientos con la norma, aquellos menores a 1 como cumplimientos con la norma y aquellos iguales a 1 como valores en el límite de la norma. La única excepción, con lo anteriormente expuesto, se da para el oxígeno disuelto, donde se comparan los valores obtenidos con el mínimo valor permisible establecido por la legislación y por tanto, solo en este caso, aquellos índices mayores a 1 evidencian cumplimiento con la norma, mientras que aquellos menores a 1 evidencian incumplimiento.

Es importante anotar que el cálculo de índices de calidad, basado en esta fórmula, coincide con aquel calculado con el valor correspondiente al 50% de probabilidad determinado con el tratamiento estadístico de “Hansen”.

Adicionalmente a toda la información obtenida durante los meses considerados en la frecuencia de muestreo, se incluyó en para presente análisis resultados de mediciones y monitoreos realizados durante los meses de julio y agosto del 2002, de algunos de los cuerpos de agua contemplados en este estudio y en los mismos puntos de muestreo. También se tomó información relevante de otros estudios realizados en la zona.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1 LIMNOLOGÍA

#### 7.1.1 RESULTADOS

##### 7.1.1.1 CUADROS

**CUADRO 8.**

<b>FÓSFORO TOTAL EN LA LAGUNA (mg/l)</b>						
<b>PUNTOS DE MUESTREO (LAGUNA)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO</b>					
	<b>16/11/02</b>	<b>21/12/02</b>	<b>18/01/03</b>	<b>22/02/03</b>	<b>30/03/03</b>	<b>24/04/03</b>
<b>P1</b>	0,05*	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01
<b>P2</b>	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02
<b>P3</b>	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02
<b>P4</b>	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,02
<b>P5</b>	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
<b>P6</b>	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00

\* La muestra del punto P1 fue tomada el 17/11/02 luego de una fuerte precipitación la noche pasada.

**CUADRO 9.**

<b>FOSFATOS SOLUBLES EN EL SEDIMENTO DE FONDO</b>				
<b>PUNTO DE MUESTREO (LAGUNA: P5)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO: 24/04/03</b>			
		<b>% EN PESO DE <math>\text{PO}_4^{3-}</math></b>	<b>mg/Kg DE <math>\text{PO}_4^{3-}</math></b>	<b>mg/Kg DE P</b>
	<b>PARTE SUPERIOR (A)<sup>1</sup></b>	0,002	20	6,53
	<b>PARTE INFERIOR (B)<sup>1</sup></b>	0,0035	35	11,42

<sup>1</sup> Ver gráfico No.8.

**CUADRO 10.**

<b>FÓSFORO TOTAL EN EL SEDIMENTO DE FONDO</b>			
<b>PUNTO DE MUESTREO (LAGUNA: P5)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO: 24/04/03</b>		
	<b>% EN PESO DE <math>\text{P}_2\text{O}_5</math></b>	<b>mg/Kg DE <math>\text{P}_2\text{O}_5</math></b>	<b>mg/Kg DE P</b>
	0,0139	139	60,69

**CUADRO 11.**

<b>FÓSFORO TOTAL EN LOS RÍOS TRIBUTARIOS (mg/l)</b>						
<b>PUNTOS DE MUESTREO (RÍOS)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO</b>					
	<b>16/11/02</b>	<b>21/12/02</b>	<b>18/01/03</b>	<b>22/02/03</b>	<b>30/03/03</b>	<b>24/04/03</b>
<b>RSH</b>	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02
<b>RYY</b>	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
<b>RSEK</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

**CUADRO 12.**

<b>NITRÓGENO TOTAL EN LA LAGUNA (mg/l)</b>						
<b>PUNTOS DE MUESTREO (LAGUNA)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO</b>					
	<b>16/11/02</b>	<b>21/12/02</b>	<b>18/01/03</b>	<b>22/02/03</b>	<b>30/03/03</b>	<b>24/04/03</b>
<b>P1</b>	25	35	50	60	80	35
<b>P2</b>	40	45	35	45	70	50
<b>P3</b>	40	40	40	55	65	60
<b>P4</b>	30	55	35	35	80	35
<b>P5</b>	30	30	105	35	45	35
<b>P6</b>	15	30	30	25	25	45

**CUADRO 13.**

<b>NITRÓGENO TOTAL EN LOS RIOS TRIBUTARIOS (mg/l)</b>						
<b>PUNTOS DE MUESTREO (RÍOS)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO</b>					
	<b>16/11/02</b>	<b>21/12/02</b>	<b>18/01/03</b>	<b>22/02/03</b>	<b>30/03/03</b>	<b>24/04/03</b>
<b>RSH</b>	50	25	50	60	35	35
<b>RYY</b>	50	25	30	40	40	40
<b>RSEK</b>	20	40	60	35	40	35

**CUADRO 14.**

<b>CLOROFILA – a EN LA LAGUNA (mg/m<sup>3</sup>)</b>						
<b>PUNTOS DE MUESTREO (LAGUNA)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO</b>					
	<b>16/11/02</b>	<b>21/12/02</b>	<b>18/01/03</b>	<b>22/02/03</b>	<b>30/03/03</b>	<b>24/04/03</b>
<b>P1</b>	15.34	10.68	9.48	--	--	--
<b>P2</b>	S.D.	16.34	15.37	--	--	--
<b>P3</b>	19.37	20.06	S.D.	--	--	--
<b>P4</b>	20.03	S.D.	17.36	--	--	--
<b>P5</b>	18.72	15.36	8.67	--	--	--
<b>P6</b>	19.39	17.42	16.58	--	--	--

S.D.= Sin Dato.

Se incluyó adicionalmente los siguientes resultados de muestreos anteriores:

**CUADRO 15.**

<b>NITRÓGENO TOTAL EN LA LAGUNA (mg/l)</b>		
<b>PUNTOS DE MUESTREO (LAGUNA)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	
	<b>07/07/02</b>	<b>13/08/02</b>
<b>P1</b>	25	30
<b>P2</b>	25	40
<b>P3</b>	20	25
<b>P4</b>	40	25
<b>P5</b>	25	20
<b>P6</b>	30	25

**CUADRO 16.**

<b>CLOROFILA -A EN LA LAGUNA (mg/m<sup>3</sup>)</b>		
<b>PUNTOS DE MUESTREO (LAGUNA)</b>	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	
	<b>07/07/02</b>	<b>13/08/02</b>
<b>P1</b>	S.D.	14.61
<b>P2</b>	17.15	S.D.
<b>P3</b>	19.02	20.39
<b>P4</b>	20.47	19.06
<b>P5</b>	S.D.	17.02
<b>P6</b>	17.4	19.05

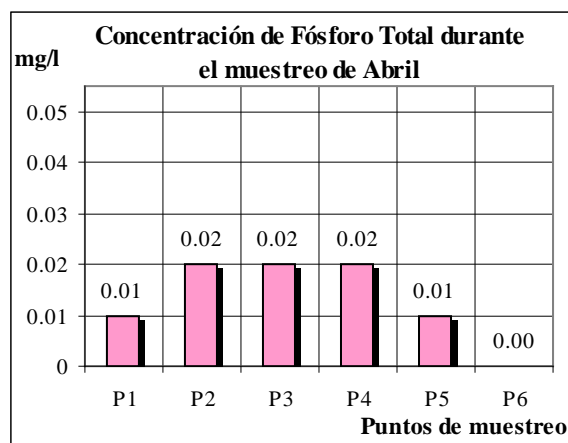
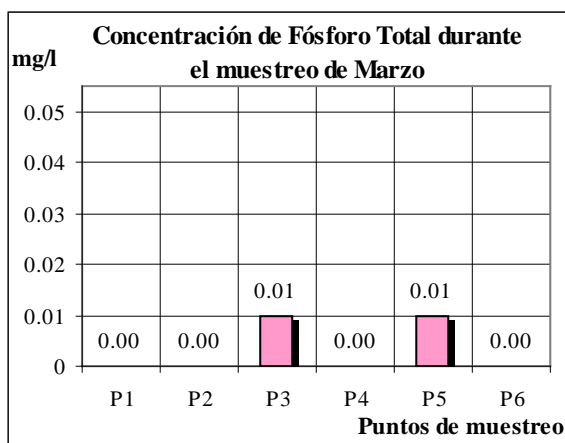
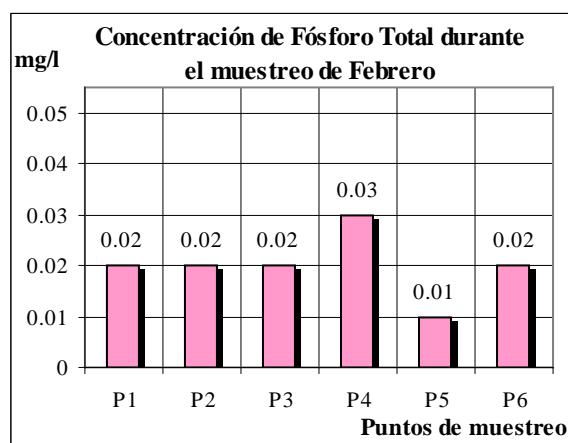
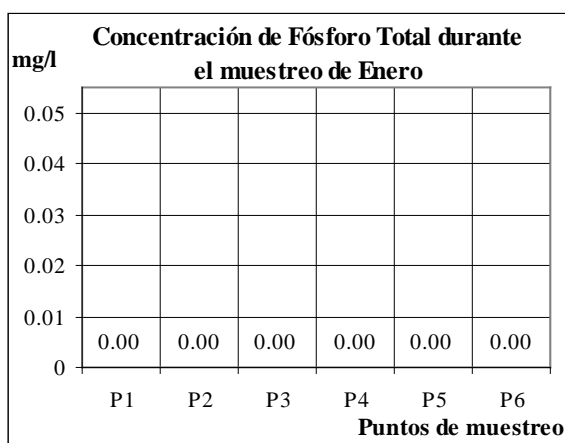
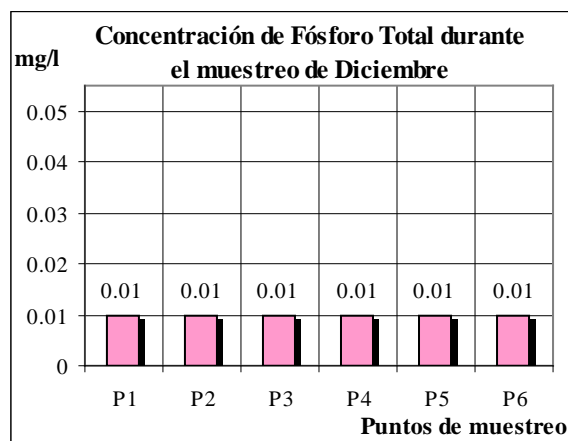
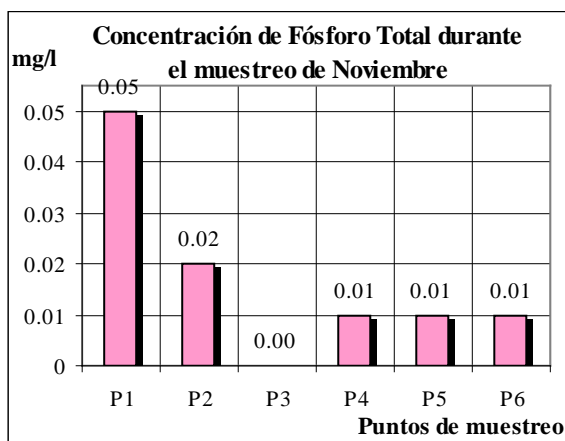
S.D.= Sin Dato.

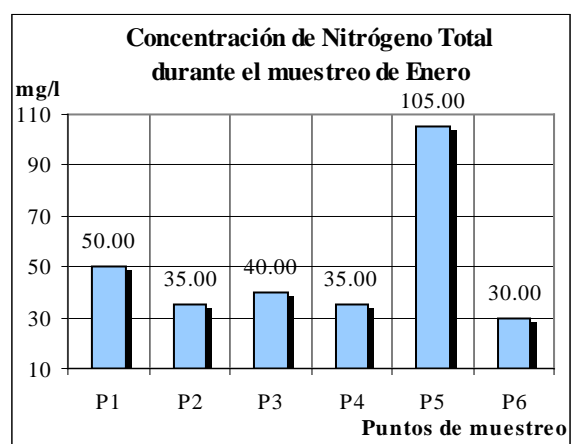
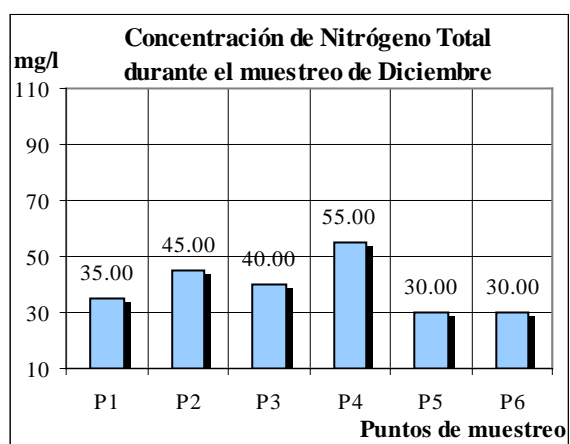
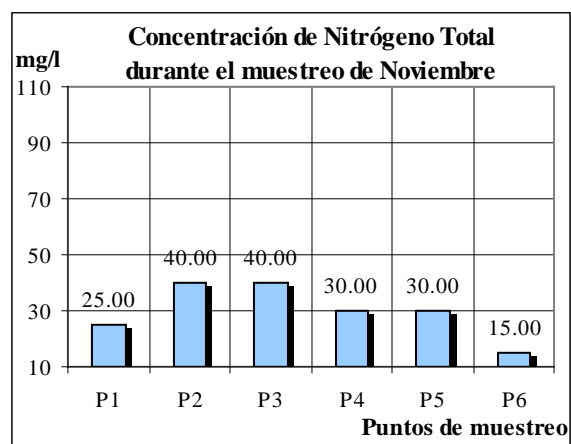
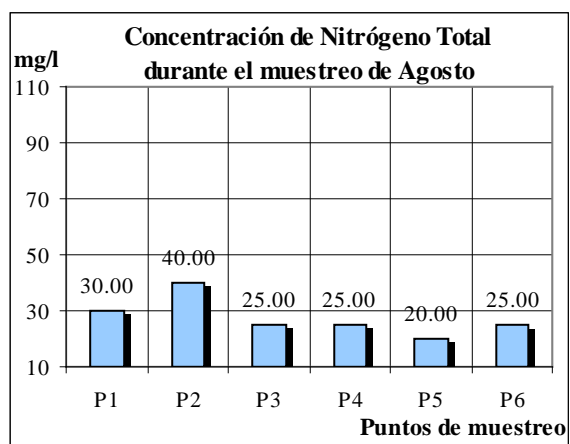
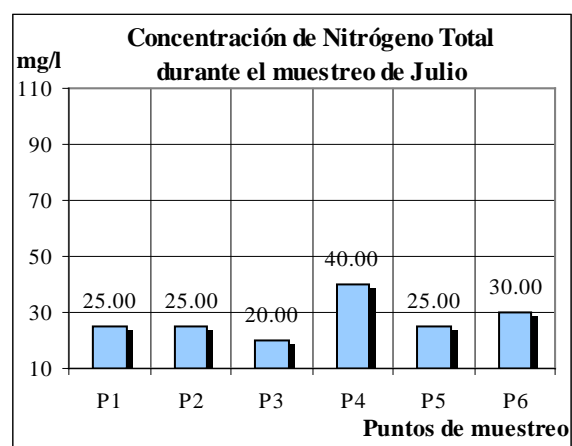
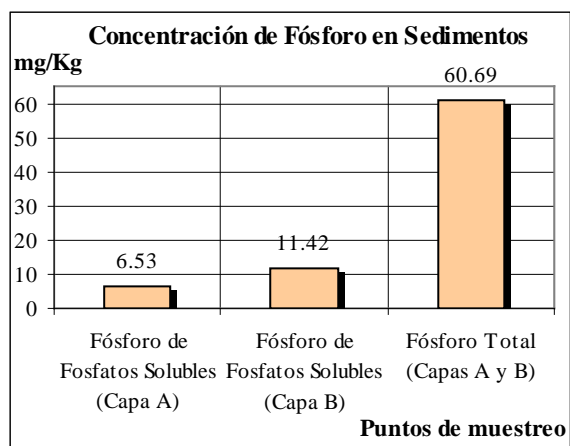


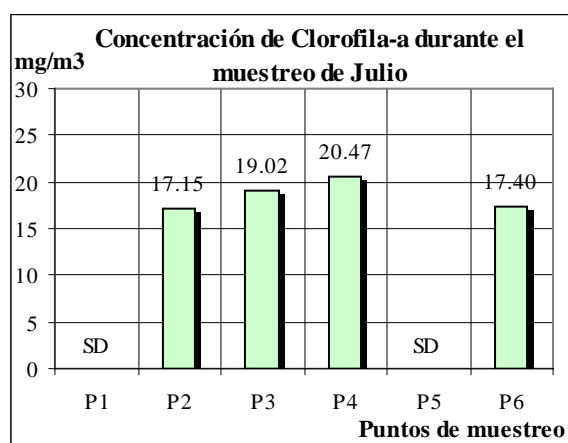
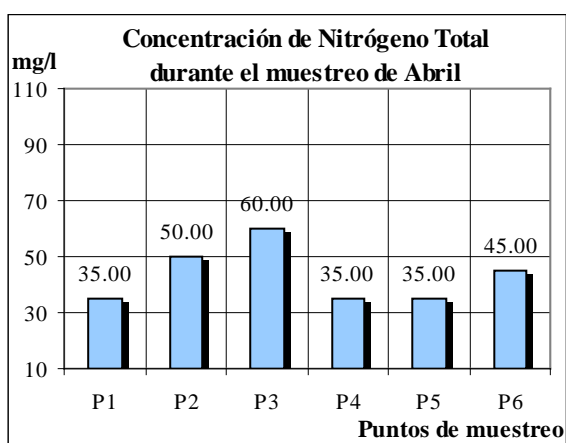
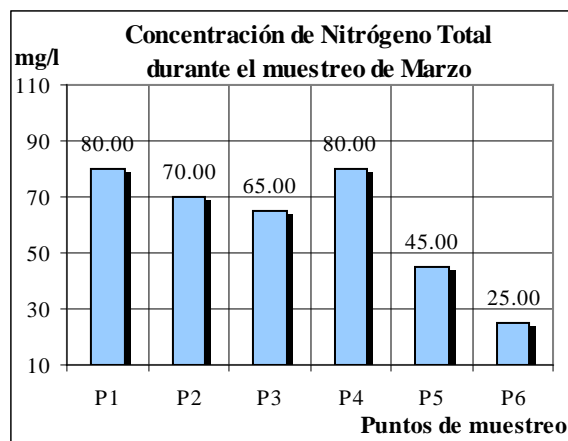
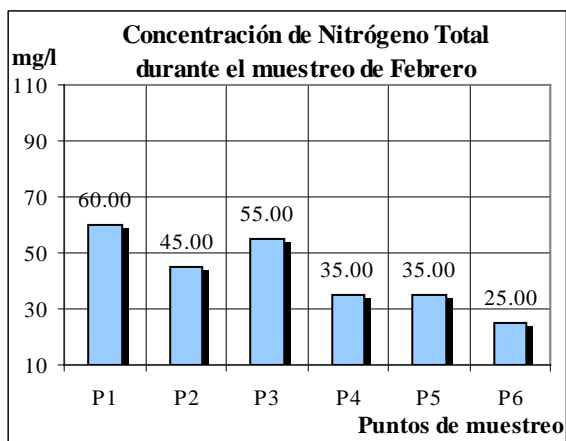
## 7.1.1.2 GRÁFICOS

### 7.1.1.2.1 LAGUNA DE LIMONCOCHA

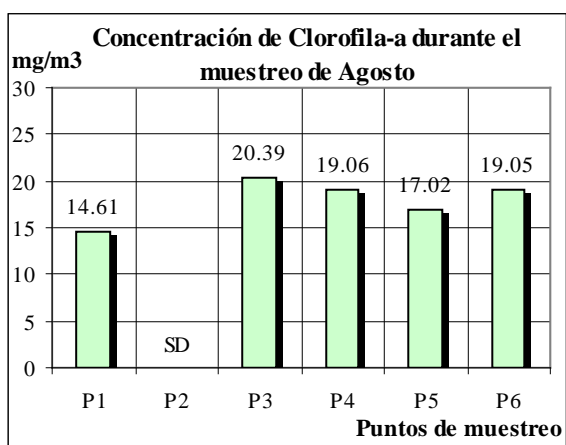
GRÁFICOS No.10



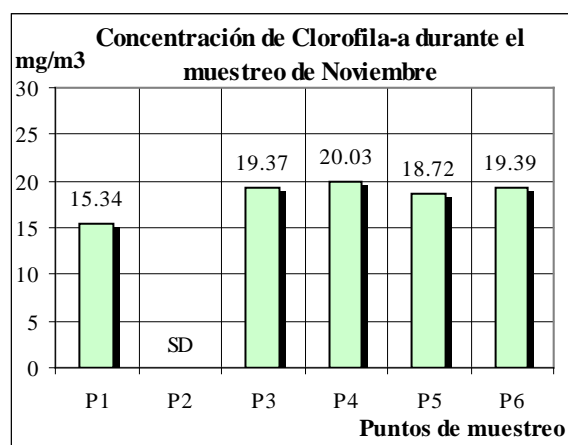




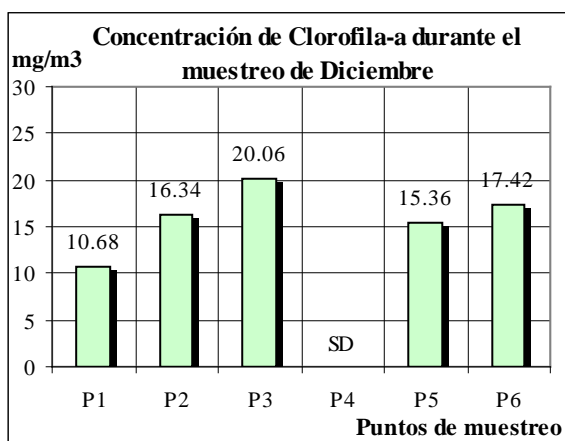
SD = Sin Dato



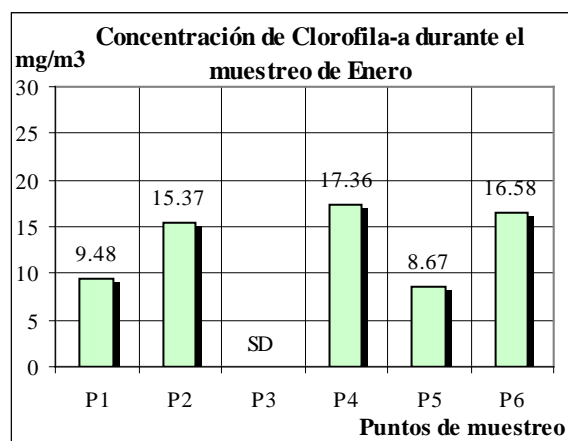
SD = Sin Dato



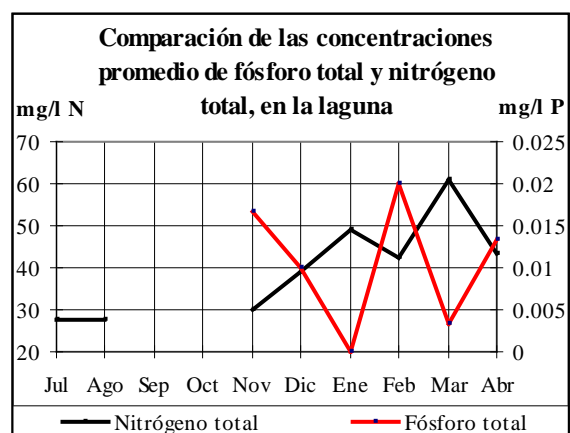
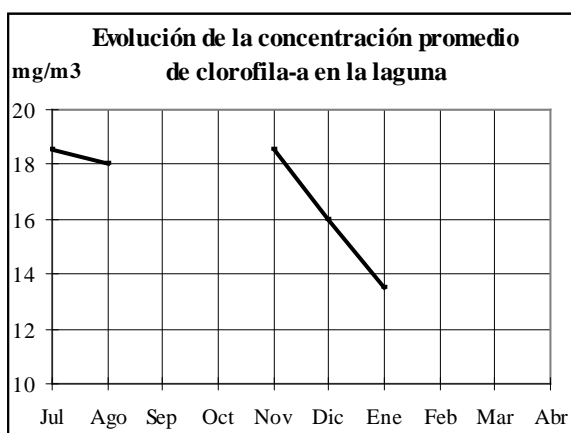
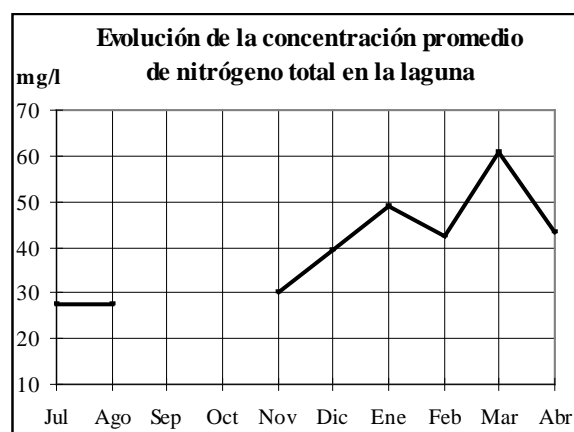
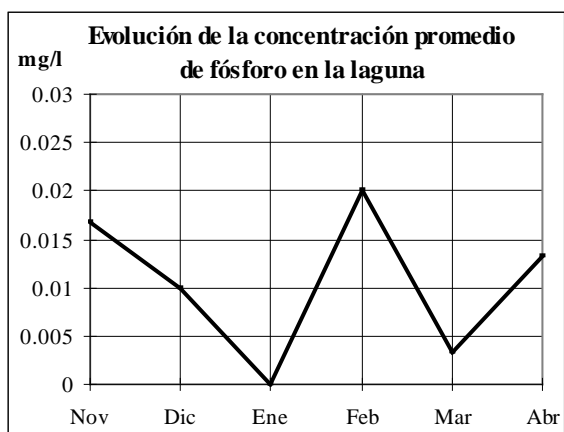
SD = Sin Dato

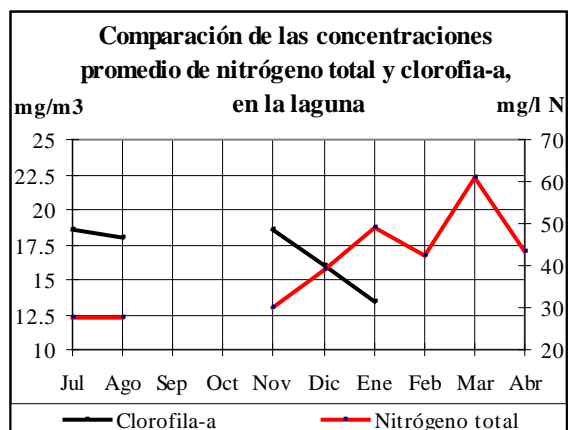
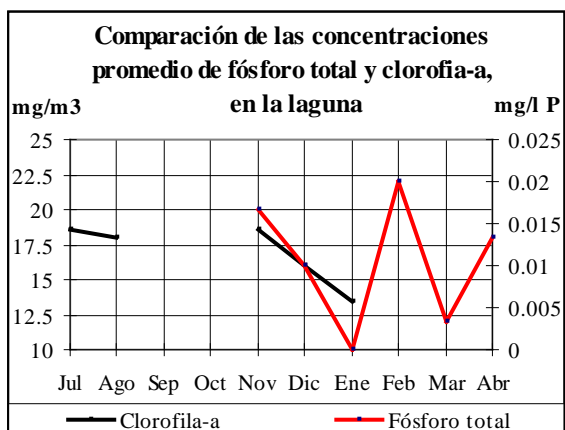


SD = Sin Dato



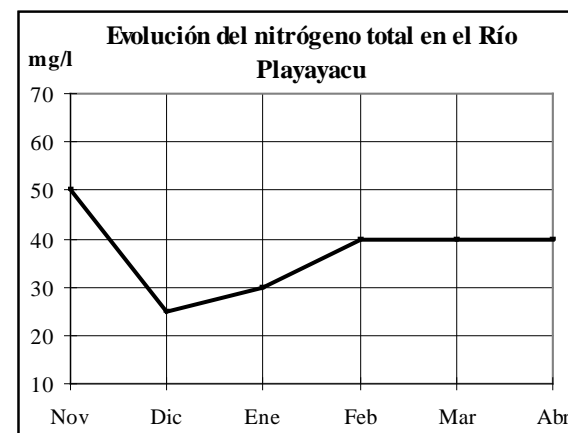
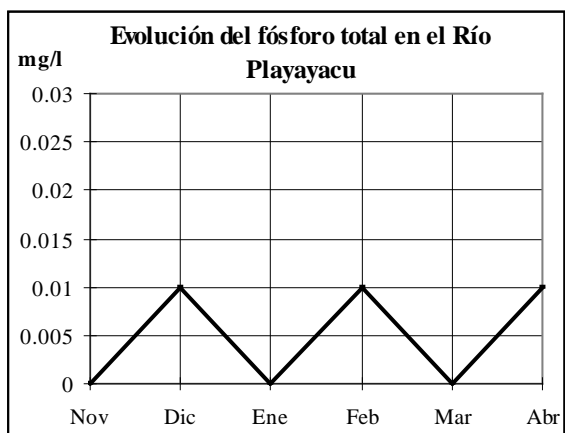
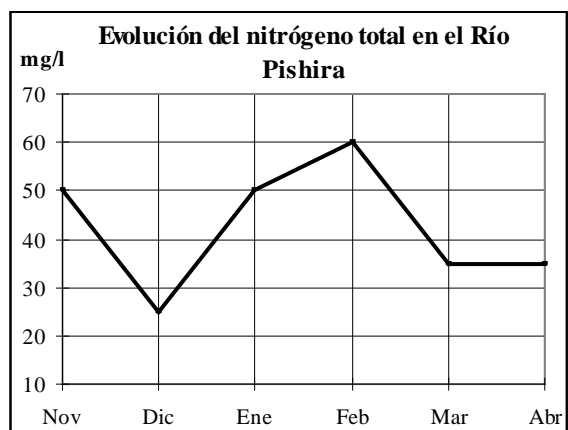
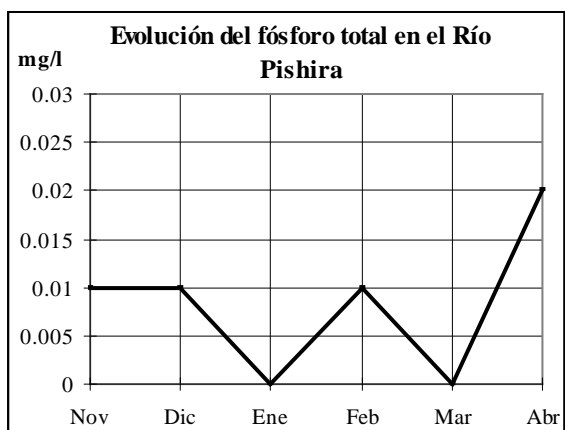
SD = Sin Dato

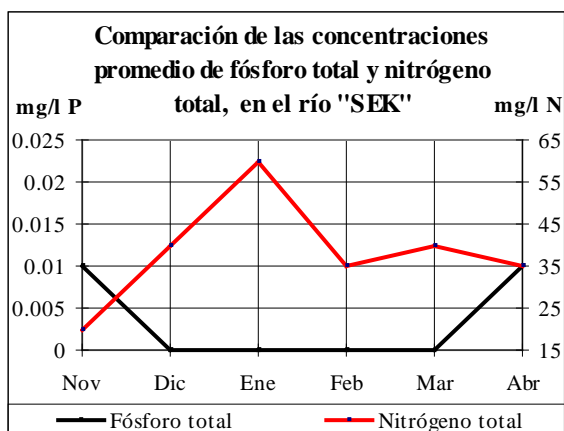
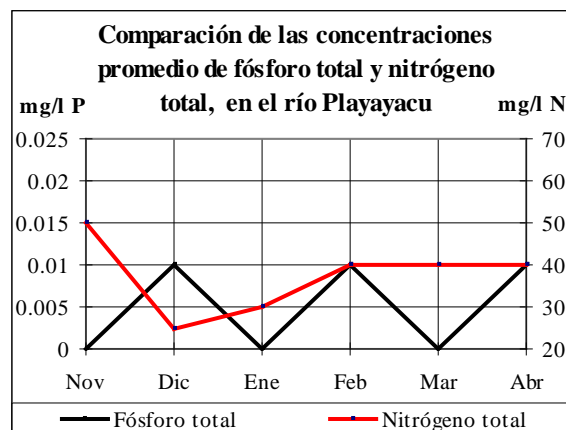
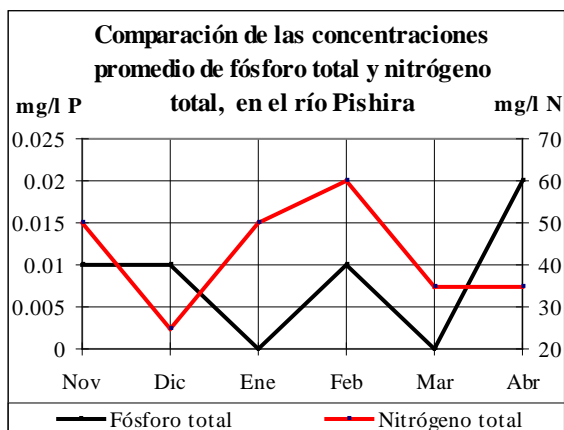
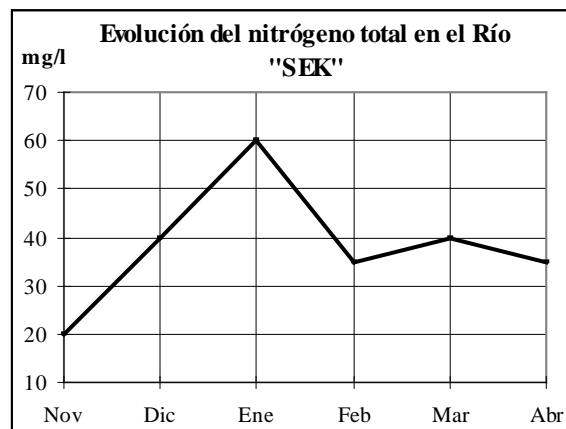
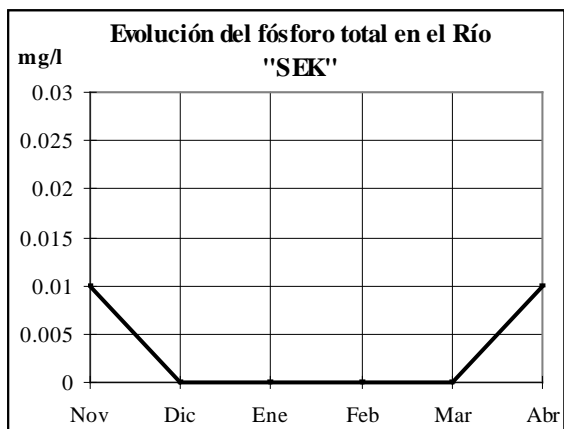




## 7.1.1.2.2 RÍOS TRIBUTARIOS

GRÁFICOS No.11



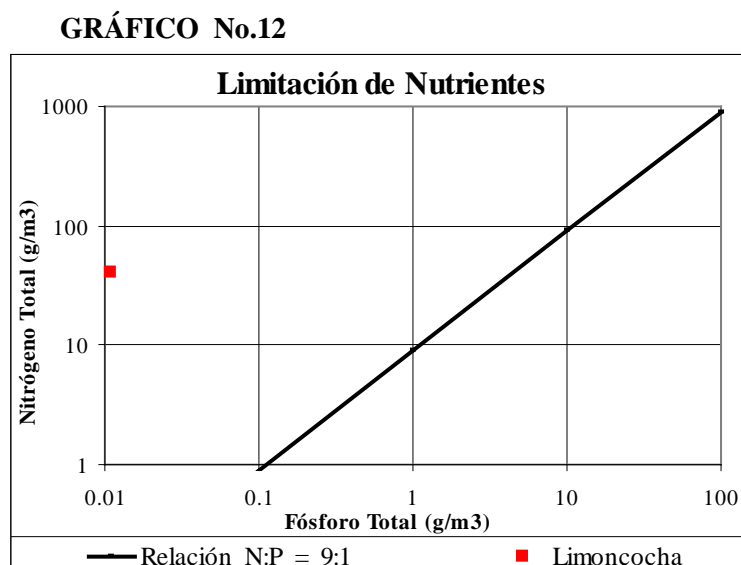


### 7.1.1.3 IDENTIFICACIÓN DEL NUTRIENTE LIMITANTE

Los resultados obtenidos durante los meses de muestreo determinaron valores promedio de 0,011 mg/l de fósforo y 40 mg/l de nitrógeno (promedios aritméticos). Así, la relación nitrógeno-fósforo para la laguna de Limoncocha es:

$$\text{Relación N:P} = \frac{40 \text{ mg/l N}}{0,011 \text{ mg/l P}} = 3636,36$$

Comparando, por otra parte, la situación de la laguna con respecto a la relación lineal N:P, obtenemos:



Nótese que aquellos lagos o lagunas que se ubican por encima de la relación lineal N:P están limitados por fósforo, mientras que aquellos que se ubican por debajo están limitados por nitrógeno.

#### 7.1.1.4 CÁLCULO DE LA CARGA SUPERFICIAL DE FÓSFORO QUE INGRESA A LA LAGUNA AL AÑO

CARGA DE FÓSFORO POR TRIBUTARIOS:

Río Pishira:

Caudal promedio = 1.076,6667 l/s

Concentración promedio de fósforo = 0,0083 mg P/l

Caudal másico = 1.076,6667 l/s x 0,0083 mg P/l = 8,9363 mg P/s =  $8,9363 \times 10^{-3}$  g P/s

Carga anual de fósforo por unidad de superficie =  $\frac{8,9363 \times 10^{-3} \text{ g P/s}}{2,7 \times 10^6 \text{ m}^2} =$

$3,3098 \times 10^{-9} \text{ gP /m}^2\text{s} \times \frac{31,536 \times 10^6 \text{ s}}{1 \text{ año}} = 0,1044 \text{ gP /m}^2 \cdot \text{año}$

Río Playayacu:

Caudal promedio = 24,8483 l/s

Concentración promedio de fósforo = 0,005 mg P/l

Caudal másico = 24,8483 l/s x 0,005 mg P/l = 0,1242 mg P/s =  $1,2424 \times 10^{-4}$  g P/s

Carga anual de fósforo por unidad de superficie =  $\frac{1,2424 \times 10^{-4} \text{ g P/s}}{2,7 \times 10^6 \text{ m}^2} =$

$4,6015 \times 10^{-11} \text{ gP /m}^2\text{s} \times \frac{31,536 \times 10^6 \text{ s}}{1 \text{ año}} = 1,4511 \times 10^{-3} \text{ gP /m}^2 \cdot \text{año}$

Río SEK:

Caudal promedio = 31,0667 l/s

Concentración promedio de fósforo = 0,0033 mg P/l

Caudal másico = 31,0667 l/s x 0,0033 mg P/l = 0,1025 mg P/s =  $1,0252 \times 10^{-4}$  g P/s

Carga anual de fósforo por unidad de superficie =  $\frac{1,0252 \times 10^{-4} \text{ g P/s}}{2,7 \times 10^6 \text{ m}^2} =$

$3,797 \times 10^{-11} \text{ gP /m}^2\text{s} \times \frac{31,536 \times 10^6 \text{ s}}{1 \text{ año}} = 1,1974 \times 10^{-3} \text{ gP /m}^2 \cdot \text{año}$

Carga anual total (tributarios) =  $0,1044 \text{ gP /m}^2\text{año} + 1,4511 \times 10^{-3} \text{ gP /m}^2\text{año} +$   
 $1,1974 \times 10^{-3} \text{ gP /m}^2\text{año} = 0,10705 \text{ gP /m}^2\text{año}$



## COEFICIENTE DE EXPORTACIÓN DE FÓSFORO TOTAL POR USO DE LA MICROCUENCA:

El mapa 4 describe el uso actual del suelo y las formaciones vegetales de la microcuenca de Limoncocha. A continuación, se determinan las distintas áreas de cada clasificación y se les asigna el coeficiente de exportación de fósforo correspondiente.

**CUADRO 17.**

<b>USO DEL SUELO Y FORMACIÓN VEGETAL</b>	<b>ÁREA (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% DEL TOTAL DEL ÁREA DE LA MICROCUENCA</b>	<b>COEFICIENTE DE EXPORTACIÓN DE FÓSFORO CORRESPONDIENTE A EL USO Y FORMACIÓN VEGETAL (gP /m<sup>2</sup>. año)</b>	<b>COEFICIENTE DE EXPORTACIÓN DE FÓSFORO CORREGIDO AL % DEL ÁREA (gP /m<sup>2</sup>. año)</b>
Bosque Húmedo Tropical de Tierras Bajas	11,113	39,45	0,01	$3,945 \times 10^{-3}$
Bosque Siempreverde de Tierras Bajas, Inundable por aguas negras	5,971	21,20	0,01	$2,12 \times 10^{-3}$
Herbazal Lacustre de Tierras Bajas de la Amazonía	3,095	10,99	0,01	$1,099 \times 10^{-3}$
Zona Intervenida (cultivos ciclo corto, permanentes y pastos)	5,557	19,73	0,05	$9,865 \times 10^{-3}$
Agua	2,433	8,64	--	--
<b>TOTAL</b>	<b>28,169</b>	<b>100,01</b>	<b>--</b>	<b><math>17,029 \times 10^{-3}</math></b>

Nota: Si bien, las tres clasificaciones de vegetación son diferentes, se les ha asignado el mismo coeficiente de exportación (0,01) puesto que ingresan en la categoría de "bosque" (Ver tabla 4). Se considera que una mayor subdivisión de las categorías expuestas en la tabla 4 podría dar lugar a significativos errores.

## CARGA SUPERFICIAL TOTAL DE FÓSFORO QUE INGRESA A LA LAGUNA AL AÑO:

Carga anual total =  $0,10705 \text{ gP/m}^2\text{año}$  +  $17,029 \times 10^{-3} \text{ gP/m}^2\text{año}$  +  $20 \times 10^{-3} \text{ gP/m}^2\text{año}$   
 (tributarios) (uso de la microcuenca) (precipitación seca y lluvia)

$$= 144,079 \times 10^{-3} \text{ gP /m}^2\text{año} = 0,1441 \text{ gP /m}^2\text{año}$$

### 7.1.1.5 PROBABILIDAD DEL NIVEL TRÓFICO DE LA LAGUNA SEGÚN LA CARGA ANUAL, SUPERFICIAL, DE FÓSFORO. (RESULTADOS DEL PROGRAMA “LACAT”)

El programa “Lagos Cálidos Tropicales” desarrollado por el CEPIS, la HPE y la OPS arrojó los siguientes resultados:

#### EUTROFICACIÓN DE LAGOS TROPICALES CEPIS – LIMA PERU

##### Datos para el cálculo:

Nombre del Lago : LIMONCOCHA  
Carga de fósforo (Lp) : 0,1441 (g/m<sup>2</sup>·año)  
Tiempo de Retención (Tw) : 0,0255 (años)  
Profundidad Promedio (z) : 1,8 (m)

##### Resultados:

Valor promedio de Fósforo en el lago = 0,002 mg/L  
% de probabilidad de Ultra Oligotrófico = 99,76 %  
% de probabilidad de Oligotrófico = 0,24 %  
% de probabilidad de Mesotrófico = 0,00 %

CONDICIONES LIMNOLÓGICAS (*)	OLIGOTRÓFICO			MESOTRÓFICO
EUTRÓFICO				
Biomasa	Bajo	Mediano		Alto
Niveles generales de producción	Bajo	Mediano		Alto
Contenido de oxígeno en el hipolimnietizo	Alto	Variable		Bajo
Fracciones de algas verde-azuladas	Bajo	Mediano		Alto
DETERIORO DEL USO MÚLTIPLE	Bajo	Variable		Alto

(\*) Vollemweider & Kerekes, 1981

Nota: información de cómo funciona el programa y la ecuación utilizada por éste se expone en el anexo 5.

Una reorganización de la ecuación utilizada por el programa LACAT determinó la siguiente relación:

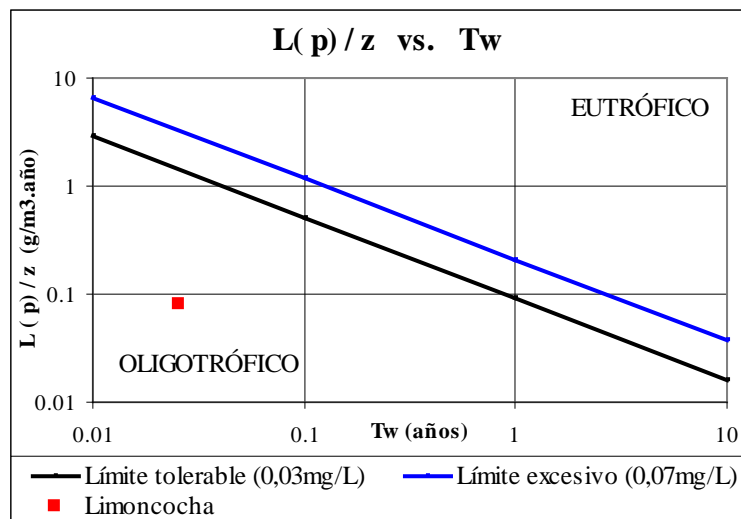
$$P\lambda = \frac{L(p)}{z} \cdot \frac{Tw^{3/4}}{3}$$

donde:

Pλ = Fósforo total en el lago (mg/L)  
L(p) = Carga de fósforo (mg/m<sup>2</sup>·año)  
z = Profundidad promedio del lago (m)  
Tw = Tiempo de retención (años)

Utilizando esta ecuación, en la relación gráfica “L(p)/z vs. Tw” diseñada por el CEPIS, la HPE y la OPS con datos de América Latina y categorías tróficas definidas cualitativamente, se obtuvo el siguiente resultado:

**GRÁFICO No.13**



#### 7.1.1.6 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON VALORES REFERENCIALES PARA LA CLASIFICACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO

El siguiente cuadro compara la concentración de fósforo total de la laguna de Limoncocha con los resultados cuantitativos de fósforo total, para cada clasificación trófica, expuestos en las “Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Tropicales” que fueron desarrolladas en el programa regional del CEPIS/HPE/OPS durante 1981 a 1990.

**CUADRO 18.**

CLASIFICACIÓN	PROMEDIO GEOMÉTRICO $P\lambda$ (mg/m <sup>3</sup> )	PROMEDIO LOGARÍTMICO $\pm$ SD <sup>1</sup>
EUTRÓFICO	118,7	2,074 $\pm$ 0,316
MESOTRÓFICO	39,6	1,598 $\pm$ 0,137
OLIGOTRÓFICO	21,3	1,328 $\pm$ 0,165
<b>LAGUNA DE LIMONCOCHA</b>	<b>14,1</b>	<b>1,149 <math>\pm</math> 0,011</b>

<sup>1</sup>SD = Desviación estándar.

Nota: para el cálculo del promedio geométrico se excluyeron aquellos datos iguales a cero.

Asimismo, el siguiente cuadro incluye los resultados cuantitativos de clorofila-a, para cada clasificación trófica, más el resultado obtenido para la laguna de Limoncocha.

**CUADRO 19.**

CLASIFICACIÓN	PROMEDIO GEOMÉTRICO Cla (mg/m <sup>3</sup> )	PROMEDIO LOGARÍTMICO ± SD <sup>1</sup>
EUTRÓFICO	17,39	1,24 ± 0,255
MESOTRÓFICO	6,67	0,824 ± 0,225
OLIGOTRÓFICO	3,56	0,552 ± 0,234
<b>LAGUNA DE LIMONCOCHA</b>	<b>16,46</b>	<b>1,216 ± 3,29</b>

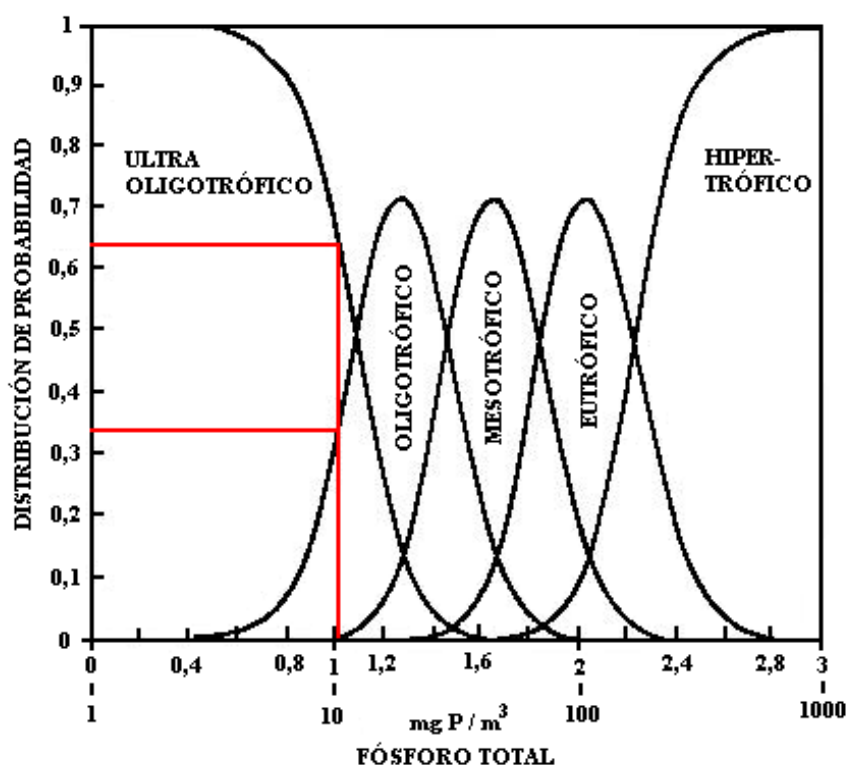
<sup>1</sup>SD = Desviación estándar.

#### 7.1.1.7 DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DEL NIVEL TRÓFICO DE LA LAGUNA, SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE FÓSFORO Y CLOROFILA-A

Las siguientes gráficas, establecidas en las “Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Tropicales”, arrojaron los siguientes resultados:

**GRÁFICO No.14**

**DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE NIVEL TRÓFICO DE LAGOS TROPICALES BASADO EN FÓSFORO TOTAL**  
(Adoptada de Vollenweider & Kerekes (1981) con datos de Lagos Cálidos Tropicales)



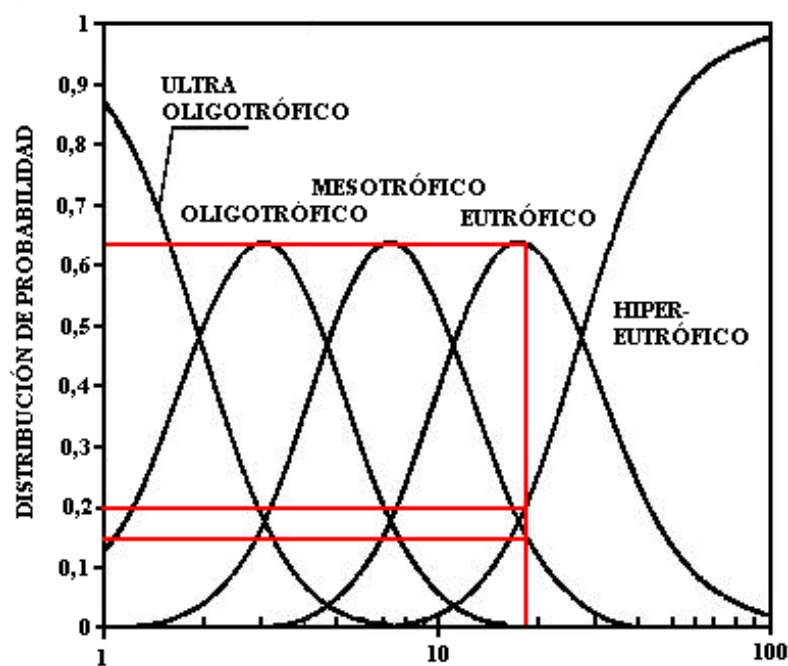
Nota: se utilizó el promedio aritmético de las concentraciones de fósforo total, obtenidas durante los muestreos.

**RESULTADO:**

Probabilidad de Ultraoligotrófico = 63,5 %  
Probabilidad de Oligotrófico = 33,5 %

## GRÁFICO No.15

### DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE NIVEL TRÓFICO DE LAGOS TROPICALES BASADO EN CLOROFILA “a” (Adoptada de Vollenweider & Kerekes (1981) con datos de Lagos Cálidos Tropicales)



Nota: se utilizó el promedio aritmético de clorofila -a.

#### RESULTADO:

Probabilidad de Hipereutrófico	=	20,0 %
Probabilidad de Eutrófico	=	63,5 %
Probabilidad de Mesotrófico	=	15,0 %

#### 7.1.1.8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS INDICADORES DE LA “OCDE”

En el siguiente cuadro se comparan los promedios aritméticos de parámetros referentes a la laguna de Limoncocha con los indicadores para cada estado trófico establecidos por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE):

**CUADRO 20.**

<b>CATEGORÍA TRÓFICA</b>	<b>FÓSFORO TOTAL µg/L (media anual)</b>	<b>CLOROFILA µg/L (media anual)</b>	<b>PROFUNDIDAD DISCO DE SECCHI m (media anual)</b>
ULTRAOLIGOTRÓFICO	< 4	< 1	> 12
OLIGOTRÓFICO	< 10	< 2,5	> 6
MESOTRÓFICO	10 – 35	2,5 – 8	6 – 3
EUTRÓFICO	35 – 100	8 – 25	3 – 1,5
HIPEREUTRÓFICO	> 100	> 25	< 1,5
<b>LAGUNA DE LIMONCOCHA</b>	<b>10,56</b>	<b>16,85</b>	<b>0,5</b>

Nota: Debido a la falta de información necesaria, no se pudo utilizar los valores medios anuales; en su defecto, se utilizó los promedios aritméticos obtenidos durante los meses de muestreo (fósforo y clorofila), y el valor referencial de 0,5 m (D. de Secchi) establecido por Andrade, 2001; Espinosa, 2001 y Ayala, 2003.

#### **7.1.1.9 CLASIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL SEDIMENTO**

Kelly M., Hite R. y Rogers K, en su estudio "Lake and Reservoir Management", donde se analizó el sedimento superficial de 63 lagos de Illinois, establecieron la clasificación que se expone en el siguiente cuadro. A continuación, se compara dichos valores con el resultado del análisis del sedimento de la laguna de Limoncocha:

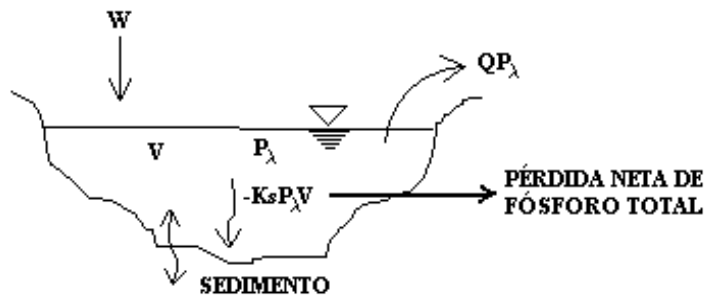
**CUADRO 21.**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>FÓSFORO TOTAL (mg/g sedimento Peso Seco)</b>
CONTENIDO BAJO	< 0,22
CONTENIDO MEDIO	0,22 – 1,17
CONTENIDO ELEVADO	1,17 – 1,65
CONTENIDO MUY ELEVADO	> 1,65
<b>LAGUNA DE LIMONCOCHA</b>	<b>0,061</b>

### 7.1.1.10 APROXIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN, DE LA PÉRDIDA NETA DE FÓSFORO TOTAL Y DE LA CARGA DE FÓSFORO QUE SALE DE LA LAGUNA

De acuerdo al esquema de balance de masa para fósforo, en un lago completamente mezclado, establecido en las “Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Tropicales”

**GRÁFICO No.16**



$V$  = Volumen del lago ( $m^3$ )  
 $P\lambda$  = Fósforo total en el lago ( $g/m^3$ )  
 $Q$  = Flujo de salida ( $m^3/año$ )  
 $W$  = Fuentes externas de fósforo ( $g/año$ )  
 $Ks$  = Pérdida global de fósforo Total ( $año^{-1}$ )  
 $Z$  = Profundidad media (m)  
 $L(p)$  = Carga de fósforo ( $g/m^2/año$ )  
 $Tw$  = Tiempo de retención (año)  
 $\rho$  = Constante  
 $vs$  = Velocidad de sedimentación ( $m/año$ )

y a las ecuaciones

$$P\lambda = \frac{L(p)}{Z(\rho + Ks)}, \quad \rho = Q/V = 1/Tw, \quad Ks = vs/Z$$

se realizó los siguiente cálculos:

$$\rho = 1/Tw = 1/0,0255 \text{ años} = 39,2157 \text{ años}^{-1}$$

$$Ks = \frac{L(p)}{Z \cdot P\lambda} - \rho = \frac{0,1441 \text{ g/m}^2\text{año}}{1,8m (0,01056 \text{ g/m}^3)} - 39,2157 \text{ años}^{-1} = -31,6347 \text{ años}^{-1}$$

$$vs = Ks \cdot Z = -31,6347 \text{ años}^{-1} (1,8m) = -56,9424 \text{ m/año}$$

y finalmente,

$$-Ks \cdot P\lambda \cdot V = -(-31,6347 \text{ años}^{-1}) (0,01056 \text{ g/m}^3) (4,309354 \times 10^6 \text{ m}^3) = 1,4396 \times 10^6 \text{ g/año}$$

$$QP\lambda = 61,66 \text{ m}^3/s (0,01056 \text{ g/m}^3) = 0,65113 \text{ g P/s} = 20,534 \times 10^6 \text{ g/año}$$

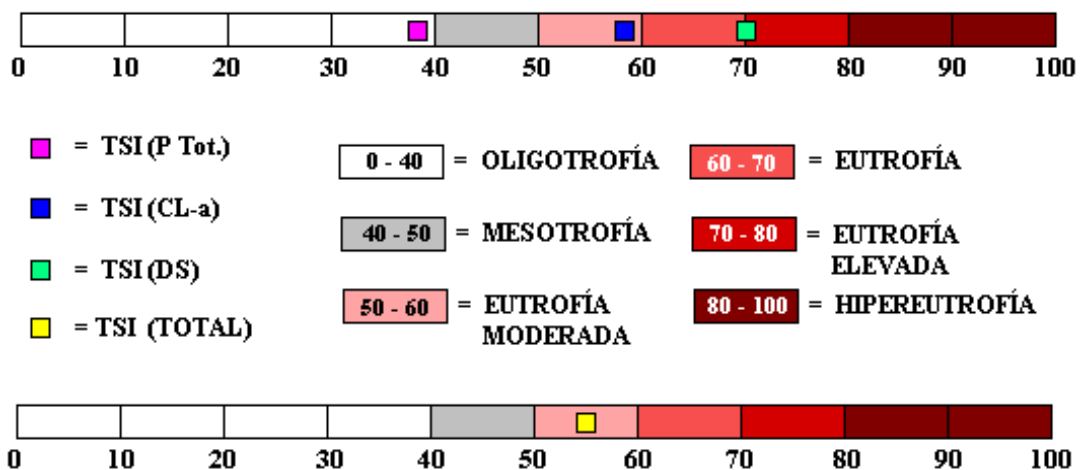
### 7.1.1.11 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON

El índice de estado trófico de Carlson (TSI), el cual se estima a partir de las concentraciones de fósforo total, clorofila-a y profundidad de Disco de Secchi, arrojó los siguientes resultados:

**CUADRO 22.**

PARÁMETROS	FUNCIONES DEL ESTADO TRÓFICO POR PARÁMETROS	VALOR DE LOS PARÁMETROS	VALOR TSI
D. Secchi (m)	$TSI(DS) = 60 - (14,41 \cdot \ln DS)$	0,5	70
Clorofila ( $\mu g/L$ )	$TSI(Cla) = (9,81 \cdot \ln Cla.) + 30,6$	16,85	58
P. Total ( $\mu g/L$ )	$TSI(P\ tot) = (14,42 \cdot \ln P.\ tot) + 4,15$	10,56	38
--	$Media\ TSI = (TSI(DS) + TSI(Cla) + TSI(Ptot))/3$	--	<b>55</b>

**GRÁFICO No.17**





## 7.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### GRÁFICOS DE RESULTADOS (Gráficos No.10 y 11)

Los gráficos de la concentración de fósforo (Gráficos No.10), en los diferentes puntos de muestreo y durante los meses comprendidos en este estudio, hacen evidente la baja concentración de este elemento en la laguna (concentración considerada comúnmente como característica de cuerpos de agua oligotróficos; aunque ligeramente más alta que la típica de lagos tropicales), variando entre un rango de 20 a menos de 10 ppb y con un promedio aritmético global de 0,01056 mg/l. Las menores concentraciones de fósforo toman lugar en los meses de enero y marzo, donde éstas caen por debajo del límite de detección del equipo utilizado para su análisis, obteniéndose así una lectura de 0,00 ppm. Las mayores concentraciones ocurren en los meses de febrero y abril, con un valor máximo en el mes de noviembre, punto de muestreo P1. Es importante resaltar que la muestra tomada en este punto se realizó en la mañana del día 17 (mientras que las otras cinco se tomaron el 16) luego de una fuerte precipitación la noche anterior, lo cual podría estar relacionado a esta alta concentración. Así, la lluvia pudo haber arrastrado nutrientes desde la orilla o resuspendido el sedimento de ese punto. Tómese en cuenta que el punto de muestreo P1 se encuentra a lado del muelle de la estación científica, muy cerca de la orilla y con una muy baja profundidad. Nótese que enero, el mes con menor concentración de fósforo, es uno de los meses con menor precipitación, lo cual implica una mínima escorrentía superficial y arrastre de nutrientes a la laguna.

Como es normal, la concentración de fósforo en sedimentos supera a aquella presente en la columna de agua. Sin embargo, nótese que la diferencia entre estas concentraciones es bastante amplia, lo cual podría ser un indicativo de la gran capacidad de los sedimentos de capturar y retener al fósforo. Además, podría sugerir:

- a) la inexistencia de condiciones anóxicas en el fondo de la laguna; puesto que, bajo tales condiciones, el fósforo de los sedimentos es generalmente liberado en gran medida hacia la columna de agua. (Otro indicativo de la inexistencia de tales condiciones consiste en que el sedimento extraído del fondo no expedía los olores característicos de la descomposición anaerobia); y/o
- b) que el aporte de concentraciones significativas de fosfatos solubles, que ingresan a la columna de agua por la resuspensión de sedimentos generada por la acción de fuertes lluvias o vientos, u otros fenómenos, se ve mermada por la velocidad de sedimentación o la descarga de salida. (Ver “Aproximación de la Velocidad de Sedimentación, de la Pérdida Neta de Fósforo Total y de la Carga de Fósforo que sale de la Laguna”).

Los gráficos de la concentración de nitrógeno total demuestran la abundancia de este elemento en la laguna. Esta concentración varía entre los 60 y 20 ppm. y tiene un promedio aritmético global de 40 mg/l. Los mayores valores de nitrógeno total se observan durante el mes de marzo. La máxima concentración registrada toma lugar en el punto de muestreo P5, en enero. Los valores más bajos se sitúan en los meses de julio y agosto. Esta gran abundancia de nitrógeno podría deberse a la alta presencia de cianofitas, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico, además de otras fuentes significativas como el amoníaco liberado por los peces, etc. Es interesante señalar que estas microfitas no se consideran buenas fuentes de alimento para la fauna acuática y que además contribuyen significativamente al color y a la turbidez del agua de la laguna.

En cuanto a la clorofila-a, lamentablemente no se pudo obtener datos en los meses de febrero a abril, debido a un daño en el equipo utilizado para su análisis. Sin embargo, a pesar de la poca cantidad de datos, se pueden realizar ciertas observaciones: La clorofila-a mantiene concentraciones elevadas (consideradas como características de cuerpos eutroficados), con un promedio aritmético global de 16,85 mg/m<sup>3</sup>. Las menores concentraciones toman lugar en los meses de diciembre y enero, haciendo evidente además una paulatina disminución durante los meses muestreados. Cabe señalar, aquí, que las cianofitas también son responsables de la presencia de éste pigmento.

Los gráficos de comparación de las concentraciones promedio, de fósforo total y nitrógeno total, parecen evidenciar una relación inversa entre estos dos parámetros, donde el aumento de la concentración de uno se ve contrapuesto por la disminución del otro. Los gráficos de comparación de las concentraciones de fósforo total y clorofila-a, y de las concentraciones de nitrógeno total y clorofila-a son bastante interesantes. Nótese que el decrecimiento de la clorofila-a, durante los meses de noviembre a enero, coincide con el decrecimiento del fósforo, al mismo tiempo que se contrapone a la tendencia creciente del nitrógeno. Este fenómeno podría entenderse como evidencia de la fuerte relación entre el fitoplancton y el fósforo, a la vez que nos da indicios de cuál nutriente es el factor limitante del sistema.

Los gráficos de concentración de fósforo y nitrógeno en los ríos tributarios (Gráficos No.11), determinan igualmente una abundancia de nitrógeno y concentraciones bajas de fósforo, típicas de ríos tropicales amazónicos. La relación inversa entre estos dos nutrientes no es tan evidente como en la laguna; se destacan mejor relaciones entre el fósforo y los detergentes (ver Gráficos No.22, 24 y 26).

## IDENTIFICACIÓN DEL NUTRIENTE LIMITANTE

La relación nitrógeno total a fósforo total 9:1 de Vollenweider, método comúnmente aplicado para identificar el nutriente limitante, establece que aquellos lagos con relaciones de nitrógeno-fósforo superiores a 9 están limitados por fósforo, mientras que aquellos con relaciones inferiores a 9 están limitados por nitrógeno. La relación nitrógeno total - fósforo total, de la laguna de Limoncocha, dio como resultado un sorprendente valor de 3.636,36 evidentemente debido a la abundancia de nitrógeno en sus aguas. Este valor numérico señala al fósforo como el nutriente limitante. El gráfico No.12 corrobora lo señalado por el cálculo.

## CÁLCULO DE LA CARGA SUPERFICIAL DE FÓSFORO QUE INGRESA A LA LAGUNA AL AÑO

El cálculo de la carga de fósforo por tributarios demostró que el río que aporta mayor carga de fósforo al año es el Pishira, en parte debido a su gran caudal y a que, de los ríos analizados, es el que presenta la mayor concentración promedio de fósforo. Le siguen los ríos Playayacu y "SEK", en ese orden, con pequeñas cargas de fósforo. Éstas se deben a las bajas concentraciones promedio de fósforo encontradas en sus aguas y a su bajo caudal, el cual ayuda a la sedimentación del fósforo. Téngase en cuenta que los análisis de alcalinidad y dureza en estos tres ríos dieron resultados similares, ligeramente más altos para el río Playayacu (Ver subcapítulo "Calidad de agua del sistema hídrico"). Nótese también, que el río con menor caudal es el Playayacu, lo que indicaría que la baja concentración de fósforo en este río estaría asociada a una mayor sedimentación del mismo. Igual cosa sucedería en el río "SEK", donde además influiría el hecho de que se encuentre rodeado de zonas pantanosas, las cuales filtran y separan los nutrientes de las aguas que llegan a él.

El cálculo de la carga de fósforo por uso de la microcuenca demostró que el mayor aporte provendría de las zonas intervenidas, lo cual es de esperarse.

Visto globalmente, el cálculo de la carga superficial de fósforo que ingresa a la laguna determinó la siguiente proporción:

**CUADRO 23.**

FUENTE	Kg/día	% del total
FUENTES PUNTUALES (Ríos tributarios)	0,792	72,30
FUENTES NO PUNTUALES (uso del suelo, lluvia y precipitación seca)	0,274	25,70
TOTAL	1,066	100

Demostrando que el mayor aporte se debe a los ríos tributarios.

Aquí, es importante señalar que no se pudo incluir en este análisis al río Amarunyacu (ver mapa No. 2); aunque, debido a que éste se encuentra en una región pantanosa, no se esperaría encontrar gran cantidad de fósforo en él.

### **PROBABILIDAD DEL NIVEL TRÓFICO DE LA LAGUNA SEGÚN LA CARGA ANUAL, SUPERFICIAL, DE FÓSFORO (RESULTADOS DEL PROGRAMA “LACAT”)**

El programa LACAT calcula la probabilidad del nivel trófico conjugando el tiempo de retención y la profundidad promedio de la laguna con la carga anual, superficial, de fósforo. Es de esperarse que la baja carga de fósforo y el poco tiempo de retención determinen una pequeña concentración de fósforo en la laguna y por tanto, según las concentraciones base para cada estado trófico de este programa, la laguna sea clasificada como Ultra Oligotrófica.

Si bien la concentración de fósforo en la laguna es baja, nótese que el valor promedio de fósforo total en la laguna, calculado por este programa, (0,002 mg/l) es inferior al promedio aritmético de las concentraciones obtenidas tras los análisis ( $\approx 0,011$  mg/l). Esta diferencia podría sugerir dos cosas: a) que la carga de fósforo del río Amarunyacu (ver mapa No. 2), la resuspensión de fósforo sedimentado y/o el aporte directo de fósforo de la orilla oeste, (especialmente de las vertientes V1, V2, V3, ver mapa No.3), donde se ha observado el uso de detergentes y jabones, serían los causantes de aquellos 0,009 mg/l faltantes, o b) que el programa no se ajusta debidamente al comportamiento de la laguna. En este sentido, es relevante anotar que la concentración de nitrógeno total en la laguna rebasa ampliamente a aquella usada en el desarrollo de este modelo (anexo No.5), la cual podría entenderse como uno de los límites o rangos en los que trabaja el programa.

El gráfico No.13 corrobora el resultado del programa.

### **COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON VALORES REFERENCIALES PARA LA CLASIFICACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO**

La comparación de los promedios, geométrico y logarítmico, de los datos obtenidos de fósforo total con los promedios referenciales para cada estado trófico, corrobora lo establecido por el programa LACAT; cayendo la concentración de fósforo en la laguna por debajo de aquella considerada típica de un lago o laguna clasificada como Oligotrófica.

La comparación de los promedios geométrico y logarítmico de los datos de clorofila-a, da, por otro lado, un resultado contrapuesto. Los promedios de la laguna se sitúan muy de cerca de aquellos considerados característicos de cuerpos de agua en estado Eutrófico.

Nótese que la desviación estándar obtenida para los valores de clorofila-a, es alta.

## **DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DEL NIVEL TRÓFICO DE LA LAGUNA, SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE FÓSFORO Y CLOROFILA-A**

Los resultados obtenidos por medio de la determinación de la probabilidad del nivel trófico de la laguna, utilizando los promedios aritméticos de las concentraciones obtenidas durante los muestreos, repiten, en mayor o menor medida, los resultados obtenidos por la comparación anterior con los promedios geométricos. Así, la concentración de fósforo total otorga a la laguna el estado de Ultra Oligotrófica, con menor probabilidad de Oligotrófica (Gráfico No.14); mientras que la concentración de clorofila-a califica a la laguna como un cuerpo Eutrófico, con bajas probabilidades de Hipereutrófico y Mesotrófico (Gráfico No.15).

Es importante señalar que, si bien estas metodologías desarrolladas por el CEPIS/HPE/OPS, con información de lagos y embalses de países tropicales, son quizá lo más aproximado que tenemos a modelos que se ajusten a nuestra limnología neotropical, para el desarrollo de las mismas no se analizó a lagos amazónicos de latitudes ecuatoriales, sino más bien a lagos costeros. En el Ecuador se tomó información del embalse “Poza Honda”, ubicado en la costa, región donde las condiciones naturales y el entorno difieren bastante de las condiciones amazónicas.

## **COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS INDICADORES DE LA “OCDE”**

La comparación de los promedios aritméticos con los indicadores de la OCDE sugieren que la laguna se encuentra entre la mesotrofia (fósforo total) y la eutrofia (clorofila-a).

La característica de Hipereutrófico, determinada por la profundidad Secchi, es bastante criticable. Recordemos que la laguna tiene una profundidad máxima de 2,5 m. , por lo que jamás podría cumplir con los valores indicativos de estados Ultra Oligotróficos, Oligotróficos y Mesotróficos. Esto sugiere estos indicadores basados en la profundidad del disco Secchi son aplicables, únicamente, en lagos o embalses profundos.

## **CLASIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL SEDIMENTO**

Basándonos en la clasificación de Kelly M., et al., el sedimento de la laguna de Limoncocha tendría un contenido bajo de fósforo total. Si bien esta clasificación no es totalmente aplicable, puesto que fue realizada tras estudios de lagos en zonas templadas, sí puede utilizarse como referencia. Este bajo contenido de fósforo en el sedimento responde al bajo contenido de fósforo en las aguas de la laguna y a la baja carga de fósforo que recibe la laguna.

Es importante anotar que solo se ha tomado una muestra de sedimentos y únicamente en un sector de la laguna, por lo que, para poder llegar a conclusiones más exactas, se debería analizar una mayor cantidad de muestras y en varios sectores de la laguna.

### **APROXIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN, DE LA PÉRDIDA NETA DE FÓSFORO TOTAL Y DE LA CARGA DE FÓSFORO QUE SALE DE LA LAGUNA**

Los cálculos realizados determinaron:

- una velocidad de sedimentación igual a 56,9 m/año (0,16 m/día ó 0,6 cm/s),
- una pérdida neta de fósforo total (por sedimentación) igual a  $1,44 \times 10^6$  g P/año (3,9 Kg P/día), y
- una alta carga de salida igual a  $20,534 \times 10^6$  g P/año (56,3 Kg P/día).

Si sumamos la pérdida neta de fósforo con la carga de fósforo que abandona la laguna tenemos  $22 \times 10^6$  g P/año (60,2 Kg P/día). Si comparamos este valor con la cantidad de fósforo que ingresa a la laguna, la cual es igual a:

Carga que ingresa x Área de la laguna =  $0,1441 \text{ g/m}^2\text{año} (2,7 \times 10^6 \text{ m}^2) = 0,39 \times 10^6 \text{ g P/año}$  (1,1 Kg P/día)

Vemos que existe una amplia diferencia y una incongruencia. Esto podría significar que: a) la carga de fósforo que ingresa a la laguna es mayor a la calculada (por aporte del río Amarunyacu y por la utilización de jabones en las vertientes de la orilla oeste) y que la liberación de fósforo de los sedimentos juega también un papel significativo en este balance, y b) que ciertos valores adjudicados a las variables de este balance son susceptibles a correcciones.

### **CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON**

El índice de estado trófico de Carlson (Gráfico No.17) sugiere que la laguna se encuentra en una Eutrofia Moderada. Los índices individuales, por otro lado, son muy similares a los obtenidos por los métodos anteriores, así:

- El índice de fósforo total ubica a la laguna en la Oligotrofia,
- El índice de clorofila-a ubica a la laguna en la Eutrofia Moderada, y
- El índice de la profundidad Secchi ubica a la laguna entre la Eutrofia y la Eutrofia Elevada.

Nótese que el mayor grado de eutroficación está dado por la baja profundidad de visión del disco de Secchi, la cual, multiplicada por 2,7 (constante de Pool y Atkins), determina una zona fótica de 1,35 m. Esta baja transparencia se ve determinada por la turbidez del agua de la

laguna de Limoncocha, la cual se debe en gran parte a las concentraciones de sólidos suspendidos que se originan por la resuspensión de sedimentos de fondo. Así, puede pensarse que una importante causa de la eutroficación de la laguna es la resuspensión de sedimentos. Lo anteriormente dicho implicaría un tipo de eutroficación natural (aún cuando se trata de un cuerpo de agua geológicamente joven) debida a la baja profundidad de la laguna y a la acción de fuertes lluvias y vientos. Otro factor que interviene en la transparencia de las aguas es la alta presencia de fitoplancton, el cual es el principal responsable del color de la laguna. En este sentido, recordemos que el nombre “Limoncocha” significa “laguna verde”, lo cual sugiere que esta coloración y turbidez han sido características de antaño de este cuerpo de agua y que no se deben a una influencia reciente.

Cabe señalar, finalmente, que la aplicabilidad de este modelo también es debatible, puesto que fue diseñado en países templados.

### 7.1.3 SUMARIO DEL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS SOBRE VALORACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO

Un resumen de los resultados obtenidos con las distintas metodologías utilizadas en este estudio, para evaluar el estado trófico de la laguna de Limoncocha, se presenta en el siguiente cuadro:

**CUADRO 24.**

<b>METODOLOGÍA UTILIZADA</b>	<b>PARÁMETRO CONSIDERADO EN LA METODOLOGÍA</b>	<b>ESTADO TRÓFICO SUGERIDO</b>
PROBABILIDAD DEL NIVEL TRÓFICO SEGÚN LA CARGA ANUAL, SUPERFICIAL, DE FÓSFORO. (LACAT)	FÓSFORO TOTAL (carga anual, superficial, calculada)	Ultra Oligotrófico
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON VALORES REFERENCIALES PARA LA CLASIFICACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO.	FÓSFORO TOTAL (promedios, logarítmico y geométrico, de las concentraciones medidas en la laguna)	Oligotrófico
	CLOROFILA –A (promedios, logarítmico y geométrico, de las concentraciones medidas en la laguna)	Mesotrófico - Eutrófico
PROBABILIDAD DEL NIVEL TRÓFICO SEGÚN CURVAS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD.	FÓSFORO TOTAL (promedio aritmético de las concentraciones medidas en la laguna)	Ultra Oligotrófico – Oligotrófico
	CLOROFILA –A (promedio aritmético de las concentraciones medidas en la laguna)	Eutrófico
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS INDICADORES DE LA “OCDE”	FÓSFORO TOTAL (promedio aritmético de las concentraciones medidas en la laguna)	Mesotrófico
	CLOROFILA –A (promedio aritmético de las concentraciones medidas en la laguna)	Eutrófico
ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON	FÓSFORO TOTAL (promedio aritmético de las concentraciones medidas en la laguna)	Oligotrófico
	CLOROFILA –A (promedio aritmético de las concentraciones medidas en la laguna)	Eutrófico Moderado
	PROFUNDIDAD D. SECCHI (promedio aritmético de mediciones realizadas en estudios anteriores)	Eutrófico – Eutrófico Elevado
	FÓSFORO TOTAL, CLOROFILA –A y PROFUNDIDAD SECCHI	Eutrófico Moderado

La gran variedad de resultados determina la cautela con la que se debe asignar un estado trófico a la laguna, teniendo muy presente que ninguno de los modelos utilizados se ajusta totalmente al caso de Limoncocha. Frente a esto, el único resultado 100% confiable sería aquel que se obtenga en base a la utilización de un modelo de evaluación trófica específico para la laguna de Limoncocha o diseñado para lagos tropicales amazónicos ecuatoriales.



De los resultados obtenidos en el presente estudio se piensa que el modelo “ideal”, para la evaluación del estado trófico de la laguna de Limoncocha, debería ser más sensible a la concentración de fósforo total, menos sensible a la concentración de clorofila-a y basarse en varios parámetros. Dicho modelo podría consistir en la adecuación de uno ya existente, siendo una buena opción, en este sentido, el Índice de Carlson. Tal ajuste sería posible únicamente tras un estudio, o un grupo de estudios, que evalúen la mayor cantidad de variables posible (Ver “Recomendaciones - Limnología”, subcapítulo 9.1); y que nacería a la par del modelo matemático que describa el comportamiento limnológico de la laguna.

## 7.2 CALIDAD DE AGUA DEL SISTEMA HÍDRICO

### 7.2.1 RESULTADOS

#### 7.2.1.1 CUADROS

**CUADRO 25.**

LAGUNA LIMONCOCHA (LL)	FECHA DE MUESTREO					
	16/11/02	21/12/02	18/01/03	23/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	15h30	16h20	11h05	16h50	12h15	8h30
Temperatura (°C):	27,9	29,2	29,8	29,0	27,8	26,8
pH:	7,25	8,54	7,86	8,25	7,36	7,06
Conductividad (μS/cm):	86	81	92	99	90	91
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	43,24	40,75	46,22	49,70	45,23	45,72
O.D. (mg/l):	7,23	SD	5,71	6,72	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	33	34	16	29	43	42
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	75	75	71	78	68	71
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	60	38	46	52	40	43
Turbidez (FTU):	31	33	23	37	35	36
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	1	1	1	1	0
Pb (μg/l Pb):	19	16	16	15	13	16
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	1,6	1,9	1,7	1,9	1,9	0,8
Coliformes Totales (MPN/100ml):	23	4	4	210	43	93
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	4	< 3	4	210	43	93
DQO (mg/l):	46,15	45,92	44,11	47,62	46,95	41,67
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ):	0	0	0	0	0	0

SD = Sin Dato

**CUADRO 26.**

RÍO PISHIRA (RSH)	FECHA DE MUESTREO					
	16/11/02	21/12/02	18/01/03	24/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	9h49	8h50	9h53	10h10	13h05	9h00
Caudal (l/s):	1220	1250	1010	830	1065	1085
Temperatura (°C):	23,8	23,8	24,6	24,1	23,8	23,7
pH:	7,08	7,04	6,93	7,80	6,96	6,57
Conductividad (μS/cm):	114	107	125	111	103	116
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	57,16	53,68	62,62	55,67	51,69	58,15
O.D. (mg/l):	5,65	6,13	5,47	5,64	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	10	14	2	24	14	13
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	95	94	98	98	95	92
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	64	70	65	53	50
Turbidez (FTU):	7	7	4	8	9	7
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	2	1	1	0	1
Pb (μg/l Pb):	17	9	17	14	12	17
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,0
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	460	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	43	93	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,08	0,11	0,11	0,11	0,10	0,08
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,003
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,005	0,010	0,006	0,011	0,011	0,014
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ):	2	0	0	0	6	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 27.**

RÍO PLAYAYACU (RYY)	FECHA DE MUESTREO					
	16/11/02	21/12/02	18/01/03	24/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	12h04	10h38	12h30	11h00	14h12	9h30
Caudal (l/s):	32,06	18	9	19,44	22,37	48,22
Temperatura (°C):	25,0	24,7	26,3	24,4	23,6	24,0
pH:	7,11	7,14	7,56	7,59	7,04	6,92
Conductividad (μS/cm):	161	166	169	162	163	169
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	80,52	83,01	84,50	81,02	81,51	84,50
O.D. (mg/l):	5,99	6,00	4,81	4,88	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	13	2	7	17	21	8
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	120	132	139	140	128	122
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	85	88	92	75	73
Turbidez (FTU):	6	1	2	4	10	3
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	0	0	SD	1	1
Pb (μg/l Pb):	21	9	10	SD	13	10
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,6	0,4	0,2	0,0	0,5	0,3
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	93	43	150	460	≥ 2400	1100
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,06	0,07	0,11	0,06	0,03	0,05
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ):	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,008	0,011	0,003	0,009	0,002	0,008
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ):	0	1	1	1	1	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 28.**

RÍO "SEK" (RSEK)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	22/12/02	18/01/03	24/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	16h20	10h00	16h50	12h15	15h50	14h00
Caudal (l/s):	20,41	16,23	28,88	34,9	55,98	30
Temperatura (°C):	24,6	24,8	25,0	25,0	24,0	24,6
pH:	6,39	6,37	6,40	7,43	6,43	6,23
Conductividad (μS/cm):	114	118	125	104	109	108
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	57,16	59,14	62,62	52,19	54,67	54,17
O.D. (mg/l):	0,70	0,16	0,60	0,39	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	41	28	49	36	57	38
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	75	94	98	105	95	83
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	60	72	85	71	65	60
Turbidez (FTU):	19	22	31	12	27	13
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	2	1	1	0	1
Pb (μg/l Pb):	20	21	19	16	10	14
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	1,2	2,4	1,7	0,9	1,3	0,4
Coliformes Totales (MPN/100ml):	460	≥ 2400	≥ 2400	1100	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	23	93	≥ 2400	460	≥ 2400	1100
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ):	0,001	0,004	0,000	0,002	0,002	0,002
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,006	0,004	0,002	0,004	0,004	0,008
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ):	0	0	0	0	1	0

SD = Sin Dato

**CUADRO 29.**

RÍO JIVINO (RJ)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	22/12 /02	19/01/03	23/02/03	29/03/03	23/04/03
Hora de muestreo:	17h00	16h05	13h10	19h20	18h15	18h30
Temperatura (°C):	25,7	26,8	27,5	27,3	25,3	24,8
pH:	6,74	6,56	6,89	7,30	6,51	6,46
Conductividad (μS/cm):	84	98	99	113	90	99
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	42,24	49,20	49,70	56,66	45,23	49,70
O.D. (mg/l):	6,94	6,89	7,02	6,91	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	35	10	17	17	28	26
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	75	79	93	94	83	68
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	45	60	60	42	43
Turbidez (FTU):	19	12	11	10	21	13
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	2	2	2	1	0	1
Pb (μg/l Pb):	15	17	13	14	18	14
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	1,3	0,9	0,6	0,4	1,1	0,2
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	460	1100	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	150	75	1100	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,12	0,11	0,17	0,09	0,07	0,08
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ):	0,001	0,003	0,004	0,004	0,007	0,004
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,003	0,010	0,004	0,001	0,005	0,006
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ):	4	1	1	1	0	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 30.**

RÍO NAPO (RN)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	22/12 /02	19/01/03	23/02/03	29/03/03	23/04/03
Hora de muestreo:	17h30	15h48	12h00	19h50	18h00	18h15
Temperatura (°C):	22,9	25,1	27,9	27,7	24,0	24,4
pH:	7,03	7,33	7,35	7,40	6,22	5,60
Conductividad (μS/cm):	90	86	82	94	79	89
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	45,23	43,24	41,25	47,21	39,76	44,73
O.D. (mg/l):	7,85	SD	6,94	7,68	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	24	9	10	25	41	15
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	50	68	71	79	75	71
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	80	40	43	50	40	38
Turbidez (FTU):	403	38	20	23	380	42
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	3	2	2	5	1
Pb (μg/l Pb):	34	18	15	67	27	23
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	9,75	3,8	2,8	2,3	6,75	1,2
Coliformes Totales (MPN/100ml):	1100	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	460	1100	≥ 2400	1100	≥ 2400	≥ 2400
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,05	0,06	0,03	0,03	0,07	0,07
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ):	0,000	0,005	0,009	0,008	0,015	0,009
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,000	0,012	0,001	0,025	0,003	0,003
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ):	0	11	11	15	10	7

SD = Sin Dato

**CUADRO 31.**

VERTIENTE 1 (V1)	FECHA DE MUESTREO					
	16/11/02	21/12 /02	18/01/03	23/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	17h20	11h15	13h20	17h40	14h49	10h20
Caudal (l/s):	1,21	0,24	1,14	0,97	0,86	1,09
Temperatura (°C):	24,6	25,8	27,1	25,2	24,3	25,2
pH:	6,66	6,18	6,52	7,08	6,53	6,20
Conductividad (µS/cm):	165	157	164	153	159	160
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	82,51	78,53	82,01	76,54	79,53	80,02
O.D. (mg/l):	5,11	4,68	4,02	3,93	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	0	6	1	0	0	1
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	116	113	118	119	120	109
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	80	60	68	72	69	66
Turbidez (FTU):	0	8	2	0	3	2
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	0	2	1	0	0	1
Pb (µg/l Pb):	17	12	11	19	15	7
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,6	0,9	0,4	0,4	0,6	0,5
Coliformes Totales (MPN/100ml):	< 3	460	9	93	43	9
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	< 3	28	9	93	23	9
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,28	0,20	0,30	0,21	0,30	0,17
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,003	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ):	1	1	1	2	2	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 32.**

VERTIENTE 2 (V2)	FECHA DE MUESTREO					
	16/11/02	21/12 /02	18/01/03	23/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	9h40	11h50	14h00	18h00	10h00	13h00
Caudal (l/s):	0,24	0,15	0,31	0,14	0,02	0,02
Temperatura (°C):	25,5	25,6	26,0	25,3	25,4	25,3
pH:	6,52	6,26	6,96	7,01	6,48	6,50
Conductividad (µS/cm):	143	157	151	219	140	156
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	71,5723	78,5317	75,5491	109,3519	70,081	78,0346
O.D. (mg/l):	4,63	4,78	3,84	3,94	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	2	0	0	0	0	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	105	104	107	108	105	101
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	90	73	75	76	74	70
Turbidez (FTU):	2	1	1	1	1	0
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	0	1	0	1	1	1
Pb (µg/l Pb):	19	13	5	8	17	5
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,6	0,8	0,5	0,3	0,5	0,1
Coliformes Totales (MPN/100ml):	3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	1,44	0,90	1,05	0,60	0,80	0,70
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,007	0,006	0,005	0,006	0,006	0,005
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ):	1	0	0	1	1	0

SD = Sin Dato

**CUADRO 33.**

VERTIENTE 3 (V3)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	21/12 /02	18/01/03	23/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	10h27	12h30	14h40	18h15	10h30	12h30
Caudal (l/s):	14,28	8,3	22,58	18,55	12,12	16,58
Temperatura (°C):	25,9	26,0	26,1	25,3	25,3	25,5
pH:	6,29	6,20	6,37	6,93	6,38	6,31
Conductividad (µS/cm):	180	169	158	158	162	171
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	89,97	84,50	79,03	79,03	81,02	85,49
O.D. (mg/l):	4,07	4,80	2,87	3,90	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	2	4	0	0	5	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	98	94	103	105	101	98
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	95	65	70	74	72	71
Turbidez (FTU):	7	8	6	1	4	3
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	2	2	1	1	1	0
Pb (µg/l Pb):	32**	20	16	12	22	12
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	1,9	1,3	1,1	0,8	1,3	0,8
Coliformes Totales (MPN/100ml):	7	15	4	9	3	< 3
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	7	4	< 3	4	< 3	< 3
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,85	0,73	0,85	0,65	0,83	0,78
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ):	0,005	0,005	0,003	0,004	0,006	0,005
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ):	1	2	1	4	2	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 34.**

VERTIENTE 4 (V4)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	22/12 /02	18/01/03	23/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	12h00	12h00	17h50	13h31	11h00	11h30
Caudal (l/s):	0,13	0,13	0,11	0,04	0,12	0,09
Temperatura (°C):	25,7	25,4	25,8	25,6	25,2	25,3
pH:	6,69	6,43	7,27	7,81	6,51	6,47
Conductividad (µS/cm):	189	185	187	190	198	195
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	94,44	92,454	93,44	94,94	98,91	97,42
O.D. (mg/l):	4,89	4,75	3,63	4,50	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	0	0	0	0	2	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	128	123	126	131	122	120
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	100	81	90	92	88	85
Turbidez (FTU):	1	0	0	0	2	0
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	0	0	0	1	0	0
Pb (µg/l Pb):	16	12	10	7	15	6
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,6	0,7	0,5	0,4	0,6	0,0
Coliformes Totales (MPN/100ml):	93	43	43	9	93	< 3
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	28	4	43	< 3	28	< 3
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,55	0,38	0,40	0,35	0,35	0,25
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ):	0,005	0,005	0,005	0,004	0,006	0,004
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ):	0	0	0	0	2	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 35.**

VERTIENTE 5 (V5)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	22/12 /02	19/01/03	24/02/03	29/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	14h15	8h15	10h15	13h45	18h30	13h30
Caudal (l/s):	0,95	1,33	0,87	1,08	1,50	1,20
Temperatura (°C):	26,5	25,4	25,8	25,8	25,2	25,5
pH:	6,98	6,88	7,06	7,56	6,79	6,92
Conductividad (µS/cm):	113	159	168	161	137	139
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	56,66	79,53	84,00	80,52	68,59	69,58
O.D. (mg/l):	4,45	4,59	6,48	4,23	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	1	4	5	9	4	6
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	95	90	98	101	96	86
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	80	63	78	80	70	70
Turbidez (FTU):	11	1	1	5	6	8
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	1	0	1	0	0
Pb (µg/l Pb):	19	18	12	10	17	15
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,9	0,7	0,4	0,5	0,9	0,8
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	150	75	1100	1100	≥ 2400	1100
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,36	0,28	0,37	0,17	0,31	0,20
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,006	0,004	0,008	0,004	0,005	0,005
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ):	1	1	1	1	1	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 36.**

VERTIENTE 6 (V6)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	22/12 /02	19/01/03	24/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	14h57	9h20	10h46	13h25	9h00	15h20
Caudal (l/s):	0,65	0,38	0,97	0,28	0,32	0,35
Temperatura (°C):	26,0	25,8	26,6	25,8	25,2	25,7
pH:	6,70	6,52	6,96	7,38	6,63	6,80
Conductividad (µS/cm):	153	145	146	150	157	155
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	76,54	72,57	73,06	75,05	78,53	77,54
O.D. (mg/l):	3,10	4,60	4,45	4,30	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	9	0	2	7	9	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	105	109	111	117	101	101
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	60	65	68	69	63	60
Turbidez (FTU):	2	0	0	0	1	0
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	1	0	1	1	0
Pb (µg/l Pb):	7	14	12	7	17	13
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	0,2
Coliformes Totales (MPN/100ml):	9	< 3	43	240	23	4
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	< 3	< 3	23	93	23	4
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,75	0,50	0,60	0,50	0,65	0,65
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,006	0,004	0,005	0,006	0,006
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ):	0	2	1	1	0	1

SD = Sin Dato

**CUADRO 37.**

VERTIENTE 7 (V7)	FECHA DE MUESTREO					
	17/11/02	22/12 /02	19/01/03	24/02/03	30/03/03	24/04/03
Hora de muestreo:	15h48	10h45	11h17	13h05	9h30	14h15
Caudal (l/s):	0,74	0,28	0,30	0,23	0,30	0,27
Temperatura (°C):	26,1	26,3	27,1	25,6	25,2	25,5
pH:	6,50	6,39	6,67	7,12	6,63	6,53
Conductividad (µS/cm):	165	163	204	153	164	167
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	82,51	81,51	101,90	76,54	82,01	83,50
O.D. (mg/l):	5,88	4,45	4,21	5,45	SD	SD
Color Real (mg/l PtCo):	1	0	0	0	0	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	105	107	114	120	116	113
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	65	66	70	72	72	71
Turbidez (FTU):	2	1	1	1	0	0
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	2	2	1	0	1	1
Pb (µg/l Pb):	8	18	18	9	14	12
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	1,8	1,6	0,8	0,9	1,3	0,1
Coliformes Totales (MPN/100ml):	460	43	< 3	< 3	240	< 3
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	15	< 3	< 3	< 3	23	< 3
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	1,25	1,10	0,85	0,50	0,95	0,65
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,003	0,006	0,004	0,020	0,004	0,004
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ):	1	2	1	0	1	0

SD = Sin Dato

**CUADRO 38.**

(V3*)	FECHA DE MUESTREO
	30/03/03
Hora de muestreo:	10h45
Coliformes Totales (MPN/100ml):	< 3
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	< 3

**CUADRO 39.**

(V5*)	FECHA DE MUESTREO
	22/12/02
Hora de muestreo:	8h20
Coliformes Totales (MPN/100ml):	3
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	< 3

El presente estudio incluyó, además, los siguientes resultados obtenidos durante muestreos realizados en meses anteriores:

**CUADRO 40.**

LAGUNA LIMONCOCHA (LL)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	13/12 /02
Hora de muestreo:	15h04	16h43
Temperatura (°C):	27,4	27,3
pH:	6,84	8,14
Conductividad (µS/cm):	105	120
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	52,68	60,14
O.D. (mg/l):	2,05	4,26



**CUADRO 41.**

RÍO PISHIRA (RSH)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	9h45	7h15
Temperatura (°C):	24,0	23,9
pH:	7,30	6,91
Conductividad (μS/cm):	143	155
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	71,57	77,54
O.D. (mg/l):	4,81	4,71
Color Real (mg/l PtCo):	23	13
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	90	83
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	50	45
Turbidez (FTU):	10	6
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	0	1
Pb (μg/l Pb):	15	9
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	2,0	0,7
Coliformes Totales (MPN/100ml):	1100	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	1100	≥ 2400
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,10	0,11
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,006
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,001	0,004

**CUADRO 42.**

RÍO PLAYAYACU (RYY)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	10h50	8h03
Temperatura (°C):	24,3	24,1
pH:	7,23	7,50
Conductividad (μS/cm):	234	220
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	116,81	109,85
O.D. (mg/l):	6,94	6,99
Color Real (mg/l PtCo):	19	5
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	111	138
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	80
Turbidez (FTU):	7	1
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	0	1
Pb (μg/l Pb):	30	5
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	1,1	0,2
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	150
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	460	75
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,06	0,12
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,005
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,001	0,003

**CUADRO 43.**

RÍO JIVINO (RJ)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	17h12	18h53
Temperatura (°C):	25,0	25,2
pH:	7,1	8,85
Conductividad (μS/cm):	121	SD
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	60,64	SD
O.D. (mg/l):	6,00	5,56
Color Real (mg/l PtCo):	12	15
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	83	90
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	50	47
Turbidez (FTU):	16	17
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	2
Pb (μg/l Pb):	29	11
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,7	0,8
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	1100	1100
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,12	0,13
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,004
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,003	0,006

SD = Sin Dato

**CUADRO 44.**

RÍO NAPO (RN)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	16h57	18h40
Temperatura (°C):	25,0	22,9
pH:	7,49	7,59
Conductividad (μS/cm):	70	67
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	35,28	33,79
O.D. (mg/l):	6,00	6,52
Color Real (mg/l PtCo):	14	14
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	72	79
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	40	41
Turbidez (FTU):	41	46
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	0	1
Pb (μg/l Pb):	12	18
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	4,1	2,3
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	≥ 2400	≥ 2400
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,03	0,03
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,013	0,009
Detergentes (mg/l D. Aniónico):	0,012	0,002

**CUADRO 45.**

VERTIENTE 1 (V1)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	11h30	10h10
Caudal (l/s):	0,50	0,75
Temperatura (°C):	25,0	25,5
pH:	5,98	7,54
Conductividad (μS/cm):	198	164
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	98,91	82,01
O.D. (mg/l):	4,50	4,07
Color Real (mg/l PtCo):	5	4
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	119	135
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	78
Turbidez (FTU):	3	4
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	2	1
Pb (μg/l Pb):	6	11
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,0	1,0
Coliformes Totales (MPN/100ml):	≥ 2400	460
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	≥ 2400	23
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,25	0,16
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,007

**CUADRO 46.**

VERTIENTE 2 (V2)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	11h40	11h27
Caudal (l/s):	0,30	0,11
Temperatura (°C):	25,5	25,6
pH:	5,81	6,03
Conductividad (μS/cm):	196	159
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	97,92	79,53
O.D. (mg/l):	3,60	3,53
Color Real (mg/l PtCo):	0	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	101	105
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	80	90
Turbidez (FTU):	1	4
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	1
Pb (μg/l Pb):	10	7
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,1	2,3
Coliformes Totales (MPN/100ml):	9	3
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	4	< 3
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	1,10	1,30
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,002	0,006

**CUADRO 47.**

VERTIENTE 3 (V3)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	14h00	12h54
Caudal (l/s):	SD	18,00
Temperatura (°C):	25,4	25,7
pH:	5,76	6,75
Conductividad (μS/cm):	181	140
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	90,46	70,08
O.D. (mg/l):	5,00	3,63
Color Real (mg/l PtCo):	1	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	98	105
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	69
Turbidez (FTU):	6	5
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	0	1
Pb (μg/l Pb):	13	6
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,7	1,4
Coliformes Totales (MPN/100ml):	460	9
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	12	9
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,90	0,90
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,009	0,008

SD = Sin Dato

**CUADRO 48.**

VERTIENTE 4 (V4)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	15/12 /02
Hora de muestreo:	18h01	7h00
Caudal (l/s):	0,4	0,23
Temperatura (°C):	25,0	25,3
pH:	6,24	9,53
Conductividad (μS/cm):	219	248
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	109,35	123,77
O.D. (mg/l):	5,00	3,40
Color Real (mg/l PtCo):	2	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	120	131
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	86
Turbidez (FTU):	3	1
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	0
Pb (μg/l Pb):	15	5
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,5	0,4
Coliformes Totales (MPN/100ml):	150	21
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	43	21
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,21	0,27
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,001	0,005

**CUADRO 49.**

VERTIENTE 5 (V5)	FECHA DE MUESTREO
	07/07/02
Hora de muestreo:	12h34
Temperatura (°C):	25,5
pH:	5,6
Conductividad (μS/cm):	73
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	36,78
O.D. (mg/l):	5,00

**CUADRO 50.**

VERTIENTE 6 (V6)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	13h12	17h51
Caudal (l/s):	0,70	0,33
Temperatura (°C):	25,4	25,7
pH:	6,01	6,35
Conductividad (μS/cm):	178	196
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	88,97	97,92
O.D. (mg/l):	5,50	3,54
Color Real (mg/l PtCo):	3	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	114	113
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	40	65
Turbidez (FTU):	3	0
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	1	0
Pb (μg/l Pb):	19	3
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,2	0,5
Coliformes Totales (MPN/100ml):	4	28
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	< 3	21
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,38	0,60
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,004

**CUADRO 51.**

VERTIENTE 7 (V7)	FECHA DE MUESTREO	
	07/07/02	14/12 /02
Hora de muestreo:	13h38	18h13
Caudal (l/s):	0,40	0,42
Temperatura (°C):	25,5	25,6
pH:	6,02	8,50
Conductividad (μS/cm):	173	190
Sólidos Totales Disueltos (mg/l TDS):	86,49	94,94
O.D. (mg/l):	4,50	3,54
Color Real (mg/l PtCo):	0	0
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	118	120
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> ):	70	65
Turbidez (FTU):	1	1
Ba (mg/l Ba <sup>2+</sup> ):	2	1
Pb (μg/l Pb):	13	7
Cloruros (mg/l Cl <sup>-</sup> ):	0,4	1,1
Coliformes Totales (MPN/100ml):	1100	4
Coliformes Fecales (MPN/100ml):	9	4
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):	0,36	0,65
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ):	0,004	0,003

### 7.2.1.2 GRÁFICOS

Los siguientes gráficos sitúan a los resultados obtenidos según su valor y determinan su evolución hipotética (línea entre punteada) en el tiempo. En ellos se incluyen los límites máximos permisibles (líneas continuas), establecidos por la legislación ecuatoriana para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico y, en el caso de la laguna, también para aguas destinadas a la preservación de flora y fauna. Así; los límites máximos establecidos para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional, se describen en la leyenda de cada gráfico como “Máx.(T1)”; aquellos que corresponden a aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren desinfección, se describen como “Máx.(T2)”; y finalmente, aquellos corresponden a aguas destinadas a la preservación de flora y fauna, en aguas dulces y cálidas, se describen como “Máx.(T3)”. Estas asignaciones corresponden a las diferentes tablas del Anexo 1, Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria; las mismas que se exponen en el anexo número 1 del presente documento.

Nótese que cuando los límites permisibles de las tablas 1 y 2 coinciden, las gráficas solo señalan un límite cuya leyenda dice “Máx.(Tablas 1 y 2)”.

Las únicas excepciones a lo anteriormente anotado suceden en los gráficos de “Evolución de OD”, en los cuales la línea continua representa al valor mínimo permitido por la legislación y cuya leyenda dicta “Mínimo. (Tablas 1 y 2)” o “Mínimo. (Tabla 3)” según sea el caso; en las gráficas de "Evolución del pH", donde se incluyen simultáneamente los límites máximos y mínimos; y en las gráficas de aquellos parámetros que no son regulados por la legislación, donde no se incluye ningún límite.

Adicionalmente, al pie de cada gráfico, se añade el índice de calidad (IC) calculado en base a cada límite.

Finalmente, se han construido gráficas que conjugan los resultados y la evolución de dos parámetros distintos, haciendo posible establecer la relación existente entre ellos.