

## **CAPITULO I**

### **1.1 ANTECEDENTES:**

En la laguna de Limoncocha se han realizado varios estudios por parte de la Universidad Internacional SEK con la finalidad de determinar cual su Estado trófico, por medio de proyectos de investigación, los cuales no han establecido de manera particular de donde procede el fósforo en cantidad necesaria para justificar el estado trófico actual de la Laguna; en estas condiciones surge la necesidad de establecer en que componentes de la laguna y en que cantidad se produce el fósforo que aporta a la productividad de la laguna, para lograr establecer un modelo de eutroficación que se ajuste a las propiedades intrínsecas de ese cuerpo de agua. Se presume que el fósforo podría encontrarse y liberarse periódicamente en los sedimentos de la laguna.

### **1.2 JUSTIFICACION:**

Mediante la ejecución de varios proyectos de tesis en la Facultad de Ciencias Ambientales en los años anteriores, se han ido investigando diferentes aspectos de la laguna de Limoncocha, que han permitido conocer, entre otros, la variación térmica estacional del agua, la variación de concentraciones de nutrientes, y una aproximación a la caracterización del estado trófico de la laguna.

La información obtenida hasta el presente, deja incógnitas en cuanto al desarrollo del ciclo del fósforo en la laguna, puesto que la baja concentración de este nutriente en el agua y el escaso aporte de este elemento desde la cuenca parecen no justificar la alta productividad de la laguna, para la cual el fósforo constituye el factor limitante principal. No esta aun claro el papel que puede jugar la fertilización interna en el ciclo de los nutrientes, particularmente en relación con el fósforo. Es posible que la retención-liberación periódica del fósforo en los sedimentos pueda ser un fenómeno importante.

Por otra parte, los diferentes modelos utilizados para establecer el estado trófico de la laguna no permiten llegar a una definición satisfactoria, esencialmente porque no se ajustan de manera adecuada a las características intrínsecas de la laguna; se requeriría por tanto o desarrollar un nuevo modelo o hacer ajustes a alguno de los existentes para alcanzar un resultado consistente en este tema.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL:**

Determinar la importancia del fenómeno de la fertilización interna en la laguna de Limoncocha, particularmente en relación con el fósforo, y su incidencia en el estado trófico de la misma.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

Medir la variación estacional de la concentración de fósforo en aguas y sedimentos de la laguna.

Correlacionar esta variación con la de los Parámetros Físico-Químicos del agua.

Proponer un modelo que permita establecer el estado trófico de la laguna.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

### **2.1 PARÁMETROS DE LA QUÍMICA DEL AGUA**

#### **2.1.1 Variables Hidrológicas**

La determinación del régimen hidrológico de un cuerpo de agua es un aspecto importante para la evaluación de la calidad el agua. Las medidas de descarga, por ejemplo son necesarias para los cálculos o flujo de balance de masas y constituyen entradas para los modelos de calidad de agua.

#### **2.1.2 Velocidad**

La velocidad de un cuerpo de agua (algunas veces referida como la tasa de flujo) puede afectar significativamente su capacidad para asimilar y transportar contaminantes. Las medidas de velocidad son extremadamente importantes en cualquier tipo de programa de evaluación. Esto permite la predicción del movimiento de compuestos (particularmente contaminantes) dentro de los cuerpos de agua, incluyendo las aguas subterráneas. Por ejemplo, el conocimiento de la velocidad del agua facilita la predicción del tiempo de llegada corriente abajo, de un contaminante que ha sido accidentalmente descargado corriente arriba.<sup>1</sup>

#### **2.1.3 Sales Disueltas**

La Salinidad en el agua es un parámetro que ha sido observado desde hace tiempo. Cerca del 97% de agua en el mundo se encuentra en los océanos y mares en forma de

---

<sup>1</sup> <http://al.edu.com/cursos/IDEA/98603/lecciones/Mod3/PARAMETROS.htm>.

agua salada. Es de conocimiento general que el agua en esas condiciones no es apta para el consumo del hombre. El restante 3% se clasifica como agua dulce, pero puede y tiene sales disueltas.

Las fuentes de salinidad varían e incluyen:

- a) **Efluentes industriales.**- Sales inorgánicas son las principales constituyentes en muchos efluentes industriales. Las Sales son el producto de neutralizaciones de ácidos-base, muchas de las cuales son utilizadas en múltiples industrias como metalúrgica, química y de fundición por citar algunas.
- b) **Irrigación.**- El agua que es irrigada disuelve gran cantidad de minerales y se percola arrastrando el agua los minerales hacia capas subterráneas.
- c) **Como Salmuera.**- En algunas ocasiones salmuera producida por minas, o pozos de aceite son descartadas a agua dulce.
- d) **Sal Oceánica.**- Los Ríos de gran extensión normalmente previene que el agua salada de el océano se desplace corriente arriba. Pero en ocasiones cuando la corriente es débil, corrientes marinas vencen la oposición presentada por el río, en consecuencia agua salada se encuentra algunos kilómetros de la costa.  
Como ejemplo de esto: En 1965, el suministro de agua de Filadelfia (USA) fue seriamente amenazada cuando la poca corriente del río Delaware permitió que agua salada procedente del Océano Atlántico avance casi hasta las tomas de suministro de agua. Esto produjo problemas para otras ciudades como New York.
- e) **Uso en Carreteras.**- En países en donde las carreteras son cubiertas por nieve y hielo, se utiliza sal para derretirlos, esto aumenta que exista mayor cantidad de agua con contenidos de sal.

Niveles altos de salinidad del agua, impide que aguas con esta característica sea apta para el consumo. Sustancias inorgánicas disueltas y sustancias minerales ejercen efectos adversos en animales acuáticos y en plantas y causa muchos problemas de irrigación en agricultura. El daño en la vida acuática está principalmente relacionada al proceso de osmosis, asumiendo que las sustancias disueltas no son toxicas. Generalmente, la concentración de materiales disueltos en un cuerpo líquido es el máximo que un organismo acuático puede tolerar. Cuando estos organismos están en contacto con agua

con concentraciones más altas, hay la tendencia de que el agua se mueva fuera de las células de los organismos hacia el agua que rodea al mismo, estas concentraciones más altas pueden desencadenar en la muerte del organismo. Muchas especies de agua dulce desaparecen cuando el agua se vuelve salina.

Uno de los mayores efectos a largo plazo por los incrementos de la salinidad se da en la utilización y reutilización de agua en irrigación.

Se estima que alrededor de el 25% de tierras irrigadas en Estados Unidos, esta afectada en algún grado por la salinidad en el agua. Agua de irrigación siempre trae consigo sales disueltas, las concentraciones de estas sales están en el rango de 25 a 8000 mg/l, las plantas toman el agua irrigada en el suelo pero las sales disueltas permanecen en el suelo al ser filtradas por las raíces, además con la evaporación del agua del suelo, esta se evapora dejando a las sales disueltas en el suelo, estos dos procesos causan que estas sales residuales se acumulen en el suelo.

Para preservar el balance de sal del suelo y evitar daño en los cultivos, el exceso de sal debe ser quitado del suelo, irrigando con mayor cantidad de agua, siendo esta no una alternativa real, ya que al filtrarse y con las aguas lluvias, sería llevado hacia cuerpos de agua aumentando así las sales disueltas en mayor concentración.<sup>2</sup>

#### **2.1.4 Dureza**

Por dureza se entiende la cantidad de sales disueltas que tiene una determinada agua. Por regla general un agua será más dura cuanto más cantidad de sales lleve disueltas y más blanda cuanto menos.

El agua en la naturaleza se evapora del mar principalmente, además de lagos y ríos, forma las nubes y baja a la tierra en forma de lluvia o nieve. En la tierra se filtra hacia el subsuelo o corre por los torrentes hasta llegar a los ríos y de estos pasa al mar. Este es el "ciclo del agua" y durante él va disolviendo gases de la atmósfera y sólidos del suelo. Cuanta más sustancia disuelva más dura se volverá.

---

<sup>2</sup> Stocker, S., Seeager, S., ENVIRONMENTAL CHEMISTRY: AIR AND WATER POLLUTION, second edition, Department of Chemistry Weber State Collage, 1976, Glenview, Illinois.

El bicarbonato cálcico  $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$  es la sal más abundante en las aguas dulces, y por tanto, es la que más influencia tiene sobre la dureza, además esta sal durante la ebullición pasa a carbonato cálcico  $\text{CaCO}_3$  el cual es insoluble y precipita en el fondo, disminuyendo la dureza. Por esta razón, se habla de dureza temporal, KH, dureza de carbonatos, T.A.C. o grado alcalinométrico refiriéndose a la cantidad de carbonatos (de calcio y magnesio) disueltos en el agua, los cuales precipitan al hervir esta. Por otro lado, decimos dureza permanente cuando nos referimos a la cantidad de sales (principalmente sulfatos y cloruros de calcio y magnesio) que no precipitan en la ebullición. Si sumamos la dureza temporal y la dureza permanente obtenemos la dureza total, GH, grado hidrotimétrico o T.H., que es la cantidad total de sales disueltas que tiene un agua.

La dureza se expresa generalmente en grados alemanes (dH), los cuales corresponden a 10 mg. de monóxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) por litro de agua.

$$1^\circ \text{ dH alemán} = 10 \text{ mg CaO/L H}_2\text{O}$$

Otras unidades de dureza son: el grado francés (10 mg de carbonato cálcico por litro de agua), el grado inglés (10 mg de carbonato cálcico por 0,7 l de agua) y el grado americano (1 mg de carbonato cálcico por litro de agua); las equivalencias entre unos y otros grados es la siguiente:

$$1^\circ \text{ dH alemán} = 1,25^\circ \text{ ingleses} = 1,78^\circ \text{ franceses} = 17,8^\circ \text{ americanos}$$

Las aguas se pueden clasificar (refiriéndose a grados alemanes) en:

- Muy Blandas 0-5 ° dH
- Blandas 5-10 ° dH
- Duras 10-20 ° dH
- Muy Duras más de 20 ° dH

Casi todos los peces tropicales necesitan un agua blanda o muy blanda, y aunque en la mayoría de los casos toleren aguas de durezas distintas a la apropiada, no ocurre lo mismo con los huevos, los cuales son mucho más sensibles a las variaciones de este parámetro.

La influencia de la dureza del agua sobre los organismos que en ella viven se da debido a que, todos los seres vivos se componen de células, las cuales están recubiertas por una membrana semipermeable. Dentro de estas células hay agua con diversas sales disueltas, cuya concentración salina (o dureza) es constante y en algunos casos, como ocurre con los huevos, es igual a la del medio que les rodea. Si echamos una célula en un medio acuoso más duro (más concentración de sales) que el medio interno de esta, el agua tenderá a salir del interior de la célula al exterior, hasta que se igualen las concentraciones salinas, quedando la célula arrugada. Por el contrario, si la metemos en un medio más blando (menos concentración salina) que el interior suyo, entonces entrará agua y se hinchará, pudiendo llegar a estallar la célula (plasmólisis).<sup>3</sup>

### **2.1.5 Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica del agua es un parámetro global para la actividad de los iones disueltos, sin que sean posibles expresiones o indicaciones de la clase de iones.

La conductividad eléctrica y la temperatura influyen en especial en el estado de carga de los iones (iones con carga única o múltiple). Si bien la conductividad posibilita solamente limitadas interpretaciones.

- CE < 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . puede clasificarse como mínima y se representa en regiones de roca silicea,
- CE > 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . hasta aproximadamente 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . se presentan en riachuelos ricos en carbonatos,
- CE de 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . se presentan por lixiviados de rocas (regiones volcánicas, iones predominantes : sodio, bicarbonatos, cloruros),

---

<sup>3</sup> <http://usuarios.lycos.es/acuarioweb/agua/dureza.htm>.

- CE de 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . a 160000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . junto a fuerte evaporación (lagos salados),
- La conductividad puede elevarse en gran medida por descargas antrópicas y alcanzar algunos millares de  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en aguas saladas e incrementar hasta aproximadamente 50000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en zonas estuarinas.

### **2.1.6 Capacidad Ácida y Básica**

Una importante medida para la capacidad de neutralización del agua es la capacidad ácida y básica, medida en  $\text{mmol}/\text{l}$  o  $\text{meq}/\text{l}$ .

La capacidad ácida se determina por medio de titulación con ácido clorhídrico desde pH 8,2 hasta pH 4,3.

Esta capacidad de asimilar ácidos describe las características del agua para neutralizar ácidos que ingresan a ella y se determina por medio de compuestos de ácido carbónico: carbonatos y bicarbonatos. Contribuyen también a la capacidad ácida, las sales de otros ácidos débiles (ácido húmico, fulvico y otros ácido orgánicos, así como oxido hidratado de hierro, manganeso y aluminio). Cuanto mayor es la capacidad de asimilar ácidos, el valor del pH es más estable.

La capacidad básica se obtiene de manera análoga por medio de titulación con hidróxido de sodio, capturándose principalmente dióxido de carbono, ácido carbónico sin disociar y bicarbonatos. <sup>4</sup>

### **2.1.7 Concentración de Iones Hidrogeno (pH)**

El pH es una variable importante de la variación en la calidad del agua y está influenciado por los procesos biológicos y químicos dentro del cuerpo de agua y todos los procesos asociados con el suministro y tratamiento de aguas. También mide los efectos de la descarga del efluente; es una ayuda para determinar la extensión de la pluma del efluente en el cuerpo de agua.

---

<sup>4</sup> Gunkel, G., LIMNOLOGIA Y PROECCION DE ECOSISTEMAS ACUATICOS, Escuela Politecnica Nacional, Centro de Educación Continua Unidad de Ingeniería Ambiental, 1996, Quito, Ecuador.

En 1909, el químico danés Sorensen definió el potencial hidrógeno (pH) como el logaritmo negativo de la concentración molar (más exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno. Esto es:

$$\text{pH} = - \text{Log} [\text{H}^+ ]$$

Desde entonces, el término pH ha sido universalmente utilizado por la facilidad de su uso, evitando así el manejo de cifras largas y complejas.

Por ejemplo, una concentración de  $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-8} \text{ M}$  ( 0.00000001) es simplemente un pH de 8 ya que :  $\text{pH} = - \log[10^{-8}] = 8$ .

El pH es una medida del balance ácido de una solución. El pH varía en una escala desde 0 a 14 (o muy ácido o muy alcalino), donde un pH de 7 representa una condición neutral. A una temperatura dada el pH indica la intensidad del carácter ácido o básico de una solución. Su valor está controlado por los compuestos químicos disueltos y los procesos bioquímicos en la solución. El pH de aguas no contaminadas está controlado por el balance entre dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato, iones que siempre están presentes en las aguas naturales así como también los ácidos húmico y fúlvico. El balance natural de un cuerpo de agua puede ser afectado por efluentes industriales y por deposición atmosférica de sustancias generadoras de ácidos. Los cambios en pH pueden indicar la presencia de ciertos efluentes, particularmente cuando se obtienen medidas continuas, junto con la conductividad del cuerpo de agua. Las variaciones de pH pueden ser causadas por la fotosíntesis y los ciclos respiratorios de las algas y de las aguas eutróficas, aguas subterráneas y lagos salados.<sup>5</sup>

La concentración de iones hidrogeno (pH) del agua se determina mediante la capacidad básica y por los condicionantes antropicos de ingreso de ácidos (acidificación por sustancias nocivas de la atmósfera, acidificación por degradación de biomasa orgánica). Muchos organismos reaccionan muy sensiblemente a la intensificación del ingreso de ácidos y bases y son conocidos los efectos letales para peces, anfibios e

---

<sup>5</sup> Marcet, M., MENTOR INTERACTIVO ENCICOLPEDIA TEMATICA ESTUDIANTIL, Primera edición, Grupo Editorial Océano, 1999, Barcelona, España.

invertebrados cuyo hábitat son los riachuelos. El rango crítico del valor del pH está en valores fuertemente alcalinos ( $\text{pH} > 9,5$ ) y en valores fuertemente ácidos ( $\text{pH} < 5,5$ ).

Las plantas acuáticas superiores (macrofitas) muestran dependencia del pH pero la disminución del  $\text{CO}_2$  libre es al mismo tiempo el mecanismo desencadenante. Muchas macrofitas ya reaccionan con ácidos débiles hasta valores neutros, oscilando con las variaciones del valor del pH, es decir de la alcalinidad.<sup>6</sup>

### **2.1.8 Potencial Redox**

El potencial Redox (Eh) se caracteriza por informar el estado de oxidación-reducción de las aguas naturales. Iones del mismo elemento pero en diferentes estados de oxidación constituyen un sistema redox el cual se caracteriza por tener un cierto valor. Los compuestos orgánicos también forman sistemas redox. La coexistencia de un número dado de estos sistemas sostiene un equilibrio el cual determina el estado redox de las aguas y a su vez lo caracteriza por el valor Eh. El oxígeno, el hierro, el azufre y algunos sistemas orgánicos tienen influencia en la determinación del Eh. Por ejemplo, los valores de Eh incrementan y pueden alcanzar +700 mV cuando las concentraciones de oxígeno incrementan. La presencia de sulfuro de hidrógeno está asociada con una disminución en el Eh (por debajo de -100 mV o más) y es evidente que existen unas condiciones reductoras.

El Eh puede variar en las aguas naturales desde -500 mV a +700 mV. Las aguas superficiales y subterráneas contienen oxígeno disuelto y generalmente están caracterizadas por un intervalo de Eh que oscila entre +100 mV y +500 mV. El Eh de las aguas minerales que están conectadas a depósitos de petróleo suele estar comprendido con valores cuyo límite suele ser de - 500 mV.

El potencial redox se determina potenciométricamente y puede ser medido in situ. Es difícil obtener medidas del Eh. Por consiguiente, los resultados, la interpretación y las medidas de Eh deben ser tratados con cautela. Como el Eh depende del contenido de gas en el agua, éste puede ser muy variable cuando el agua está en contacto con el aire. Por

---

<sup>6</sup> Gunkel, G., LIMNOLOGIA Y PROECCION DE ECOSISTEMAS ACUATICOS, Escuela Politecnica Nacional, Centro de Educación Continua Unidad de Ingeniería Ambiental, 1996, Quito, Ecuador.

lo tanto la determinación del Eh debe hacerse inmediatamente después del muestreo y tan pronto como sea posible; en el caso de aguas subterráneas la medida se hace en el momento en que se obtiene la descarga de la bomba.

### **2.1.9 Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno es esencial para todas las formas de vida acuática incluyendo aquellos organismos responsables del proceso natural de autopurificación. El contenido de oxígeno de las aguas naturales varía con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética y la presión atmosférica. La solubilidad del oxígeno disminuye cuando la temperatura y la salinidad incrementan. En aguas superficiales al nivel del mar el OD varía entre 15 mg/L y 8 mg/L, a temperaturas que varían entre 0°C y 25°C. Las concentraciones de agua no contaminada están muy cercanas a un valor de 10mg/L. El oxígeno disuelto puede ser expresado en términos de porcentaje de saturación y un nivel de 80% de saturación puede ser aceptado para aguas potables. Este valor es detectado fácilmente por sus características de bajo olor y bajo gusto.

Las variaciones en OD se presentan de acuerdo con la época del año y también en un periodo de 24 horas en relación con la temperatura y la actividad biológica. La respiración está relacionada con los procesos de descomposición de la materia orgánica y reduce las concentraciones de OD en aguas estancadas. Las concentraciones de OD varían de acuerdo con las tasas a las cuales se verifican los procesos biológicos. Las descargas de aguas domésticas con alto contenido de materia orgánica y nutrientes disminuyen el OD como resultado de la actividad microbiana. En muchos casos la reducción de las concentraciones de oxígeno determina condiciones anaeróbicas especialmente en la proximidad de los sedimentos.

La determinación de las concentraciones de OD es una parte fundamental de la evaluación de la calidad del agua puesto que el oxígeno está involucrado o influencia, estrechamente todos los procesos químicos y físicos dentro de los cuerpos de agua. Las concentraciones por debajo de 5 mg/L afectan adversamente el funcionamiento y supervivencia de las comunidades acuáticas. Por debajo de 2 mg/L produce la muerte a la mayor parte de los peces. Las medidas de OD pueden ser usadas para indicar el grado

de contaminación por materia orgánica, la destrucción de las sustancias orgánicas y el nivel de autopurificación del agua. Su determinación se usa para medir la DBO.

#### **2.1.10 Concentración de Dióxido de Carbono en el equilibrio del sistema del carbonato de calcio**

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es soluble en agua y se absorbe por ésta a través de la interfase aire-agua; adicionalmente el  $\text{CO}_2$  se produce dentro de los cuerpos de agua por la respiración de la biota acuática en procesos aeróbicos o anaeróbicos por descomposición heterotrófica de la materia orgánica suspendida y sedimentada. El dióxido de carbono disuelto en un agua natural hace parte de un sistema en equilibrio que involucra iones bicarbonato. La concentración de estas formas depende del pH.

El  $\text{CO}_2$  es el componente gaseoso en equilibrio con la atmósfera mientras que el  $\text{CO}_2$  total es la suma de todas las formas inorgánicas del dióxido de carbono:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ . Ambos,  $\text{CO}_2$  y  $\text{HCO}_3^-$ , pueden ser incorporados como carbón orgánico por los organismos autotróficos. El  $\text{CO}_2$  comprende las concentraciones de  $\text{CO}_2$  más  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , aunque la última forma es mínima en la mayor parte de las aguas superficiales que difícilmente exceden el pH 9. A altas concentraciones de ácido carbónico (pH 4.5 o más bajo), el agua es corrosiva para los metales y los materiales de concreto como resultado de la formación de bicarbonato soluble. La capacidad de afectación del componente carbonato de calcio se utiliza como un indicador de la agresividad del ácido carbónico o del  $\text{CO}_2$ , el cual se refiere como  $\text{CO}_2$  libre.

La determinación del  $\text{CO}_2$  libre se hace por titulación y el  $\text{CO}_2$  total se calcula a partir del pH y la alcalinidad previamente estimados. El último método está sujeto a interferencias y puede ser inexacto.<sup>7</sup>

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el agua se ha relacionado estrechamente al equilibrio del sistema cal-ácido carbónico con el calcio.

---

<sup>7</sup> <http://al.edu.com/cursos/IDEA/98603/lecciones/Mod3/PARAMETROS.htm>.

Las fuentes para el  $\text{CO}_2$  son:

- La atmósfera
- Las precipitaciones
- Las aguas subterráneas
- El metabolismo de los organismos

Mientras que el calcio proviene preponderantemente de la desagregación (eflorescimiento) de las rocas.

Las formas gaseosas del  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua, reaccionan en mínima proporción con el agua y forman ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), este se disocia a bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

Las relaciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  en el agua se determinan mediante el valor del pH del agua.

En ausencia de calcio, se forma según la concentración de  $\text{CO}_2$  en el agua:

- a) bicarbonato de calcio ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3^-)_2$ ) este es muy soluble y permanece en solución, esta presente cuando se libera  $\text{CO}_2$  en el denominado equilibrio del ácido carbónico.
- b) Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) esta en mínima proporción en solución y precipita en partículas.

En esto, puede diferenciarse entre una precipitación de calcio química y biológica.

La precipitación química de calcio sucede por sobresaturación con bicarbonatos y por altas concentraciones de calcio.

La precipitación biológica de calcio sucede por la sustracción de bicarbonatos para la fotosíntesis y la simultánea elevación del pH del agua. Con la precipitación biogena del calcio, se presentan en el agua cristales de calcio y estructuras amorfas de calcio. En

aguas con bajas velocidades de flujo, se forman también capas de cal sobre las algas y las macrofitas.

Las plantas fotoautótrofas del agua utilizan carbono inorgánico como fuente de C y forma biomas utilizando la energía de la luz y elementos adicionales (fotótrofos significa que utilizan la energía de irradiación, autótrofos significa que utilizan carbono inorgánico). Esto sigue a la disminución de  $\text{CO}_2$  y  $\text{HCO}_3^-$ .

La utilización de  $\text{HCO}_3^-$  como fuente de C para la asimilación de carbono conduce a un fuerte incremento del valor del pH, entonces las plantas deben liberar iones  $\text{OH}^-$ , para deshacerse del exceso de electrones.

En aguas con alta producción fotoautótrofica se presenta por consiguiente una variación diaria del  $\text{CO}_2$  y del valor del pH. En horas tempranas de la noche aparece el valor máximo de pH de hasta 10, el que posteriormente puede ejercer efectos letales sobre los organismos.

### 2.1.11 Compuestos de Fósforo

El fósforo tiene gran importancia como nutrimento de los vegetales, para el proceso de producción de las plantas y pueden diferenciarse en varias formas y compuestos de fósforo, respectivamente:

- **Ortofosfatos ( $\text{PO}_4^3$ )** existen disueltos en el agua y están a disposición de los vegetales inmediatamente. Los ortofosfatos se muestran por lo general como la parte más significativa de los fosfatos disueltos.
- **Polifosfatos de baja molecularidad**, en especial di-, tri-, tetrafosfatos. Los polifosfatos de baja molecularidad existen disueltos en el agua y pueden ser inmediatamente asimilados por los vegetales.
- **Polifosfatos de alta molecularidad**, existen en parte disueltos y en parte en estado coloidal. La asimilación de polifosfatos de alta molecularidad puede suceder luego de la reacción hidrolítica por medio de enzimas. Esta ruta de asimilación es cinéticamente dificultosa, puesto que es muy rápido el desarrollo de la asimilación de polifosfatos de alta molecularidad.

- **Compuestos orgánicos del fósforo (éster ácido fosforico)** tienen en su mayoría un peso molecular mínimo y están disueltos en el agua. Estos compuestos pueden desarrollarse lentamente a través de hidrólisis y desdoblarse a ortofosfatos. Los compuestos orgánicos del fósforo se desprenden de organismos vivos (excreción de fósforo).
- **Fósforo particulado** existe en las siguientes formas: en organismos, en especial en bacterias y fitoplancton (plancton son microorganismos que están en suspensión en el agua), pero también en detritus (biomasa muerta, plancton muerto, follaje), así como formas inorgánicas (fosfato de hierro, hidroxifosfato de calcio y productos de condensación que proviene de la biomasa y del fósforo inorgánico).
- **Fósforo Total**, se señala al fósforo determinado por medio de disgregación con ácido sulfúrico. El fósforo total abarca no solamente la fracción disuelta, sino también el fósforo particulado que proviene de la biomasa y del fósforo inorgánico.<sup>8</sup>

### 2.1.12 Compuestos de Nitrógeno

El nitrógeno puede existir en el agua en diversas clases de compuestos, que se diferencian en sus etapas de oxidación. Entre estas diferentes etapas de oxidación son posibles transformaciones químicas redox, que se catalizan parcialmente a través de bacterias.

Entre los compuestos de nitrógeno se diferencian los siguientes:

- **Nitrógeno molecular ( $N_2$ )** existe disuelto en el agua y puede asimilarse a través de pocos organismos (fijadores de  $N_2$ ),
- **Compuestos inorgánicos de nitrógeno:** nitritos ( $NO_2$ ), nitratos ( $NO_3$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ); el amonio permanece en equilibrio con amoníaco ( $NH_3$ ); los nitratos y el amonio representan por lo general las formas principales del nitrógeno en el agua,

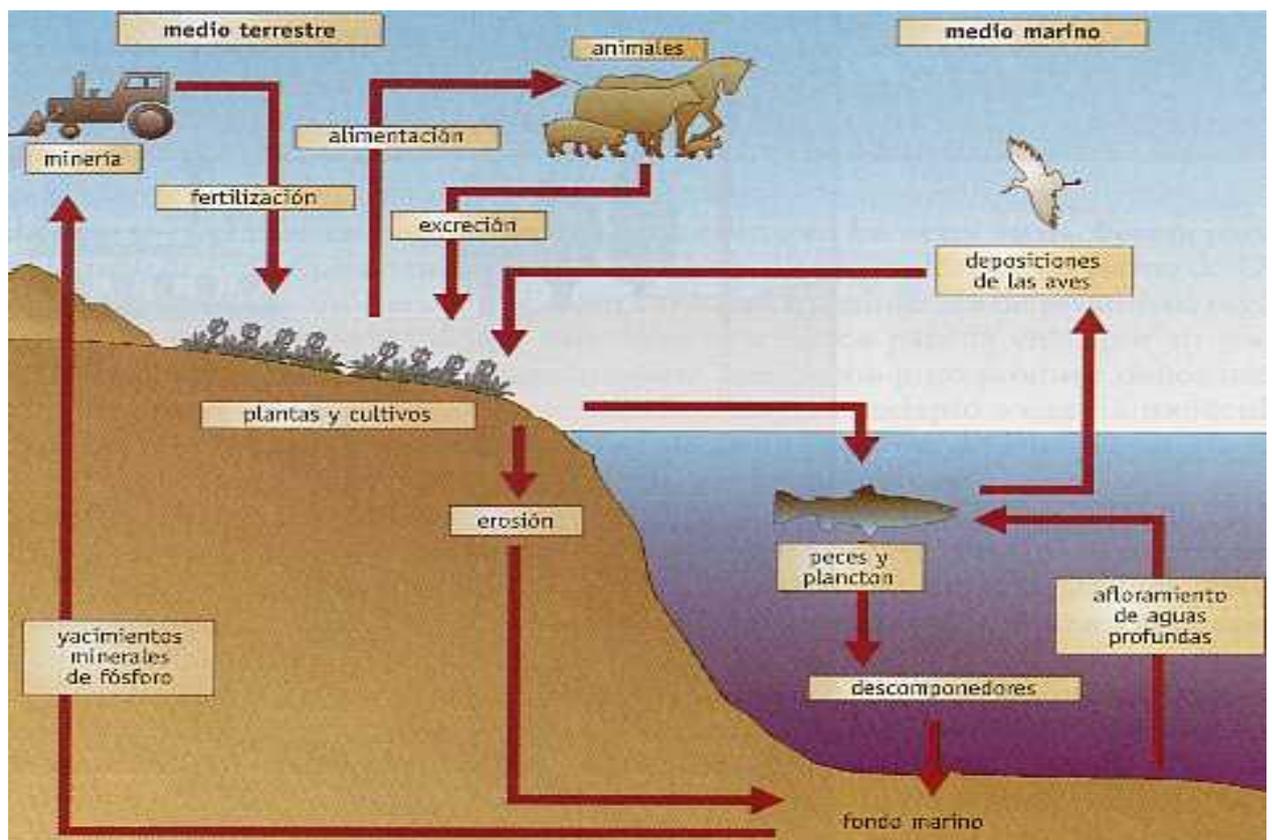
---

<sup>8</sup> Gunkel, G., LIMNOLOGIA Y PROECCION DE ECOSISTEMAS ACUATICOS, Escuela Politecnica Nacional, Centro de Educación Continua Unidad de Ingeniería Ambiental, 1996, Quito, Ecuador.

- **Compuestos orgánicos de nitrógeno disueltos:** por ejemplo aminoácidos y proteínas, provienen de la excreción de nitrógeno y de la degradación de los organismos,
- **Compuestos del nitrógeno disueltos,** como sumatorio de compuestos de nitrógeno orgánico disueltos e inorgánicos,
- **Compuestos de nitrógeno particulado,** conformada por la biomasa viva y muerta de las sustancias en suspensión,
- **Nitrógeno total,** disgregado con ácido sulfúrico como fracción de N de la muestra no filtrada, la concentración de nitrógeno de la porción mineral, no se capta de esta manera.

## 2.2 Ciclo del Fósforo

Gráfico # 1: Ciclo del Fósforo



### 2.2.1 Compuestos de fósforo

Símbolo P, número atómico 15, peso atómico 30.9738. El fósforo forma la base de gran número de compuestos, de los cuales los más importantes son los fosfatos. En todas las formas de vida, los fosfatos desempeñan un papel esencial en los procesos de transferencia de energía, como el metabolismo, la fotosíntesis, la función nerviosa y la acción muscular. Los ácidos nucleicos, que entre otras cosas forman el material hereditario (los cromosomas), son fosfatos, así como cierto número de coenzimas. Los esqueletos de los animales están formados por fosfato de calcio.

Cerca de tres cuartas partes del fósforo total (en todas sus formas químicas) se emplean en Estados Unidos como fertilizantes. Otras aplicaciones importantes son como relleno de detergentes, nutrientes suplementarios en alimentos para animales, ablandadores de agua, aditivos para alimentos y fármacos, agentes de revestimiento en el tratamiento de superficies metálicas, aditivos en metalurgia, plastificantes, insecticidas y aditivos de productos petroleros.

De casi 200 fosfatos minerales diferentes, sólo uno, la fluorapatita,  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ , se extrae esencialmente de grandes depósitos secundarios originados en los huesos de animales y que se hallan en el fondo de mares prehistóricos, y de los guanos depositados sobre rocas antiguas.

La investigación de la química del fósforo indica que pueden existir tantos compuestos basados en el fósforo como los de carbono. En química orgánica se acostumbra agrupar varios compuestos químicos dentro de familias llamadas series homólogas.

Esto también puede hacerse en la química de los compuestos de fósforo, aunque muchas familias están incompletas. La familia mejor conocida de estos compuestos es el grupo de cadenas de fosfatos. Las sales de fosfatos constan de cationes, como el sodio, junto con cadenas de aniones, como  $(\text{P}_n\text{O}_{3n+1})^{(n+2)-}$ , que pueden tener de 1 a 1 000 000 de átomos de fósforo por anión.

Los fosfatos se basan en átomos de fósforo rodeados en una disposición tetraédrica por átomos de oxígeno, el miembro más pequeño de la familia es el anión simple  $\text{PO}_4^{3-}$  (el

ion ortofosfato). La familia de las cadenas de fosfato se basa en hileras alternadas de átomos de fósforo y oxígeno en que cada átomo de fósforo permanece en el centro de un tetraedro de cuatro átomos de oxígeno. Hay también una familia estrechamente relacionada de fosfatos cíclicos.

Una característica estructural interesante de muchos de los compuestos del fósforo conocidos es la formación de estructuras tipo jaula. Ejemplos de estas moléculas son el fósforo blanco,  $P_4$ , y uno de los pentóxidos de fósforo,  $P_4O_{10}$ . Las estructuras tipo red son comunes; por ejemplo, los cristales de fósforo negro en que los átomos están enlazados unos con otros.

En la mayor parte de sus compuestos, el fósforo está enlazado químicamente a cuatro átomos inmediatos. Hay gran número de compuestos en los que uno de los cuatro átomos está ausente y en su lugar hay un par de electrones no compartidos.

Hay también unos cuantos compuestos con cinco o seis átomos unidos al fósforo; son muy reactivos y tienden a ser inestables. Durante los años 60 y 70, se prepararon muchos compuestos orgánicos de fósforo. La mayor parte de estas estructuras químicas incluye tres o cuatro átomos enlazados al fósforo, pero existen también estructuras con dos, cinco o seis átomos unidos a cada átomo de fósforo.

Casi todo el fósforo utilizado en el comercio está en forma de fosfatos. La mayor parte de los fertilizantes fosfatados constan de ortofosfato diácido de calcio u ortofosfato ácido de calcio muy impuros,  $Ca(H_2PO_4)_2$  y  $CaHPO_4$ . Estos fosfatos son sales del ácido ortofosfórico.

El compuesto de fósforo de mayor importancia biológica es el adenosintrifosfato (ATP), que es un éster de la sal, el tripolifosfato de sodio, muy utilizado en detergentes y ablandadores de agua. Casi todas las reacciones en el metabolismo y la fotosíntesis requieren la hidrólisis de este tripolifosfato hasta su derivado pirofosfato, llamado adenosindifosfato (ADP).<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/P.htm>

### 2.2.2 Procesos Biogeoquímicos del Fósforo

El Ciclo del Fósforo, particularmente en el sistema acuático, es de especial interés para los Científicos e Ingenieros Ambientales. El fósforo, un elemento esencial para el crecimiento, se encuentra muy frecuentemente suministrado en ríos y lagos de una manera limitada, en donde carbón y nitrógeno se encuentran en mayor cantidad. Por lo tanto, el crecimiento excesivo de algas y maleza acuática en ríos y lagos puede ser frecuentemente reducido o prevenido al limitar el suministro de fósforo únicamente.

El Fósforo por lo tanto es un factor limitante.

El fósforo se encuentra en el suelo y en rocas como fosfato de calcio ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) y como ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ ). Ya que el fósforo que se encuentra en las rocas es muy poco soluble, solo una pequeña porción de fósforo es lixiviado dentro de una solución, resultando en una concentración tan baja como de 1 ppb. El fósforo es necesario para todos los procesos biológicos, su concentración en aguas naturales es mas tarde reducida por el sistema biológico. Debido a los cambios estacionales en producción en plantas y animales, y por el incremento de fósforo en las corrientes de agua, las concentraciones de fósforo en el agua variaran notablemente durante el año.

El aporte de fósforo producido por las actividades humanas puede ser mucho mayor que las fuentes naturales. Los efluentes domésticos contienen fósforo en heces y en detergentes, en los cuales fosfatos son usados (como agentes ablandadores del agua), aunque estas últimos aportes se han reducido grandemente en muchos lugares, gracias a leyes aplicadas. Escorrentías de áreas agrícolas que han recibido fertilizantes (que normalmente contienen: nitrógeno, fósforo y potasio) puede ser otra fuente importante de fósforo, por lo tanto en aguas contaminadas, fósforos solubles pueden alcanzar mucho mayores concentraciones que en aguas libres de contaminación. Esta gran cantidad de fósforo permite el crecimiento de ciertos organismos como las algas filamentosas, estas no son muy apreciadas debido a que causan problemas en el suministro de agua, tanto en su sabor como en el olor, además de deteriorar los filtros de las plantas de tratamiento.

El fósforo es un constituyente de: ácidos nucleicos, fosfolípidos, y numerosos compuestos fosforados. Se ha notado que el radio del fósforo a otros elementos en los organismos es mucho mayor que el radio de fósforo a otros elementos en las fuentes externas como el suelo y el agua, por lo que indica que el suministro de fósforo es crítico para el crecimiento biológico en lagos.

Para su consumo, plantas y bacterias requieren fósforo en la forma de fosfatos disueltos, generalmente como ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ). Lo toman directamente, transformando el  $\text{PO}_4$  a la forma orgánica insoluble en su protoplasma. La descomposición de estos organismos disuelve y libera (mineraliza) el fósforo para su reutilización. De todas maneras, en lagos, gran parte del fosfato es removido del agua por los sedimentos, el cual eliminará el fósforo de la circulación estacional del agua.

Particularmente Fósforo Orgánico se encuentra presente en células vivas y muertas, y parte del Fósforo Inorgánico Disuelto en el agua es el resultado de materia orgánica de excrementos y descomposiciones. Rigler (1964) encontró dos patrones para el cambio de fósforo:

1. Fósforo Inorgánico bajo durante la mayor parte del año, pero sufre un incremento desde los meses de Diciembre a Abril (debido a la actividad biológica limitada).
2. Fósforo Orgánico no muestra patrones estacionales, pero sufre un pequeño incremento en invierno.

El fósforo inorgánico es tomado por el fitoplancton en los lagos, de esta manera se presenta un descenso en la concentración de fósforo disuelto.

El fósforo bajo condiciones de oxidación se encuentra atrapado en los sedimentos (como se produce cuando el lago se encuentra en periodo de mezcla), y es liberado a la columna de agua bajo condiciones de estancamiento (niveles bajos de oxígeno). En verano la distribución de estos componentes parece ser estable, las células de plantas y animales continuamente mueren y son reemplazadas por nuevas células. Utilizando el isótopo radioactivo del fósforo  $^{32}\text{P}$ , Rigler mostró que el  $^{32}\text{P}$  vuelve, o es rehusado, con una rapidez y eficiencia destacables. En verano, el promedio de reutilización va desde

0,9 a 7,5 minutos. A medida que la estación avanza al invierno, hay un notable alargamiento en el tiempo de reutilización hasta alcanzar el máximo el cual ocurre cuando el lago es cubierto por una capa de hielo o nieve (bajas temperaturas). En los dos extremos, Rigler encontró un tiempo de reutilización de un lago en invierno de 7 minutos, solamente 3,5 veces más largo el tiempo de reutilización que en verano, y 10000 minutos en otro lago en invierno, lo que fue un resultado más típico en los lagos que estudio.

La rapidez y continuidad de este tiempo de reutilización del fósforo es lo que permite que la población de fitoplancton se expanda, aunque la escasez de fósforo en muchos cuerpos de agua lo defina como nutriente limitante, aportes de fósforo son rápidamente asimilados por las algas, las cuales crecen escandalosamente.<sup>10</sup>

### **2.3 Elementos de limnología**

El estudio de las características físicas, químicas y biológicas de ríos y lagunas de agua dulce se denomina limnología, en contraparte, el estudio de áreas mayores, como océanos, se denomina Oceanografía. Es importante que las personas que son responsables de la protección de las fuentes de agua dulce, incluyendo actividades como irrigación, disposición de desechos, erosión en las riveras de los ríos, entiendan como el sistema de agua dulce funciona.<sup>11</sup>

Roldan en su obra Fundamentos de Limnología Neotropical, afirma que la zona comprendida entre los 20° de latitud norte y los 20° de latitud sur, corresponde al neotrópico, el Ecuador por tanto pertenece al neotrópico por su ubicación geográfica. Los organismos de las zonas tropicales son mucho mas diversos, existen muchas especies que no se encuentran en otras zonas como la templada por citar un ejemplo.

---

<sup>10</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCINCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

<sup>11</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCINCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

Además el Trópico Americano es muy particular, su fauna, flora, e hidrología tiene características propias que difieren en gran medida a los trópicos de África y Asia.<sup>12</sup>

Algunas definiciones importantes son:

Un Organismo Béntico es una planta o animal que vive cerca o en el fondo de lagos, ríos, arroyos u océanos.<sup>13</sup>

Según Keller, la limnología es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera como estas son afectadas por el ambiente físico, químico y biológico.<sup>14</sup>

Según Baldi, la limnología es la ciencia que trata de las interrelaciones de procesos y métodos donde quiera que haya transformación de materia y energía en el agua.<sup>15</sup>

El Epilimnio, la capa de agua superior de un lago.

Zona Eufótica, capa o profundidad del agua a la que penetra suficiente luz para que ocurra la fotosíntesis.

El Hypolimnio es el nivel inferior de agua en un lago o laguna el cual mantiene una temperatura constante.

Fitoplancton, Cualquiera de las muchas especies de algas, unicelulares o compuestas por pequeños grupos de células, que viven suspendidas en el agua cerca de la superficie. Con nutrientes abundantes, se hace tan numeroso que da al agua una coloración verdosa o de un verde espeso.

El Metalimnio, es el nivel medio de las aguas de un lago, en donde ocurre el termoclina (la temperatura y el contenido de oxígeno desciende rápidamente con la altura).

---

<sup>12</sup> Roldan, G., FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL, Primera edición, Editorial Universidad de Antioquia, 1992, Medellín-Colombia.

<sup>13</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

<sup>14</sup> Keller, R., gexasser und wasserhaushalt des Fest-Landes. Haude U1 Spenersche. Verl. 1961, Berlin – Alemania.

<sup>15</sup> Baldi, E. LA SITUACION ACTUELLE DE LA RESERCHE LIMNOLOGIQUE APRES LE CONGRES DE ZURICH, 1949, Zurich-Suiza.

### 2.3.1 Comunidades Bióticas

Los organismos que viven suspendidos en la columna de agua son llamados plankton. En aguas con flujo rápido no existe suficiente tiempo para que se desarrollen grandes poblaciones, pero a medida que el flujo disminuye, disminuye el aporte de las cuencas, y el volumen, la profundidad del agua aumentan, comienzan a crearse distintas poblaciones de fitoplancton y zooplancton. El fitoplancton es un grupo diverso de algas microscópicas verdes, de una docena de grupos diferentes. Los grupos predominantes son las algas verdes unicelulares. Las algas azul-verdosas pueden formar enormes poblaciones bajo condiciones favorables, causando lo que se llama el florecimiento de las algas, en los cuales dan color al agua, y puede producir olores y sabores característicos de difícil remoción para las plantas de tratamiento. El número de células puede alcanzar  $8 \times 10^6$  por mL. Otros grupos incluyen células con formas bonitas como las diatomeas con sus esqueletos de silicón, la alga amarilla-verde, las euglenoides, y las dinoflageladas. En aguas saladas las algas cafés y rojas son de gran importancia, pero en agua dulce estos grupos tienen muy pocos representantes.<sup>16</sup>

El florecimiento microbiano (algas y cianobacterias) no se refiere a flores, sino al acelerado crecimiento de fitoplancton en la superficie de lagos que en otras circunstancias sería oligotrófico. Llegan a ser tan intensos que el agua se torna verde, pero por lo común duran apenas una o dos semanas y luego ceden. Cuando una masa de agua se enriquece de nutrientes, los florecimientos se hacen más graves y prolongados hasta que logran abarcar toda la temporada de crecimiento.<sup>17</sup>

En agua dulce, el zooplancton incluye muchos crustáceos de menor tamaño (familias de camarones y cangrejos) y rotíferos. Muchos de estos organismos filtran gran cantidad de agua diariamente, de la cual extraen fitoplancton y pequeño zooplancton (protozoarios), así como también bacterias y materia orgánica muerta. Otros son más carnívoros, buscando, cazando, mordiendo, despedazando su alimento. El zooplancton varía desde 70 a 3000  $\mu\text{m}$ . Algunas tienen mecanismos específicos de flotación, como gotas de aceite, vejigas de aire. Muchos de ellas poseen movimientos por medio de cilios o

---

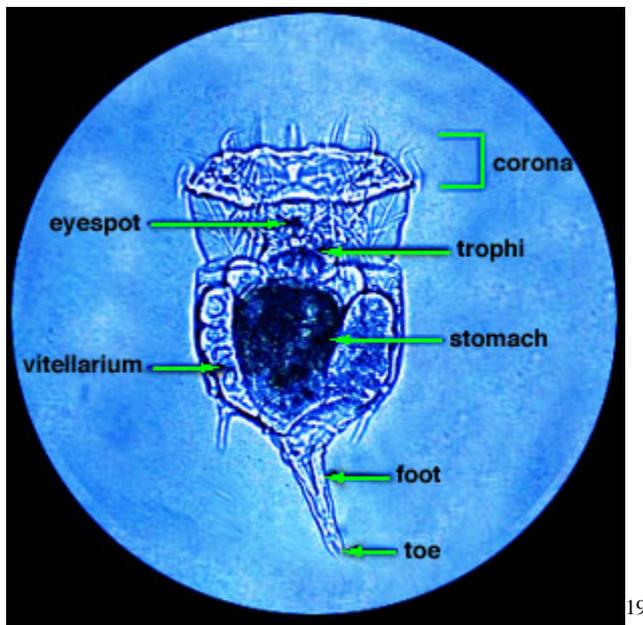
<sup>16</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

<sup>17</sup> Nebel, B., Wright, R., CIENCIAS AMBIENTALES: ECOLOGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, 1999, Naucalpan de Juárez-México.

flagelos, o en sus formas grandes, piernas nadadoras. Ellas pueden de esta manera alcanzar sus presas, y también cambiar su posición en la columna de agua mejorando sus oportunidades de alimento y para evitar a sus predadores. Algunas tienen patrones de migración bien marcados, desplazándose muchos metros diariamente, alimentándose por la noche en niveles superiores de los lagos y ríos, y sumergiéndose en las profundidades durante el día. Algunas larvas de insectos y también peces forman parte de este ecosistema, alimentándose de fitoplancton y zooplancton, en ocasiones peces, reptiles, aves y mamíferos forman parte de este ecosistema.

Al descender el flujo, en zonas de estancamiento, los sedimentos pueden depositarse en el fondo, proveyendo un medio para que plantas con raíces largas (macrofitas) puedan establecerse, además de un hábitat para invertebrados bénticos de fango. Estas moradas ricas en arcilla, materia orgánica, son una nueva fuente de alimento en la superficie del fango. Los gusanos acuáticos oligochaete de la familia de los gusanos de tierra, chironomidos (larvas enanas), moluscos bivalvos, como los mejillones y las almejas, viven en fango.<sup>18</sup>

### Gráfico # 2 : Rotifero



<sup>18</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

<sup>19</sup> <http://dmc.utep.edu/rotifer/anat.html>

### **2.3.2 Luz en Lagos**

La cantidad de luz disponible a diferentes profundidades de un lago (o en ríos muy grandes) es importante para la ecología del lago. La luz visible es absorbida por el agua, por las sustancias disueltas en ella, y por material particulado, las mas altas y las mas bajas longitudes de ondas (rojas y azules) son las que mejor son absorbidas, así algunos metros de profundidad la calidad de la luz esta dada por las longitudes de onda verdes y amarillas. La materia orgánica absorbe eficazmente las longitudes de onda rojas y azules. A medida que la profundidad aumenta la longitud de onda de la luz disminuye proporcionalmente. Teóricamente, la luz no se extingue, pero antes que alcance niveles de visualización indetectables, cae hasta una intensidad de superficie de 1%. Esto es muy importante, ya que describe de alguna manera el nivel hasta en el cual la fotosíntesis de las algas se reduce a solo respirar. A esto se le denomina el Punto de Compensación, por debajo de este punto el crecimiento de las algas no puede ocurrir, por arriba de este punto se encuentra la Zona Eufotica, en el cual las células fitoplancton pueden crecer. En algunas ocasiones el fondo del lago se encuentra en la zona eufotica, en dicho caso hierbas acuáticas lo cubren. En la mayoría de los cuerpos de agua en el mundo, la producción primaria esta confinada a menos de la mitad de la masa de agua, y en algunos lagos profundos se limita a una capa fina, por debajo de eso se encuentra un inmenso mundo en tinieblas. Este mundo parece ser esquivo para la vida, sin embargo, zooplancton, bacterias, hongos, peces e invertebrados pueden vivir en estas condiciones permanentemente o visitarlo por periodos cortos de tiempo.<sup>20</sup>

### **2.3.3 Temperatura y Estratificación Vertical de lagos**

En arroyos con flujo turbulento, en los cuales el agua esta sometida a mezcla continua, no se desarrollan gradientes de temperatura. En ríos con flujo laminar o de poca velocidad y profundos, especialmente lagos, la superficie de agua tiende a calentarse mas rápidamente que la porción de agua que se encuentra por debajo. Cuando los vientos y las corrientes son insuficientes para mezclar el agua, se producen niveles,

---

<sup>20</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCINCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

produciéndose gradientes de temperatura. El calor de radiación es ampliamente absorbido por el nivel superior, usualmente el primer metro o los dos metros, esta cálida capa es llamada Epilimnio, y la capa fría por debajo de este nivel es llamada Hypolimnio, entre estas dos capas existe una capa de transición llamada Metalimnio. En esta zona de transición la temperatura cambia rápidamente en pequeños cambios de profundidad. La ocurrencia de este acelerado cambio vertical de temperatura con el desarrollo de estratificación es llamado Termoclina.

La productividad de un lago esta directamente afectada por la estratificación térmica y por sus periodos de mezcla.<sup>21</sup>

La estratificación térmica que se da durante el día, se pierde por la noche, pero si no existen lluvias ni corrientes de aire fuertes es posible que la estratificación dure algunos días.

Debido a su posición geográfica el Ecuador recibe la incidencia de los rayos solares de un modo constante durante todo el año considerando el área en relación a su altura sobre el nivel del mar.

Según Holdrige, la zona de estudio estaría asentada en el Piso Calido Tropical por su temperatura ambiente aproximada a los 24°C y su nivel sobre el mar no superior a 1000m.

En las regiones tropicales, los periodos de estratificación térmica en lagunas y ciénegas son muy cortos por su variación de temperatura durante el día de tal modo que su circulación es permanente y generalmente reciben el carácter de polimicticas y de poca estabilidad.<sup>22</sup>

La estratificación térmica también influencia en la calidad del agua. El epilimnio alberga abundante crecimiento de algas, mientras que el hypolimnio en lagos eutrofos

---

<sup>21</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCINCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

<sup>22</sup> Ayala, P., CARACTERIZACIÓN LIMNOLOGICA DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA E IDENTIFICAIÓN DE LAS CARÁCTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS BASICAS DE LA ZONA DE LIMONCOCHA, 2003, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

aminora su contenido de oxígeno disuelto. Durante estratificaciones térmicas, se encuentra usualmente agua de gran calidad justo debajo de la termoclina.<sup>23</sup>

## **2.4 Producción Primaria y Secundaria**

### **2.4.1 Productores Primarios.**

Los productores primarios son los organismos que hacen entrar la energía en los ecosistemas. Los principales productores primarios son las plantas verdes terrestres y acuáticas, incluidas las algas, y algunas bacterias. Forman el 99,9% en peso de los seres vivos de la biosfera.

#### **2.4.1.1 Fotosíntesis y Respiración**

La fotosíntesis es el proceso por el que se capta la energía luminosa que procede del sol y se convierte en energía química. Con esta energía el CO<sub>2</sub>, el agua y los nitratos que las plantas absorben reaccionan sintetizando las moléculas de carbohidratos (glucosa, almidón, celulosa, etc.), lípidos (aceites, vitaminas, etc.), proteínas y ácidos nucleicos (ADN y ARN) que forman las estructuras vivas de la planta.

Las plantas crecen y se desarrollan gracias a la fotosíntesis, pero respiran en los periodos en los que no pueden obtener energía por fotosíntesis porque no hay luz o porque tienen que mantener los estomas cerrados. En la respiración se oxidan las moléculas orgánicas con oxígeno del aire para obtener la energía necesaria para los procesos vitales. En este proceso se consume O<sub>2</sub> y se desprende CO<sub>2</sub> y agua, por lo que, en cierta forma, es lo contrario de la fotosíntesis que toma CO<sub>2</sub> y agua desprendiendo O<sub>2</sub>.

---

<sup>23</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

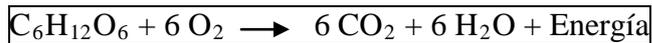
## Fotosíntesis y respiración

La fotosíntesis se produce en los cloroplastos y su reacción global es:



La energía luminosa es captada por la clorofila de las células verdes de las plantas y utilizada para regenerar moléculas de ATP y NADPH (Fase luminosa). En una segunda fase la energía química contenida en el ATP y el NADPH es utilizada para reducir moléculas de  $\text{CO}_2$  hasta gliceraldehído, a partir del cual se sintetizan las distintas moléculas orgánicas, principalmente glucosa. Con la glucosa se forma almidón, celulosa y otros carbohidratos esenciales en la constitución de las plantas.

La respiración se realiza en las mitocondrias con una reacción global:



La energía desprendida en esta reacción queda almacenada en ATP y NADH que la célula puede utilizar para cualquier proceso en el que necesite energía

### **2.4.1.2 Producción Primaria Bruta y Neta**

Cuando se habla de producción de un ecosistema se hace referencia a la cantidad de energía que ese ecosistema es capaz de aprovechar. Una pradera húmeda y templada, por ejemplo, es capaz de convertir más energía luminosa en biomasa que un desierto y, por tanto, su producción es mayor.

La producción primaria bruta de un ecosistema es la energía total fijada por fotosíntesis por las plantas. La producción primaria neta es la energía fijada por fotosíntesis menos la energía empleada en la respiración, es decir la producción primaria bruta menos la respiración.

Cuando la producción 1ª neta es positiva, la biomasa de las plantas del ecosistema va aumentando. Es lo que sucede, por ejemplo, en un bosque joven en el que los árboles

van creciendo y aumentando su número. Cuando el bosque ha envejecido, sigue haciendo fotosíntesis pero toda la energía que recoge la emplea en la respiración, la producción neta se hace cero y la masa de vegetales del bosque ya no aumenta.

**Tabla # 1: Producción en la Biosfera**

	<b>Producción anual (entre bruta y neta) (gC/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Extensión (10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>)</b>	<b>Producción anual (10<sup>6</sup> ton C)</b>
<b>Bosques</b>	400	41	16 400
<b>Cultivos</b>	350	15	5 250
<b>Estepas y pastos</b>	200	30	6 000
<b>Desiertos</b>	50	40	2 000
<b>Rocas, hielos, ciudades</b>	0	22	0
<b>Tierras</b>		148	29 650
<b>Océanos</b>	100	361	36 100
<b>Aguas continentales</b>	100	1,9	190
<b>Aguas</b>		362.9	36 290
<b>Total</b>			65 940

<sup>24</sup>

### 2.4.1.3 Eficiencia

En el concepto de eficiencia no interesa sólo la cantidad total de energía asimilada por el ecosistema en energía química sino que proporción es del total de energía luminosa que le llega al ecosistema

Llamamos eficiencia de la producción primaria al cociente entre la energía fijada por la producción primaria y la energía de la luz solar que llega a ese ecosistema.

<sup>24</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>

El proceso de fotosíntesis podría llegar a tener una eficiencia teórica de hasta un 9% de la radiación que llega a la superficie, sobre las plantas. Es decir un 2% de la energía que llega a la parte alta de la atmósfera. Pero nunca se han medido, en la realidad, valores tan altos. El valor máximo observado, en un caso muy especial de una planta tropical con valores de iluminación muy altos, ha sido de un 4,5% de la radiación total que llegaba a la planta.

Eficiencias "normales", en plena estación de crecimiento, con buenas condiciones de humedad, temperatura, etc. son:

**Tabla # 2 : Eficiencia de distintas comunidades vegetales**

<b>Comunidades Vegetales</b>	<b>Eficiencia de la Producción Primaria Bruta</b>	<b>Porcentaje de energía dedicado a Respiración</b>
<b>Comunidades de Fitoplancton</b>	< 0,5%	10-40%
<b>Plantas acuáticas enraizadas y algas de poca profundidad</b>	>0,5%	
<b>Bosques</b>	2-3,5%	50-75%
<b>Praderas y Comunidades herbáceas</b>	1-2%	40-50%
<b>Sombríos</b>	1,5%	40-50%

<sup>25</sup>

Se puede decir, en resumen, que en plena estación de crecimiento y con las condiciones que hemos dicho, eficiencias muy normales son del 1% de la energía que llega a las plantas, o lo que es lo mismo del 0,2% de la energía total que llega a la parte alta de la atmósfera.

Las plantas están bien adaptadas al uso de luz difusa y de relativamente baja intensidad y son mediocres usando luz de alta intensidad, como la del mediodía, por ejemplo. La explicación más probable de por qué no usan mejor la luz que reciben, es que su actividad se encuentra limitada por la escasez de elementos químicos y no por la luz.

<sup>25</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>

Por tanto, en la evolución no han sido necesitado desarrollar mecanismos de fotosíntesis más eficientes.

El C, el N y el P , entre otros, son los elementos que las plantas necesitan. La producción depende siempre del más escaso de esos elementos: el llamado factor limitante. Normalmente suele ser el P, aunque a veces lo es el N.

#### Relación Productividad/Biomasa

Al analizar la productividad en los ecosistemas resulta muy interesante el cociente productividad neta / biomasa. Así, por ejemplo, en una población de algas en la que cada alga se dividiera en dos iguales cada 24 horas, ese cociente sería de 1 (eficiencia del 100%). Significa que cada gramo de algas dobla su peso en 24 horas.

La relación productividad / biomasa es muy alta en el plancton, puede ser cercana al 100% diario. Esto quiere decir que la población se renueva con gran rapidez. Significaría que pueden llegar a tener tasas de renovación de hasta un día.

En la vegetación terrestre el valor suele estar entre un 2 y un 100% anual lo que significa tasas de renovación de entre 1 y 50 años.<sup>26</sup>

#### **2.4.1.4 Estimados de Producción Primaria**

El término productor primario es utilizado para designar cualquier organismo autótrofo que es capaz de utilizar la energía radiante del sol directamente. Esto incluye organismos capaces de realizar fotosíntesis. Transeau (1926) calculo la producción primaria de un sembrío de maíz en la parte central de Estados Unidos, con un estimado de 10000 plantas por cada 0,405 hectárea, lo cual pesaba unos 6000 kilogramos, y en un análisis este material. Calculó que las plantas de maíz (chacra) contienen 2674 Kg. de carbón, todo el cual ingresa como CO<sub>2</sub> por medio de la fotosíntesis. Esto es equivalente a 6687 Kg. de glucosa. Pero las plantas de maíz utilizan parte de la glucosa para actividades de respiración. Estimó que 2045 Kg. de glucosa es utilizada en este

---

<sup>26</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>

proceso, con esto se tiene un total o producción bruta de 8732 kg. Un Kg. de glucosa requiere un ingreso de energía de  $15,7 \times 10^3$  kJ. De esta manera,  $138,1 \times 10^6$  kJ es utilizada en producción bruta, del cual  $32,2 \times 10^6$  kJ es utilizada en actividades metabólicas-respiración. Otro requerimiento de energía en las plantas es la transpiración, evaporación biológicamente controlada desde las plantas por el cual agua y nutrientes son tomados desde el suelo y transportados a través de las plantas a las hojas. El agua entonces se evapora a través de pequeños poros de las hojas lo cuales pueden estar abiertos o cerrados para así controlar la pérdida de agua. Es de alguna manera impresionante entender que la eficiencia en el aprovechamiento y utilización de la energía de las plantas de maíz es solamente un 1,6%, solamente el 1,6% de la energía total disponible es incorporada como carbohidratos a través de la fotosíntesis.

Matemáticamente:

$$\frac{\text{Producción Bruta}}{\text{Radiación Solar}} \times 100 = \frac{138 \times 10^6 \text{ kJ}}{8,55 \times 10^6 \text{ kJ}} \times 100 = 1,6\%$$

La mayoría de los ecosistemas operan con una eficiencia que generalmente varia entre el rango de 0,1 a 2 por ciento en la naturaleza, mientras que los mejores sistemas agrícolas pueden alcanzar valores tan altos como el de 3%.

Los sistemas de aguas abiertas, los cuales cubre la mayoría de la superficie terrestre, están cercanos a 0,1%, aunque reciente información sugiere que la productividad del océano podría estar subestimada.

Otro factor interesante en la conversión de energía es la eficiencia con la cual los autótrofos usan la energía que han incorporado. Esta utilización es en realidad la diferencia entre la producción bruta y la producción neta expresada en porcentaje.

$$\frac{\text{energía de Respiración}}{\text{energía de Producción Bruta}} \times 100 = \frac{32,2 \times 10^6 \text{ kJ}}{138,1 \times 10^6 \text{ kJ}} \times 100 = 23,4\%$$

En otras palabras, aunque solamente el 1,6% del total de la energía es utilizada para la producción de carbohidratos, las plantas de maíz son muy eficientes al convertir 76,6% de la energía capturada en biomasa.

#### 2.4.1.5 Comparación de la Producción Primaria en Diferentes Ecosistemas del Mundo

La Producción bruta esta controlada por un número de factores como:

- Respiración
- Suministro de Nutrientes ( Principalmente nitrógeno y fósforo )
- Un numero de variables climáticas
- Suministro de Luz
- Duración de la Periodo de Crecimiento
- Temperatura
- Suministro de Agua

Es muy importante fijarnos en la siguiente tabla ya que nos dice mucho acerca sobre la producción mundial de alimentos y las principales diferencias entre los ecosistemas.

**Tabla # 3 : La Producción Primaria de la Tierra**

<b>Ecosistema</b>	<b>Área 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup></b>	<b>Productividad primaria neta por unidad de área, rango normal g seco/m<sup>2</sup>/año</b>	<b>Promedio</b>	<b>Producción primaria neta mundial 109 t seca/año</b>
<b>Bosque húmedo tropical</b>	24,5	1000-3500	2000	49,4

<b>Bosque templado</b>	12	600-2500	1250	14,9
<b>Bosque boreal</b>	12	400-2000	800	9,6
<b>Bosques y matorrales</b>	8,5	250-1200	700	6
<b>Sabana</b>	15	200-2000	900	13,5
<b>Praderas templadas</b>	9	200-1500	600	5,4
<b>Tundra y Alpinos</b>	8	10-400	140	1,1
<b>Desierto y semidesierto</b>	42	0-250	40	1,7
<b>Suelo cultivado</b>	14	100-3500	650	9,1
<b>Ciénegas y pantanos</b>	2	800-3500	2000	4
<b>Lagos y arroyos</b>	2	100-1500	250	0,5
<b>Continente total</b>	149		773	115
<b>Aguas abiertas (océano)</b>	332	2-400	125	41,5
<b>Arrecife continental</b>	27	200-1000	360	9,8
<b>Manto de algas, corales, estuarios</b>	2	500-4000	1800	3,7
<b>Total marino</b>	361		152	55
<b>Total Mundial</b>	510		333	170

27

<sup>27</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

## 2.4.2 Productores secundarios

Los productores secundarios son todo el conjunto de animales y **detritívoros** que se alimentan de los organismos fotosintéticos.

Los herbívoros se alimentan directamente de las plantas, pero los diferentes niveles de carnívoros y los detritívoros también reciben la energía indirectamente de las plantas, a través de la cadena trófica.

Uso de la energía por los animales

Los animales obtienen la energía para su metabolismo de la oxidación de los alimentos (respiración), pero no todo lo que comen acaba siendo oxidado. Parte se desecha en las heces o en la orina, parte se difunde en forma de calor, etc.

La repartición de energía en un animal es:

**Gráfico # 3 : Repartición de energía en un animal**



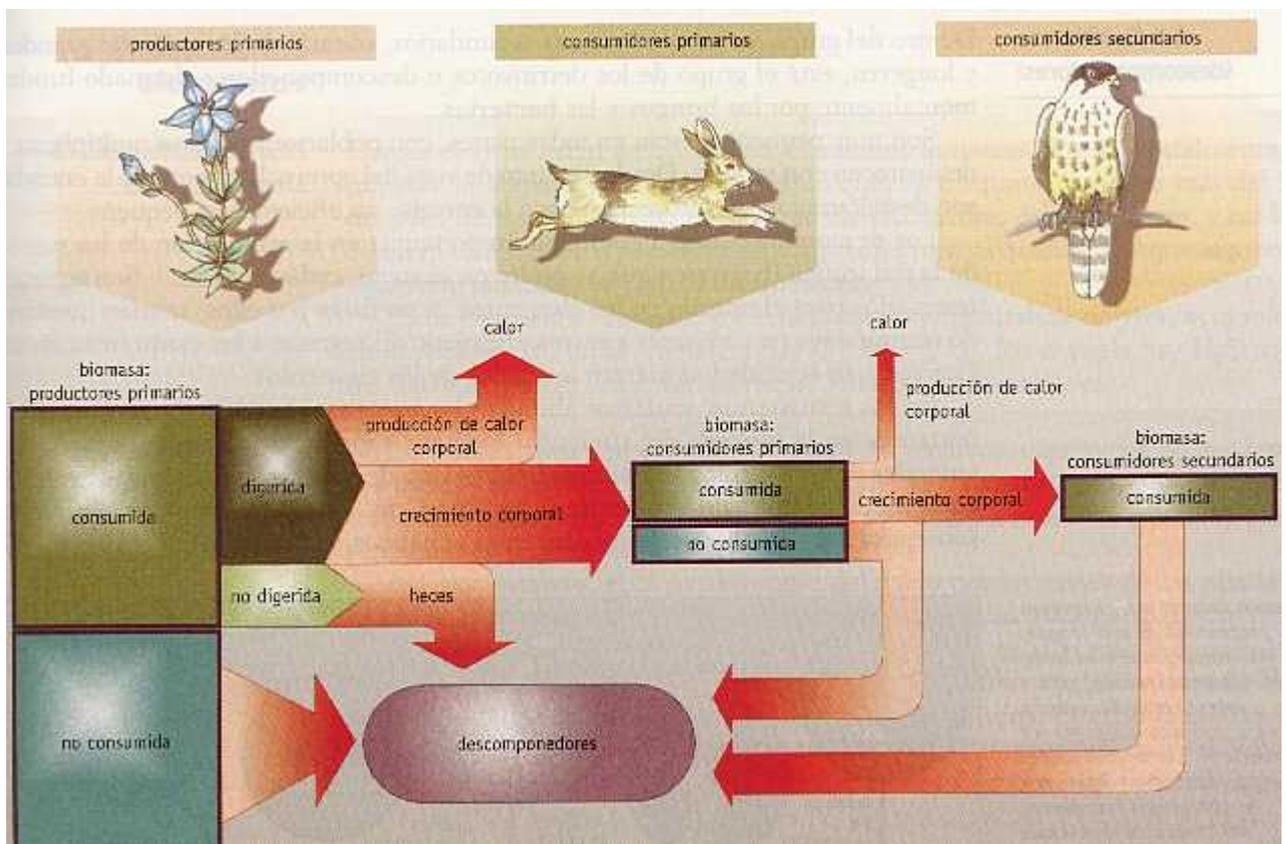
Así, por ejemplo, una ardilla se alimenta de piñones, que son la energía bruta que introduce en su sistema digestivo, pero deja como residuos todo el resto de la piña (energía no utilizada). De los piñones que ha comido parte se elimina en las heces y sólo los nutrientes digeribles pasan a la sangre para ser distribuidos entre las células. De esta

<sup>28</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>

energía parte se elimina en la orina y sólo el resto se utiliza para el metabolismo. Parte de la energía metabólica se emplea para mantener su organismo vivo y activo y parte (producción secundaria neta) para crecer o reproducirse.

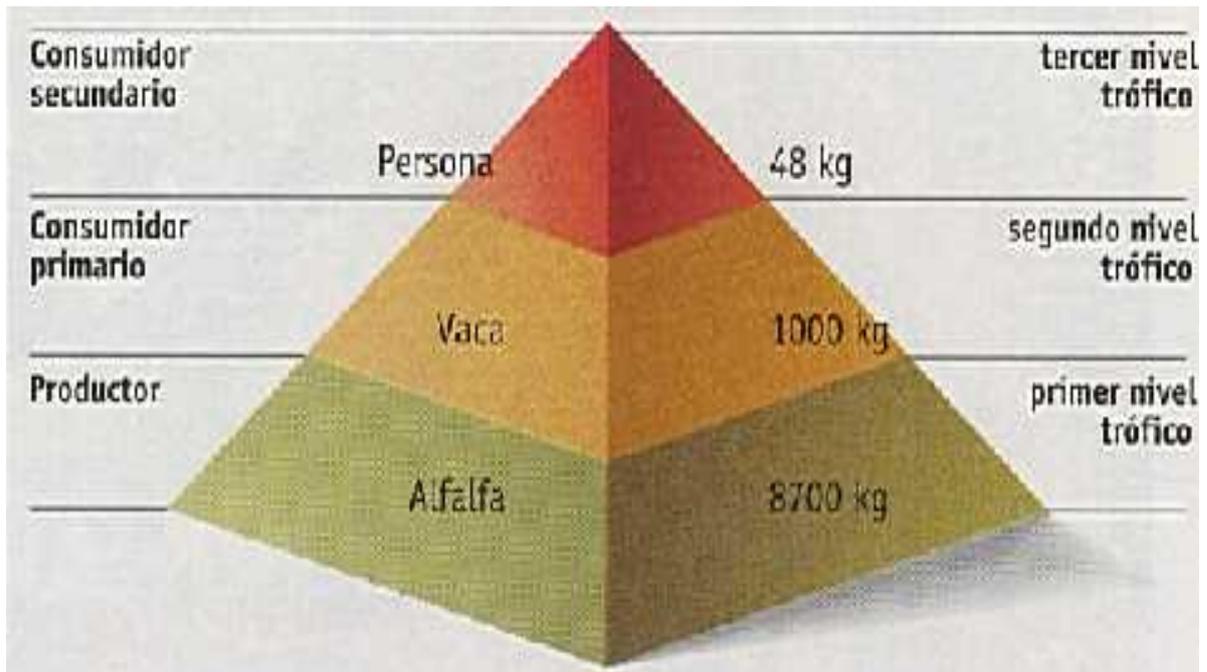
La mayor parte de la energía absorbida se utiliza en el mantenimiento o se pierde a través de las heces. Sólo una pequeña parte se convierte en producción secundaria (aumento de peso del animal o nuevas crías). Sólo una fracción insignificante de la energía puesta en juego en la biosfera circula por las estructuras más complejas de la vida, las de los animales superiores.

#### Gráfico # 4 : Ciclo energético



29

<sup>29</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>



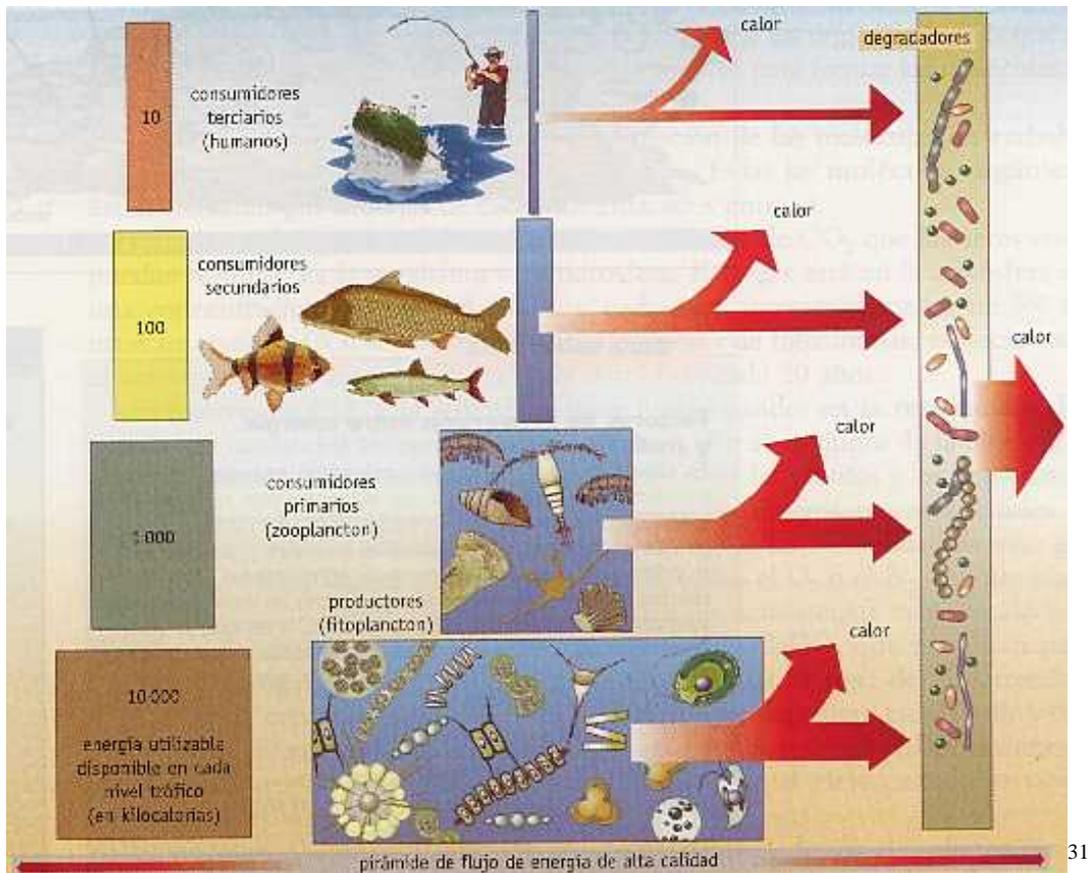
30

Por este motivo, las biomazas de los niveles tróficos decrecen rápidamente a medida que aumenta el nivel. Así, por ejemplo, con 8 toneladas de hierba se alimenta una tonelada de vacas, y con una tonelada de vaca se alimenta una persona de unos 48 kg.

En ecosistemas acuáticos, cuando la diferencia de tasa de renovación entre dos niveles tróficos sucesivos es muy grande, no se produce esta reducción de la biomasa. Así sucede en algunos sistemas planctónicos en los que la masa de fitoplancton se puede duplicar en 24 horas y 1 Kg. de fitoplancton puede alimentar a más de 1 Kg. de zooplancton.

<sup>30</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>

**Gráfico # 5 : Pirámide de flujo de energía de alta calidad**



31

### 2.4.2.1 Detritívoros (Descomponedores)

Dentro del grupo de los productores secundarios, además de los animales grandes y longevos, está el grupo de los detritívoros o descomponedores, formado fundamentalmente por los hongos y las bacterias.

Son muy pequeños, están en todas partes, con poblaciones que se multiplican y se desvanecen con rapidez. Desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía son despilfarradores y aprovechan poco la energía: su eficiencia es pequeña.

Los descomponedores tienen gran importancia en la asimilación de los restos del resto de la red trófica (hojarasca que se pudre en el suelo, cadáveres, etc.). Son agentes necesarios para el retorno de los elementos, que si no fuera por ellos se irían quedando acumulados en cadáveres y restos orgánicos sin volver a las estructuras vivas. Gracias a su actividad se cierran los ciclos de los elementos.

<sup>31</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>

En los ecosistemas acuáticos abundan las bacterias. Los hongos son muy importantes en la biología del suelo. Su biomasa supera frecuentemente la de los animales del ecosistema. La biomasa bacteriana de los ecosistemas terrestres está comprendida habitualmente entre 0,2 y 15 g C/m<sup>2</sup> (la de los animales raramente sobrepasa 2 g C/m<sup>2</sup>), y en los ecosistemas acuáticos oscila entre 0,1 y 10 g C/m<sup>2</sup>.<sup>32</sup>

## 2.5 Sedimentos

Los sedimentos son tomados casi siempre como un tipo de contaminación debido al proceso natural de erosión. Los sedimentos producidos por este proceso representan el más extenso agente contaminante en aguas superficiales.

Se estima que los sólidos suspendidos que se encuentran en aguas naturales son al menos 700 veces más que en los sólidos suspendidos provenientes de las descargas de desagües.

Dos factores no comúnmente conocidos son los efectos que los seres humanos causan en los niveles de erosión y los efectos de largo alcance de la sedimentación. Los niveles de erosión en el suelo se incrementan de 4 a 9 veces debido a labores agrícolas y puede aumentar a un factor de 100 como resultado de actividades de construcción. Las actividades de minería a cielo abierto influyen fuertemente en el rango de erosión en un área. Los sedimentos producidos por un área de minería a cielo abierto promedian un valor cercano a 30000 toneladas por milla cuadrada al año, una cantidad que va de 10 a 60 veces mas que los producidos por las tierras agrícolas. El monto de sedimento lavado o removido de un área, depende en gran medida de las condiciones del suelo.

**Tabla # 4 : Efectos de la cobertura vegetal en la erosión del suelo**

Buena cobertura vegetal del suelo 60-75% de cobertura vegetal: plantas, pajonales	Fuga de superficie: Precipitación del 2%	Perdida de suelo: 0,05 toneladas por acre
Regular cobertura vegetal del suelo	Fuga de superficie:	Perdida de suelo:

<sup>32</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>

37% de cobertura vegetal: plantas, pajonales	Precipitación del 14%	0,5 toneladas por acre
Cobertura vegetal pobre del suelo 10% de cobertura vegetal: plantas, pajonales	Fuga de superficie: Precipitación del 73%	Perdida de suelo: 5,55 toneladas por acre

Basado en una precipitación de 2,44 pulg./h.

Departamento de agricultura de EEUU,1971.

La producción de sedimentos es mayor en algunas áreas que en otras. Esta variación no es causada en su totalidad por las actividades humanas, depende también del el tipo de suelo, geología, topografía, precipitación y la cobertura vegetal.

Los efectos dañinos de los sedimentos en agua son:

1. Las corrientes de los canales, puertos y reservorios se llenan de sedimentos. Esto causa que los canales se desborden mas fácilmente, cambia los rangos de corriente y la profundidad de los canales, y reduce la vida útil de los reservorios. Costosas medidas como el dragado son necesarias para contrarrestar estos efectos.
2. Destruye la vida acuática. Los sedimentos que se depositan en el fondo reducen las poblaciones de peces y moluscos al cubrir los suministros de comida y los sitios destinados a depositar los huevos de los peces.
3. Reduce la penetración de luz en el agua. La reducción en la cantidad de penetración de luz solar en el agua, reduce la fotosíntesis en las plantas, lo que resulta en una disminución de la producción de oxígeno necesario para un balance normal en un cuerpo de agua.
4. El agua se torna turbia. Esto incrementa el costo en el tratamiento de aguas destinadas al consumo. Los sedimentos al pasar por las turbinas de las plantas hidroeléctricas causan problemas de abrasión y desgaste. La

habilidad de los peces para cazar se ve reducida si esta depende de su visión.<sup>33</sup>

## 2.6 EUTROFICACIÓN

La palabra eutroficación proviene de dos palabras griegas eú que significa bueno y trophé / trophus que significa alimento, de allí la palabra eutrófico puede ser traducido como rico en nutrientes.

Todos los lagos tienden a enriquecerse en nutrientes con el tiempo. Los sedimentos son acarreados por los aportes de agua del lago, y algunos nutrientes solubles son lixiviados de ellos. Esta **Eutroficación Natural** es un proceso lento, desde el punto de vista humano, usualmente tiene un periodo de miles de años.

Las descargas de aguas de alcantarillado sin tratar, y los desechos agrícolas e industriales a los lagos, aceleran este proceso en gran manera. Este proceso acelerado es en ocasiones referido como **Eutroficación Cultural** o antropica.

Lagos con un nivel particularmente alto de nutrientes, los cuales se caracterizan por tener abundante vegetación litoral, frecuentes estancamientos en verano con las consiguientes explosiones (crecimiento abundante) en las poblaciones de algas, y la ausencia de peces de agua fría, se les considera **Eutróficos**.

Lagos con niveles intermedios de nutrientes son considerados como **Mesotróficos**

Eutroficación.- es el proceso natural de enriquecimiento de nutrientes que ocurre en un cierto periodo de tiempo en un cuerpo de agua. El resultante crecimiento biológico, principalmente de algas, en el epilimnio muere y se ubica en el hypolimnio, donde se desintegre, se pudre y agota el oxígeno del agua.<sup>34</sup>

La eutrofización o eutrofización se refiere al enriquecimiento de nutrientes, el crecimiento y la muerte de fitoplancton, la acumulación de detritos, el aumento de las bacterias y, por último, el agotamiento del oxígeno y la sofocación de los organismos superiores. Las masas eutróficas de agua se caracterizan por una riqueza de nutrientes

---

<sup>33</sup> Stocker, S., Seeager, S., ENVIRONMENTAL CHEMISTRY: AIR AND WATER POLLUTION, second edition, Department of Chemistry Weber State Collage, 1976, Glenview, Illinois.

<sup>34</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCINCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

que sustenta el crecimiento abundante de fitoplancton y quizá de otras plantas acuáticas de superficie. Bajo la capa superficial, la presencia de vegetación disminuye o incluso falta a causa del oscurecimiento; en el fondo se acumulan los detritos. La concentración de oxígeno disuelto es elevada en la superficie por la fotosíntesis del fitoplancton, pero se acerca a cero hacia el fondo porque los descomponedores lo consumen.<sup>35</sup>

La eutrofización es uno de los problemas en la calidad del agua más significativos a nivel mundial.

Los problemas más importantes producidos por excesiva eutrofización son:

- El efecto en el turismo y la recreación producido por el excesivo crecimiento de algas y otras plantas acuáticas, que conquistan el agua y las playas limitando su potencial turístico. Las algas filamentosas cubren las playas durante las tormentas, y se producen montones de materia orgánica con fuertes olores desagradables.
- Los crecimientos explosivos de las algas, las cuales dan un sabor y un olor indeseables en los suministros de agua, en las tomas de agua y en los filtros de las plantas de tratamiento.
- El detrimento en el comercio y la industria de la pesca deportiva resultante de los cambios en las especies de peces de los lagos, causado principalmente por los niveles bajos de oxígeno que se encuentra en niveles inferiores.

En el caso de la tierra, la mayor cantidad de alimentos que esta nos presenta la fertilizar el suelo no daña el suelo. Sin embargo, en el caso de los lagos, la sobre fertilización, con su respectivo crecimiento de algas, puede en sus etapas iniciales, deteriorar la calidad de los peces que se trata de producir, y eventualmente, en casos extremos, destruir toda la vida acuática.

### **2.6.1 La Eutrofización y Su Control**

---

<sup>35</sup> Nebel, B., Wright, R., CIENCIAS AMBIENTALES: ECOLOGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, 1999, Naucalpan de Juárez-México.

Se ha demostrado como en el caso del lago Washington en Seattle, EEUU, que la eutrofización cultural puede revertirse si el ingreso de nutrientes se reduce de manera considerable. Antes de tomar medidas correctivas se debe realizar estudios sobre las cantidades de nitrógeno, fósforo, limnológicos, para así establecer el nivel trófico en el que se encuentra la laguna, y determinar si las fuentes de nutrientes son de fuentes focalizadas o de fuentes dispersas, difusas. Las fuentes puntuales como las descargas de alcantarillado, pueden ser controladas con un tratamiento a esta agua, antes que sea descargado al cuerpo de agua. Las fuentes no puntuales como las de arrastre de áreas de cultivo pueden ser prevenidas por medio de técnicas que permitan un correcto aprovechamiento del agua evitándose que se produzca erosión del suelo y optimizando la cantidad de fertilizantes.

Aguas de efluentes tratadas con tratamiento biológico contiene aproximadamente 8 mg/L de fósforo y 30 mg/L de nitrógeno. Se tiene prioridad en la remoción de fósforo, ya que se cree que el fósforo es el factor que controla el enriquecimiento en la mayoría de lagunas, y demás cuerpos de agua.

En orden a reducir los indeseables efectos de la eutrofización, se utilizan varias técnicas, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes. El control químico por medio de la aplicación de sulfato cuprico, un algicida, es efectivo por un periodo corto de tiempo. La limpieza o remoción de hierbas acuáticas se realiza en las orillas de los cuerpos de agua. En donde el agotamiento de oxígeno es un serio problema, aireación mecánica y mezcla puede ser útil. Aunque estos métodos ayudan, se limitan a remediar efectos causados ya por la eutrofización, y son finalmente ineficaces si es que no se ataca el problema principal, el cual es reducir el nutriente desde su fuente.<sup>36</sup>

En aguas relativamente tranquilas, como lagos y lagunas, los vegetales acuáticos proliferan debido a la presencia de elementos nutritivos como nitratos y fosfatos que actúan como fertilizantes. Las principales fuentes de nutrientes son las aguas negras y los escurrimientos agrícolas que originan el crecimiento masivo de algas y lirios, que genera grandes cantidades de masas vegetales sobre las aguas y su posterior

---

<sup>36</sup> Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.

acumulación sobre las riberas. Cuando las plantas mueren, para su descomposición consume el oxígeno disuelto en el agua provocando condiciones anaeróbicas.

Con frecuencia, una muestra del fondo de una masa oligotrófica será un trozo de “prado” de vegetación acuática sumergida, en tanto que la de una eutrófica parecerá un pedazo de “lodo” negro (detritos orgánicos) que huele a muerto (los olores fétidos provienen de los productos de desecho de la respiración anaerobia de las bacterias). ***Esto de pende de las calidades propias de cada lago, si poder generalizar la anterior aseveración.***

Se tiende a decir que las masas eutróficas de agua están “muertas”; pero biológicamente no lo están. La situación es que la producción total de biomasa del fitoplancton llega a ser mayor que la de la comunidad béntica anterior. De igual manera, el fitoplancton mantiene grandes poblaciones de peces que lo consumen y que por lo regular no descienden a los niveles en donde se produce ausencia de oxígeno.<sup>37</sup>

Eutroficación es un proceso natural de envejecimiento de agua estancada o de corriente lenta con exceso de nutrientes y que acumula en el fondo materia vegetal en descomposición. Las plantas se apoderan del lago hasta convertirlo en pantano y luego se seca.

El proceso de eutroficación resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes en los cultivos agrícolas, de la materia orgánica de la basura, de los detergentes hechos a base de fosfatos, que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos son un problema muy grave para las aguas estancadas cerca de los centros urbanos o agrícolas. Durante las épocas cálidas la sobrecarga de estos productos químicos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas , cianobacterias, lirios acuáticos y lenteja de agua, (ver voto #1), las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos. Lago eutrófico es

---

<sup>37</sup> Nebel, B., Wright, R., CIENCIAS AMBIENTALES: ECOLOGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, 1999, Naucalpan de Juárez-México.

aquel de poca profundidad y poco contenido de oxígeno disuelto pero rico en materias nutritivas y materia orgánica.

Algunos de los cambios que ocurren con la eutroficación:

1. Cambios biológicos:
  - a. Aumenta considerablemente fitoplancton. Las algas verde-azules se desarrollan espectacularmente mientras que las de otros tipos desaparecen.
  - b. Aumenta la actividad bacteriana.
  - c. Los animales acuáticos enferman y mueren.
2. Cambios Físicos:
  - a. Los restos de plantas y animales muertos se acumulan en los fondos, frenando la circulación del agua.
  - b. El agua se torna parda y maloliente. Cambia de color: rojo, verde, amarillo o pardo.
3. Cambios Químicos:
  - a. El oxígeno disuelto baja de alrededor de 9 mg/L a 4mg/L lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos. Cuando el nivel baja a 2mg/L todos los animales han muerto.
  - b. Hay una significativa elevación de la DBO.
  - c. La concentración de compuestos nitrogenados, fosfatados se incrementa, así como la de otros elementos químicos.

Si el exceso de nutrientes sigue fluyendo a los lagos las bacterias anaerobias predominan en ellos y quedan putrefactos debido a la producción del ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y metano ( $CH_4$ ) durante la descomposición de la materia orgánica.

El uso excesivo de los fertilizantes químicos en los campos agrícolas es fuente de contaminación de las corrientes freáticas y del agua de ríos y lagos, al ser arrastrados por el agua de riego y de lluvia.

La solución al proceso de eutroficación provocada a los lagos y aguas estancadas por el exceso de nutrientes es, a) el uso de métodos de prevención de la contaminación por fosfatos y nitratos o por exceso de nutrientes y b) métodos de control para limpiar las aguas lacustres con proceso de eutroficación.

## 2.6.2 Contaminación por detergentes

Los detergentes son semejantes a los jabones porque tienen en su molécula un extremo iónico soluble en agua y otro extremo no polar que desplaza a los aceites. Los detergentes tienen la ventaja, sobre los jabones, de formar sulfatos de calcio y de magnesio solubles en agua, por lo que no forman coágulos al usarlos con aguas duras. Además como el ácido correspondiente de los sulfatos ácidos de alquilo es fuerte, sus sales (detergentes) son neutras en agua.

Los detergentes son productos que se usan para la limpieza y están formados básicamente por un agente tensoactivo que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas (mugre) a una superficie; por fosfatos que tienen un efecto ablandador del agua y flocculan y emulsionan a las partículas de mugre, y algún otro componente que actúe como solubilizante, blanqueador, bactericida, perfumes, abrillantadores ópticos (tinturas que dan a la ropa el aspecto de limpieza), etc.

Los detergentes sintéticos contienen sustancias surfactantes que ayudan en la penetración, remojo, emulsificación, dispersión, solubilización y formación de espuma. (ver foto #2). Todo esto ocurre en las interfases sólido-líquido y líquido-líquido.

La mayoría de los detergentes sintéticos son contaminantes persistentes debido a que no son descompuestos fácilmente por la acción bacteriana. A los detergentes que no son biodegradables se les llama detergentes duros y a los degradables, detergentes blandos.

El principal agente tensoactivo que se usa en los detergentes es un derivado del alquilbencensulfonato como, por ejemplo, el dodecibencensulfonato de sodio ( $C_{12}H_{25}-C_6H_4-SO_3Na$ ) el cual puede hacer al detergente duro (no biodegradable, contaminante persistente) o blando (biodegradable, contaminante biodegradable), dependiendo del tipo de ramificaciones que tenga.

Una gran cantidad de detergentes son arilalquilsulfonatos de sodio que tienen como

fórmula general,  $R-C_6H_4-SO_3Na$ , es decir, son sales de ácidos sulfónicos aromáticos con una cadena alquílica larga. Si la cadena es ramificada no pueden ser degradados por los microorganismos, por lo que se dice que son persistentes, y causan grandes problemas de contaminación del agua de lagos, ríos y depósitos subterráneos. Los arilalquilsulfonatos que tienen cadenas lineales son biodegradables.

El uso de los compuestos tensoactivos en el agua, al ser arrojados a los lagos y ríos provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua con lo cual se dificulta la vida acuática y además, como les quitan la grasa de las plumas a las aves acuáticas les provoca que se escape el aire aislante de entre las plumas y que se mojen, lo cual puede ocasionarles la muerte por frío o porque se ahogan, de manera semejante como les ocurre con los derrames de petróleo en el mar.

Los detergentes son productos químicos sintéticos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes del agua al ser arrojados en las aguas residuales.

El poder contaminante de los detergentes se manifiesta en los vegetales acuáticos inhibiendo el proceso de la fotosíntesis originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas. A los peces les produce lesiones en las branquias, dificultándoles la respiración y provocándoles la muerte.

### **2.6.2.1 Detergentes de Polifosfatos**

Un componente de los detergentes sólidos es el metafosfato llamado tripolifosfato de sodio,  $Na_5P_3O_{10}$ , que contiene al ion  $(O_3 P-O-PO_2-O-PO_3)^{5-}$ . El ion trifosfato es de gran utilidad porque forma complejos solubles con los iones calcio, hierro, magnesio y manganeso, quitando las manchas que estos ocasionan en la ropa y ayudan a mantener en suspensión a las partículas de mugre de manera que pueden ser eliminadas fácilmente por el lavado.

A los aditivos de fosfato en los detergentes como el tripolifosfato de sodio se les llama formadores de fosfato y tienen tres funciones, primero actúan como bases haciendo que el agua del lavado sea alcalina (pH alto), lo cual es necesario para la acción detergente;

segundo los fosfatos reaccionan con los iones calcio y magnesio del agua dura de manera que no actúan con el detergente y tercero ayudan a mantener las grasas y el polvo en suspensión, lo que facilita que sean eliminados.

En los detergentes líquidos se utiliza el pirofosfato de sodio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) o de potasio porque se hidroliza en el ion fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) a menor rapidez que el tripolifosfato de sodio.

Los detergentes hechos a base de fosfatos provocan un efecto destructor en el medio ambiente porque aceleran el proceso de eutrofización o eutrofización de las aguas de lagos y ríos. Como el uso de detergentes fosfatados ha generado problemas muy graves en el agua, algunos países han prohibido el uso de detergentes de este tipo.

#### **2.6.2.2 Aguas con Detergentes y Algas**

Los detergentes después de ser utilizados en la limpieza doméstica e industrial son arrojados a las alcantarillas de las aguas residuales y se convierten en fuente de contaminación del agua.

Las algas son plantas acuáticas que se pueden percibir como un limo verde azul sobre la superficie de las aguas estancadas, (ver foto #3). Las algas, al igual que las demás plantas, almacenan energía mediante el proceso de fotosíntesis por lo que requieren de la luz solar para consumir el bióxido de carbono y liberar el oxígeno. Al igual que otras plantas, las algas necesitan también de otros elementos químicos nutritivos inorgánicos como potasio, fósforo, azufre y hierro.

La cantidad de algas que una cierta extensión de agua, como un lago, puede soportar depende de los elementos nutritivos inorgánicos que puede proporcionar y la acumulación de estos elementos depende de la cantidad de sales que arrastren las diferentes corrientes de agua al lago. Las algas crecen rápidamente cuando la cantidad de elementos nutritivos es abundante y pueden llegar a cubrir la superficie del agua con gruesas capas, y a medida que algunas algas mueren se convierten en alimento de las bacterias.

Como las bacterias consumen oxígeno para descomponer a las algas, provocan que la

disminución de oxígeno llegue a un nivel que es incapaz de soportar otras formas de vida, que es indispensable para que no desaparezca el ecosistema. Por ejemplo, donde hay peces como la lobina y la perca que son útiles para el hombre, disminuyen o desaparecen, dejan el lugar a otras formas de vida menos útiles al hombre como el siluro, sanguijuelas y gusanos que se alimentan de basura. No se encuentra información disponible acerca la reacción de los peces de la amazonia ante la ausencia de oxígeno, ni su nivel de tolerancia.<sup>38</sup>

### 2.6.3 Lagos y lagunas.

Son sistemas **jóvenes**, a escala geológica. Las lagunas y la mayor parte de los lagos, permanecen desde pocas semanas o meses, las estacionales, a varios cientos de años, las más duraderas. Con el paso del tiempo acaban llenándose de sedimentos y colmatándose. Por este motivo la diversidad de especies es baja pues, aunque por su aislamiento debía ser alta, su corta duración no da tiempo a la aparición de nuevas especies. Una notable excepción es el Baikal, que es antiguo, y tiene muchas especies propias.

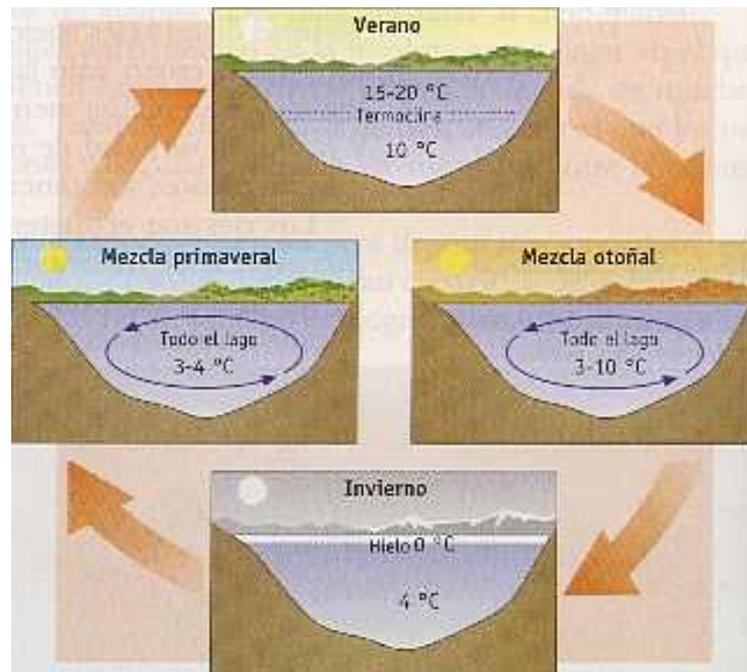
En un lago grande se distinguen las siguientes zonas:

- zona **litoral**: con vegetación enraizada a lo largo de la orilla
- zona **limnética**: aguas abiertas con fitoplancton.
- zona **profunda**: con organismos heterotrofos por falta de luz suficiente para hacer fotosíntesis.

---

<sup>38</sup> <http://www.sagan-gea.org/hojared/biodiversidad/paginas/hoja26.html>

**Gráfico # 6 : Temperatura del Agua en un lago durante el año.**



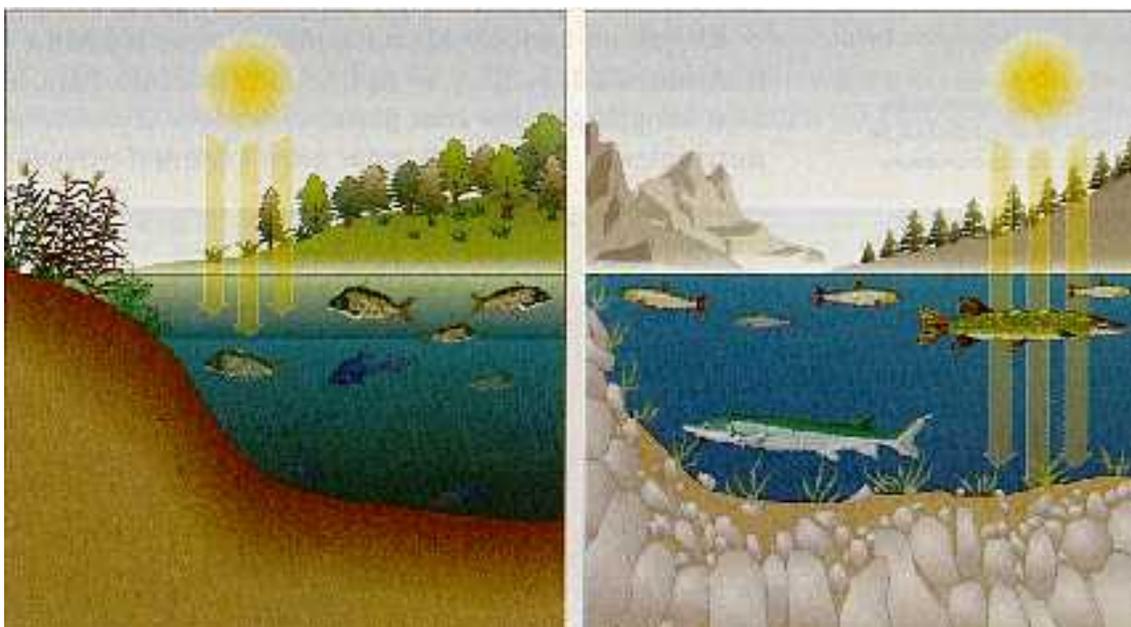
39

En las regiones templadas las aguas de los lagos suelen estar fuertemente estratificados en el verano. La parte superior más cálida (**epilimnion**) se aísla de la más fría (**hipolimnion**) por una zona llamada **termoclina** que actúa como barrera ante el intercambio de materiales. Esto hace que pronto sean insuficientes el suministro de O<sub>2</sub> en el hipolimnion y de nutrientes en el epilimnion. Cuando llega el otoño se enfría la capa superior y, con la acción del viento las aguas se mezclan. Al mezclarse las aguas suele haber explosiones de fitoplancton porque la agitación del agua hace aflorar nutrientes a la superficie.

La producción primaria en estos ecosistemas suele depender de la naturaleza química de la cuenca y de los aportes que le llegan por afluentes o desde el fondo. Los lagos someros suelen ser más fértiles, porque a más profundidad hay menos producción.

<sup>39</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/05PrinEcos/175Lago.htm>

## Gráfico # 7 : Lagos Eutróficos y Oligotróficos



40

Muchos lagos tienen en la actualidad importantes problemas de la eutrofización artificial. Les llegan muchos aportes de nutrientes procedentes de las actividades humanas, lo que origina un gran crecimiento de algas y de muchos organismos heterotróficos que hacen desaparecer el oxígeno, generándose procesos de anaerobiosis, y, por tanto, olor desagradable, desaparición de las truchas, etc.

### 2.6.4 Zonas Húmedas, Ciénagas y Pantanos.

A las zonas húmedas se les puede aplicar gran parte de lo expuesto para los estuarios. Son muy **fértiles**, con una gran productividad primaria e imprescindibles para la supervivencia de muchas especies..

Las fluctuaciones de agua por mareas o fuertes lluvias y los incendios estacionales las hacen más fértiles, porque liberan nutrientes solubles. Si no hay estas fluctuaciones se van acumulando sedimentos y turba que facilitan la invasión por la vegetación terrestre y el humedal desaparece.

<sup>40</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/05PrinEcos/175Lago.htm>

Tienen, también, un especial interés porque **mantienen a los acuíferos** que hay en su cercanía y los van rellenando de agua.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/05PrinEcos/175Lago.htm>

## **CAPITULO III: METODOLOGIA**

### **3.1. Trabajo de Campo**

Se realizo 6 campañas de muestreo que iniciaron el 15 de Diciembre del 2003 y culminaron el día 8 de Julio del 2004. Las campañas se realizaron en los meses de Enero, Febrero, Abril, Junio, Julio, aproximadamente de 3 días cada campaña.

#### **3.1.1. Ubicación de los Puntos de Muestreo**

Se tomo en cuenta para la ubicación de los puntos de muestreo en la laguna, las referencias de tesis de grado anteriores, Santiago Andrade 2001, Pamela Ayala 2003, Jorge Gómez 2003, en orden a tener una secuencia y coherencia de los datos obtenidos para en un futuro poder tener un estudio evolutivo en el tiempo de la Laguna de Limoncocha, además se tomo muestras en los puntos: IPIB, Quebrada SEK, Camino Pishira, línea de vertientes denominada Guápulo.

Descripción de los puntos de muestreo:

- Muelle.- frente al muelle a una distancia de unos 15 m de radio de las plantas acuáticas, al filo de la laguna que se encuentra al frente del muelle, en las coordenadas descritas a continuación.
- Antena.- se encuentra en el centro de la laguna y esta aproximadamente al frente de la Antena de transmisión de la compañía petrolera OXY, en las coordenadas descritas en la siguiente tabla.
- Pishira.- esta ubicada al frente de la desembocadura del río Pishira, en las coordenadas descritas en la siguiente tabla.
- Vertientes denominadas Camino Pishira.- vertientes que se encuentran al borde de la laguna y se encuentran en un lugar de la reserva desde donde se puede realizar un recorrido hacia el río pishira, de allí su nombre, en las coordenadas descritas en la siguiente tabla.
- IPIB.- denominación dada a unas vertientes ubicadas en la parte inferior del Instituto Pedagógico Martha Bucaram de Roldós, es el lugar en donde la

población del sector realiza actividades de aseo personal y de ropa, por ende una fuente posible de fósforo, las coordenadas de este punto se encuentran en la siguiente tabla.

- Línea de Vertientes denominada Guápulo.- línea de vertientes encontrada por el grupo de trabajo de tesis en limoncocha 2003-2004, (David Gallegos, Carlos Vásquez, Gastón Villamar, Juan Salvador Arpi, con la ayuda del Sr. Jendry Moya, administrador de la Estación Científica de la Universidad Internacional SEK), al realizar recorridos de búsqueda de una especie de palma requerida por Carlos Vásquez, se presumía de la existencia de afloramientos, o línea de vertientes, dato que fue confirmado por el Ing. Fabio Villalba. La ubicación de este punto de muestreo se encuentra en coordenadas en la siguiente tabla.
- Estación Científica de la Universidad Internacional SEK.- Estación Amazónica dedicada a la investigación por parte de los estudiantes de la Universidad Internacional en sus diferentes proyectos, sitio en donde se realizaron los análisis in-situ de los parámetros analizados, en el laboratorio de la estación. Las coordenadas de la estación se encuentran descritas en la siguiente tabla.
- Aforo Caudal.- Sitio escogido por ser una parte del caudal con menor ancho, y por ser los extremos tierra firme, de esta manera tomar aproximadamente la totalidad del caudal de salida del canal de la laguna, las coordenadas en donde se realizó este aforo se encuentran en la siguiente tabla.
- Río SEK.- aporte hídrico de la laguna de limoncocha, posible fuente de fósforo, las coordenadas de este punto se describen en la siguiente tabla.

**Tabla # 5 : Ubicación de los Puntos de Muestreo**

Punto de Muestreo	Ubicación
Muelle	Latitud 00° 24' 16" S Longitud 76° 36' 58" W
Antena	Latitud 00° 23' 51" S Longitud 76° 36' 41" W
Pishira	Latitud 00° 23' 10" S Longitud 76° 36' 10" W
Vertientes denominadas Camino Pishira	Latitud 00° 22' 57" S

	Longitud 76° 36' 18" W	
IPIB	Latitud 00° 24' 03" S Longitud 76° 37' 01" W	
Línea de Vertientes Guápulo	Latitud 00° 23' 26" S Longitud 76° 36' 44" W	Coordenadas UTM 18320573 E 9956814 N
Estación Científica de la Universidad Internacional SEK	Latitud 00° 24' 20" S Longitud 76° 37' 8" W	
Aforo Caudal	Punto A Latitud 00° 22' 37" S Longitud 76° 35' 04" W	Punto B Latitud 00° 22' 36" S Longitud 76° 35' 04" W
Río SEK	Latitud 00° 24' S Longitud 76° 37' 25" W	

### 3.1.2. Frecuencia de Muestreo

En las campañas de muestreo se establecieron 3 horarios de muestreo, para tener una idea del comportamiento de los parámetros medidos durante el día, los horarios fueron en promedio; por la mañana 11:00, por la tarde 15:45 y por la noche 19:30, dependiendo del número de muestras se adelantó o postergó este horario.

### 3.1.3 Recolección y Tipificación de Muestras

**Muestra simple.**- Consiste en tomar una porción de agua de un sitio determinado teniendo los debidos cuidados y criterios de acuerdo con los parámetros a ser analizados. Las muestras simples son tomadas en un sitio específico y en un período de tiempo muy pequeño (típicamente segundos).

Una muestra simple discreta es la que se toma en un sitio, profundidad y tiempo seleccionados y luego son analizados, los constituyentes de interés.

En los puntos de muestreo; muelle, antena y pishira se tomarán dos muestras simples y discretas, una muestra a 0,2 de profundidad del espejo de agua y otra muestra a 0,5 m de profundidad del espejo de agua, para lo cual se conto con un muestreador para aguas y otro para sedimentos.<sup>42</sup>

El muestreador para aguas, hecho artesanalmente en Limoncocha, sigue el principio del muestreador “Garrafa de Meyer”, consta de una varilla graduada que permite el desplazamiento del depósito de recolección, que se encuentra sujeta al extremo inferior de la varilla, a la profundidad de muestreo, el depósito cuenta con su respectivo tapón, el cual tiene en su parte superior un gancho al que se asiró un cordel, que permite liberar el tapón y recolectar la muestra a la profundidad deseada.

El muestreador para sedimentos, hecho de igual manera artesanalmente en Limoncocha, con el principio afín al muestreador “de Playa”, consta de un tubo PVC de 6 m. de longitud, un tapón en uno de los extremos, al muestrear sedimentos, se libera la capa mas compacta, aproximadamente de 10 cm., es la capa que primero se encuentra al recolectar la muestra, la siguiente capa, de 15 a 20cm., es la que se encuentra en contacto con la capa inferior de agua de la laguna, hipolimnio. Esta capa de sedimentos es la cual se sometió a las siguientes metodologías de análisis.

### **3.1.4 Parámetros Analizados**

Se monitoreo los siguientes parámetros:

- pH
- Conductividad
- O<sub>2</sub>
- Temperatura
- En cada muestra obtenida se procedió a analizar Fósforo Total en Aguas.
- En cada muestra obtenida de sedimentos se analizo también Fósforo Total.
- Dureza
- Alcalinidad

---

<sup>42</sup> Jurado, J., MANUAL PARA MUESTREO DE AGUAS Y SEDIMENTOS, Recopilación Bibliográfica, Primera Edición, Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, 1998, Quito- Ecuador

- Turbidez
- Profundidad

## 3.2 Análisis de Fósforo en Aguas

### 3.2.1. Digestión de la Muestra

Antes de realizar el análisis de fósforo fue necesario digerir las muestras de agua, ya que de esta manera todas las formas orgánicas y condensadas de fósforo inorgánico (meta-, pyro-, y otros polyfosfatos) que podrían estar presentes en el agua, pasan a la forma reactiva de ortofosfato, de esta manera analizar el fósforo total de las muestras de agua.

El pretratamiento de la muestra con ácido y calor, provee las condiciones para hidrólisis de las formas condensadas de fósforo inorgánico. Fosfatos orgánicos son transformados a Ortofosfatos al calentarlo con ácido y persulfato.

Se utilizó el Método de Digestión por Acido Persulfato Método 8190 del ESPECTOFOTOMETRO HACH, (cuando se realizó la medición en el Laboratorio de la Universidad Internacional SEK se utilizó el equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH DR/4000, y cuando se realizó in-situ con el equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH DR/2000, portátil).

Fósforo Total (método 8190 para aguas, aguas de desechos, agua salada)<sup>43</sup>

También denominado Método de Digestión de Acido Persulfato, aceptado por la USEPA para el análisis de aguas de desecho.

El método es como sigue:

1. Medir 25 mL de muestra en un Erlenmeyer de 50 mL.

Nota: utilice una probeta graduada para medir los volúmenes indicados, lave todos los instrumentos con agua destilada antes de realizar el análisis.

2. Añadir una pequeña porción de Persulfato, agitar para mezclar.
3. Añadir 2 mL de una solución de Acido Sulfúrico 5,25 N.
4. Colocar el erlenmeyer en la plancha de calefacción, dejar unos 30 min.

---

<sup>43</sup> Manual HACH, Laboratorio Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

nota: para mantener el volumen en 20mL. aproximadamente añadir pequeñas cantidades de agua destilada. No exceder los 20mL.

5. Dejar enfriar el erlenmeyer a la temperatura ambiente.
6. Añadir 2 mL. de una solución de Hidróxido de Sodio 5 N, agitar para mezclar.
7. Colocar la muestra dentro de una probeta utilizando agua mineral aforar hasta 25mL.
8. proceder con el análisis de Fósforo Reactivo para obtener el valor de fósforo total de la muestra.

### **3.2.2. Preservación de la Muestra.**

Se obtienen resultados mas reales cuando las muestras son analizadas inmediatamente de haber sido recolectadas. Pero si el análisis inmediato es imposible, preserve las muestras hasta 24 horas refrigerando la muestra a una temperatura de 4° C. Para el análisis permita que la muestra este a temperatura ambiente.

### **3.2.3 Interferencias.**

Para muestras de agua con turbidez, utilice 50 mL. de muestra y duplique los agentes añadidos. Utilice 25mL. de la muestra con reactivo para encerrar el instrumento para el método de Fósforo Reactivo. Esto compensa cualquier interferencia por color o turbidez. Para muestras alcalinas, puede ser necesario adicionar acido en el paso 3 para bajar el pH de la solución a 1.

### **3.2.4. Análisis de Fósforo Reactivo**

Método 8048, COLORIMETRICO ACIDO ASCORBICO Phos Ver 3, del equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH (DR/4000,DR/2000) para aguas, aguas residuales, agua salada, rango (0-2,5 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ ), aceptado por la USEPA.<sup>44</sup>

---

<sup>44</sup> Manual HACH, Laboratorio Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

### Método PhosVer 3 (Acido Ascórbico)

1. Ingresar el código del programa para Fósforo Reactivo que utilizan los sobres que contienen PhosVer 3.

Ingresar 490 luego la tecla READ/ENTER para unidades en mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$  o 496 luego la tecla READ/ENTER para unidades en mg/L P.

La pantalla del equipo mostrará DIAL nm TO 890.

2. Girar la perilla para graduar la longitud de onda hasta dejar en 890 nm.
3. Presionar la tecla READ/ENTER  
La pantalla mostrara mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$  PV o mg/L P PV
4. Llenar la celda con 25 mL de la muestra.
5. Añadir el contenido de un sobre de PhosVer 3 a la celda con la muestra (muestra con reactivo). Agite para mezclar.
6. Presionar la tecla SHIFT TIMER comenzara el conteo de 2 minutos, el cual será el tiempo de reacción de la muestra con reactivo.

Nota: Un periodo de reacción de 8 a 10 minutos se utilizará ya que se utilizó antes de determinar el fosfatos totales el método de digestión Acido-Persulfato.

Si la temperatura de la muestra es menor que 15° C añadir 4 minutos al tiempo de reacción.

7. Llenar otra celda (EL BLANCO) con 25 mL de la muestra, colocar la celda en el depósito de celdas del equipo.
8. Cuando el cronometro suene, la pantalla mostrara **mg/L P PV**. Presionar la tecla ZERO, la pantalla mostrará WAIT luego 0,00 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$  PV o 0,00 mg/L P PV.
9. Colocar la muestra con reactivo en el depósito de celdas del equipo, cerrar la tapa del equipo.
10. Presionar la tecla READ/ENTER, la pantalla mostrara WAIT, luego el resultado en mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$  o mg/L P.

### **3.3 Análisis de Fosforo en Sedimentos.**

Para la oxidación de la materia orgánica se utilizaron los siguientes procedimientos:

#### **3.3.1 Acenización Seca:**

1. Pesar 1 g de muestra
2. Colocar en una cápsula de porcelana (crisol)
3. Llevar la muestra a un horno mufla a 500° C durante 3 horas, hasta la desaparición de puntos carbonosos.
4. Enfriar la ceniza a temperatura ambiente.
5. Disolver la ceniza con 40mL de HCl 6 M.
6. Llevar a ebullición por aproximadamente 10 minutos.
7. Filtrar la muestra.
8. Aforar a un volumen de 50 mL.

#### **3.3.2. Método para el análisis de fósforo en Sedimentos.**

Luego se procedió a realizar el Método 8048, COLORIMETRICO ACIDO ASCORBICO Phos Ver 3, del equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH (DR/4000,DR/2000) para aguas, aguas residuales, agua salada, rango (0-2,5 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ ), aceptado por la USEPA. Utilizado también para aguas.

### **3.4 Determinación de Dureza.**

Para la determinación de dureza se utilizó el siguiente procedimiento.

#### Materiales y Reactivos:

- Probeta de 100 mL.
- Siete (7) matraces erlenmeyer de 125mL.
- Bureta de vidrio de 50 mL.

- Pipeta de 5 mL.
- Soporte universal
- Pinzas para soporte universal.
- Siente (7) embudos.
- Papel filtro.

#### Método Titulométrico con EDTA:

- Tomar una muestra y filtrar en un matraz erlenmeyer 100mL.
- Agregar 2 mL. de la solución Buffer pH= 10.
- Agitar para mezclar
- Agregar una pizca del indicador Eriocromo Negro T (NET)
- La muestra toma un color rojo vino
- Titular con la solución EDTA 0,001 M (colocada previamente en la bureta)
- Detener el suministro de EDTA hasta viraje de rojizo a azul celeste
- Anotar el gasto de EDTA para proceder a calcular la Dureza Total

### **3.5 Determinación de Alcalinidad.**

#### Materiales y Reactivos:

- Probeta de 100 mL.
- Siete (7) matraces erlenmeyer de 125mL.
- Bureta de vidrio de 50 mL.
- Gotero
- Soporte universal
- Pinzas para soporte universal.
- Siente (7) embudos.
- Papel filtro.

### Método de determinación:

Medición volumétrica por titulación con  $H_2SO_4$  0,02N:

- Tomar una muestra y filtrar en un matraz erlenmeyer 100mL.
- Añadir 5 gotas de anaranjado de metilo
- Agitar para mezclar
- La muestra toma un color amarillo
- Titular con la solución de Ácido Clorhídrico (  $H_2SO_4$  ) 0,02N
- Detener el suministro de  $H_2SO_4$  0,02N cuando se produzca el viraje de amarillo a rojo.
- Anotar el gasto de  $H_2SO_4$  0,02N para proceder a calcular la Alcalinidad Total.

### **3.6 DETERMINACION DE TURBIDEZ**

Se utilizó para la determinación de turbidez se utilizó el método 8237 COLORIMETRICO , METODO ABSORPTOMETRICO del equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH (DR/4000 o DR/2000), que puede medirse en un rango de 0 a 450 FTU (Unidad de Formazina), método para aguas, aguas residuales, y agua salada.<sup>45</sup>

Método Absorptometrico:

1. Ingresar el código del programa para Turbidez, presionar la tecla 750 READ/ENTER en la pantalla aparecerá DIAL nm a 450
2. Girar la perilla para graduar la longitud de onda, en la pantalla aparecerá 450 nm.
3. Presionar la tecla READ/ENTER, la pantalla muestra FTU TURBITY
4. Colocar 25 mL. de agua destilada (Blanco) en una celda
5. Colocar el blanco en el depósito para celdas del equipo, cerrar la tapa del equipo.

---

<sup>45</sup> Manual HACH, Laboratorio Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

6. Presionar la tecla ZERO, la pantalla muestra WAIT, luego 0. FTU TURBITY
  7. Colocar 25mL de muestra en otra celda, inmediatamente colocar la celda con la muestra en el depósito para celdas del equipo, cerrar la tapa del equipo.
  8. Presionar la tecla READ/ENTER , la pantalla mostrará WAIT, luego el resultado en unidad de formazina (FTU)
- Aforo Caudal de Salida de la laguna (canal )

## CAPITULO IV: CALCULOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 4.1 Cálculos

#### 4.1.1 Alcalinidad

Tomar los milímetros gastados de Acido Clorhídrico ( $H_2SO_4$ ) 0,02 N resultantes del procedimiento de laboratorio y aplicar la siguiente fórmula:

$$AT \text{ (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{\text{mL Ácido Gastado (H}_2\text{SO}_4\text{) 0,02 N} * 0,02 * (5 \times 10^4)}{\text{Volumen Muestra (mL)}}$$

Ejemplo:

Datos

7,2 mL de ( $H_2SO_4$ ) 0,02 N gastado

Volumen de Muestra = 40 mL

$$AT \text{ (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{7,2 \text{ mL Ácido Gastado (H}_2\text{SO}_4\text{) 0,02 N} * 0,02 * (5 \times 10^4)}{40 \text{ (mL)}}$$

AT = 180 mg  $CaCO_3$ /L de muestra

#### 4.1.2 Dureza

Tomar los milímetros gastados de EDTA resultantes del procedimiento de laboratorio y aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{DT mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{\text{mL EDTA Gastado} * 1000}{\text{Volumen Muestra (mL)}}$$

Ejemplo:

Datos

1,3mL EDTA gastado

Volumen de Muestra = 40 mL

$$\text{DT (mg CaCO}_3/\text{L)} = \frac{1,3 \text{ mL EDTA Gastado} * 1000}{40 \text{ (mL)}}$$

DT = mg CaCO<sub>3</sub>/L de muestra

#### 4.1.3. Concentración Original de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

Tomar la medida obtenida en el laboratorio de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (Concentración Medida), y el Factor de Concentración, en este caso se divide debido a que se concentro la mezcla.

$$\text{Factor Concentración} = \frac{\text{Volumen Inicial}}{\text{Volumen Final}}$$

$$\text{Concentración Original de PO}_4^{3-} = \text{Concentración Medida} / \text{Factor de Concentración}$$

Ejemplo:

Datos

Concentración Medida de  $\text{PO}_4^{3-} = 50\text{ug/L}$

Volumen Inicial = 200mL

Volumen Final = 40 mL

Concentración Original de  $\text{PO}_4^{3-} = 50 \text{ ug/L} / (200/40)$

Concentración Original de  $\text{PO}_4^{3-} = 10 \text{ ug/L}$

**4.1.4. Concentración Original de P**

Tomar la medida obtenida en el laboratorio de  $\text{PO}_4^{3-}$  (Concentración Medida), el factor Estequiometrico y el Factor de Concentración, en este caso se divide debido a que se concentro la mezcla.

$\text{Factor Estequiometrico} = \frac{\text{pM especie buscada}}{\text{pM especie obtenida}}$
--

$$\text{Factor Estequiometrico} = \frac{\text{pM P}}{\text{pM PO}_4^{3-}} = \frac{31}{95} = 0,32631$$

$\text{Concentración Medida de P} = \text{Concentración Medida de PO}_4^{3-} / \text{Factor Estequiometrico}$
---

$$\text{Concentración Medida de P} = 50 \text{ ug/L} / 0,32631$$

$$\text{Concentración Medida de P} = 16,3155 \text{ ug/L}$$

$$\text{Factor Concentración} = \frac{\text{Volumen Inicial}}{\text{Volumen Final}}$$

Concentración Original de P = Concentración Medida de P/ Factor de Concentración

Ejemplo:

#### Datos

Concentración Medida de P = 16,3155ug/L

Volumen Inicial = 200mL

Volumen Final = 40 mL

Concentración Original de P = 16,3155 ug/L / (200/40)

Concentración Original de P = 3,2632 ug/L de muestra

#### **4.1.5. Concentración en Sólidos**

Tomar la medida de P obtenida en laboratorio en el procedimiento para la obtención de fósforo en sedimentos y realizar los siguientes procedimientos:

Ejemplo:

Dato obtenido en laboratorio = 0,048 mg/L

Debido a que la muestra no se encontraba contenida en un litro sino en 100 mL, hacer la siguiente operación para obtener la concentración contenida en los 100 mL de muestra.

$$0,048 \text{ mg} ( 100\text{mL} / 1000\text{mL} ) = 0,0048 \text{ mgP}$$

La muestra se aforo de 50 mL a 100 mL, se diluyo, por lo que se tiene que multiplicar por 2

$$0,0048 \text{ mgP} * 2 = 0,0096 \text{ mgP}$$

Esta concentración se encontró presente en 1 g de muestra (sedimento) y se requiere obtener la concentración en 1 Kg. de muestra entonces:

$$0,0096 ( 1000 \text{ g} / 1 \text{ g} ) = 9,6 \text{ ppm o mg/Kg. sedimento}$$

Esta concentración se transformo a ppb o sea  $\mu\text{g}/\text{Kg}$ . sedimento

$$1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$$

Por tanto 9, 6 ppm = 9600 ppb o 9600  $\mu\text{g}/\text{Kg}$ . sedimento

#### 4.1.6 Cálculos del Aforo y del Modelo

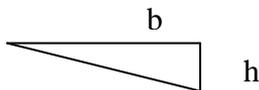
##### 4.1.6.1 Cálculos del Aforo de Caudal

Primero se escogió el lugar idóneo para realizar el aforo del caudal de la laguna de limoncocha, el lugar tenia que cumplir con ciertas condiciones como son; que el aproximado a la totalidad del volumen de salida de agua pase por el sitio en mención, y que sea posible realizar una medición para poder determinar el área de la sección transversal del sitio y la velocidad del agua en esa sección.

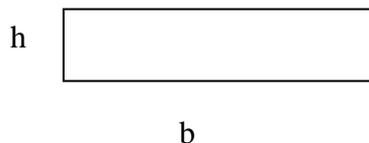
##### Área de la sección transversal:

Se tomo dos puntos el punto a, y el punto b, cuyas coordenadas se encuentran definidas en la tabla # 5, luego se ato una cuerda, que previamente había sido marcada cada 5 metros, a los dos puntos, la longitud total entre estos dos puntos resulto ser 51m., luego con otra cuerda que tenia amarrado en uno de sus extremos a un tanque con peso, que permitiría obtener una medida de profundidad perpendicular, ya que la cuerda horizontal estaba señalada cada 5 metros, a esta distancia se midió las profundidades, obteniendo así ocho trapecios y dos triángulos, a los trapecios se les subdividio en rectángulos y triángulos, de esta manera se obtuvo 10 triángulos y 8 rectángulos, ya con estos valores se procedió a calcular el área de la sección transversal.

$$A \text{ triángulos} = (b \times h) / 2$$



$$A \text{ rectángulos} = b \times h$$



Datos triángulo:

$$b = 6\text{m}$$

$$h = 1\text{m}$$

$$A \text{ triángulo} = 6 \times 1 / 2 = 3$$

Datos rectángulo:

$$b = 5\text{m}$$

$$h = 1\text{m}$$

$$A \text{ rectángulo} = 5 \times 1 = 5$$

El resultante de los cálculos en los 10 triángulos y 8 rectángulos nos dio:

$$A \text{ triángulos} = 15,5 \text{ m}^2$$

$$A \text{ rectángulos} = 68 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de la sección transversal} = 68 + 15,5 = 83,5 \text{ m}^2$$

#### Velocidad del agua

Para esto con la ayuda de Jendry el administrador de la laguna tomamos una distancia desde la sección transversal de 46 m, luego con tres trasadores, desde esa distancia, se tomó el tiempo que demoró en llegar hasta el punto donde se tomó la sección transversal, el tiempo promedio fue de 10 min. Con lo que la velocidad:

$$\boxed{\text{Velocidad} = e / t} = 46/10 = 4,6 \text{ m/min.}$$

#### Caudal

$$\boxed{Q = (\text{Área de la sección transversal}) (\text{velocidad})}$$

$$Q = (83,5 \text{ m}^2) (4,6 \text{ m/sg})$$

$$Q = 384,1 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 6,4 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$Q = 2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{año}$$

#### **4.1.6.2. Modelo**

**Los cálculos realizados se encuentran en el anexo # 1**

**Nota: Los valores obtenidos distan mucho de una tesis anterior (Gómez, 2003), por lo que se recomienda una revisión.**

**4.1.6.3 Promedios de las Concentraciones de Fósforo obtenidas en agua y en sedimentos , y del pH.**

*Concentración Promedio de Fósforo en Aguas = 20,24 µg/L*

*Concentración Promedio de Fósforo en Sedimentos = 8350 µg/L*

*pH promedio = 9,25*

## 4.2 Tablas de Resultados

**Tabla # 6 Parámetros Físico-Químicos Medidos en la Laguna de Limoncocha**

Fecha de Muestreo 21-Ene-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA
MUELLE	2,05	48,9	32,2	6,8	12:05
ANTENA	1,5	47,5	31,9	8,4	11:58
PISHIRA	1,08	46,5	30,1	8,9	11:40

**Tabla # 7 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 22-Ene-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )
MUELLE	0,5	95,3	31,7	7,2	16:28	0,59
	0,2					0,44
ANTENA	0,5	94,2	32,8	8,4	16:07	0
	0,2					0,46
PISHIRA	0,5	93,2	32,1	8,9	15: 30	1,63
	0,2					1,61

**Tabla # 8 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 22-Ene-04 Noche 20:00

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>MUELLE</b>	0,5	94,5	31,8	8,8	20:00	0,39
	0,2					12,06
<b>ANTENA</b>	0,5	93,8	30,9	8,6	20:33	0,84
	0,2					0,78
<b>PISHIRA</b>	0,5	96,4	30,6	8,9	21:10	0,23
	0,2					0,52

**Tabla # 9 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 26-Feb-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>MUELLE</b>	0,5	109,8	30,06	9,0	16:20	0,60
	0,2					0,42
<b>ANTENA</b>	0,5	111,6	29,4	9,1	15:45	0,65
	0,2					2,48
<b>PISHIRA</b>	0,5	114,9	29,6	9,3	15:18	0,50
	0,2					0,68

**Tabla # 10 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 27-Feb-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>MUELLE</b>	0,5	106,2	30,3	8,1	11:50	270,84
	0,2					93,82
<b>ANTENA</b>	0,5	105,4	29	8,8	11:35	77,89
	0,2					225,81
<b>PISHIRA</b>	0,5	113,2	28,9	9	11:15	228,42
	0,2					35,89
<b>Quebrada SEK</b>	superficial	135,5	24,6	6,5	9:33	1,37
<b>IPIB A</b>	superficial			7,1		17,72
<b>IPIB B</b>	superficial			7,1		76,75
IPIB A antes de lavar la ropa	IPIB B después de lavar la ropa					

**Tabla # 11 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 26-Abr-04 Noche

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
MUELLE	0,5	72,2	27,7	9,6	20:30	11,75
	0,2					2,61
ANTENA	0,5	69,9	28,1	9,7	20:00	0
	0,2					0
PISHIRA	0,5	70,4	28,4	9,5	19:30	0
	0,2					0,65

**Tabla # 12 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 27-Abr-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
MUELLE	0,5	67,1	29,8	8,8	11:47	1,96
	0,2					3,92
ANTENA	0,5	67,1	28,5	8,7	11:25	2,61
	0,2					24,15
PISHIRA	0,5	71,5	27,7	9,2	11:00	17,62
	0,2					13,05
Vertientes denominadas Camino Pishira	superficial					0

**Tabla # 13 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 27-Abr-04 Noche

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (PO4)3-( $\mu\text{g/L}$ )
<b>MUELLE</b>	0,5	71,4	26,2	7,4	19:20	0
	0,2					138
<b>ANTENA</b>	0,5	70,2	27,1	7,5	19:30	0
	0,2					0
<b>PISHIRA</b>	0,5	69,4	28,1	8,7	19:45	0
	0,2					0

**Tabla # 14 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 28-Abr-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>MUELLE</b>	0,5	69,3	29,5	8,8	10:55	0
	0,2					1,31
<b>ANTENA</b>	0,5	70,4	28,9	9,4	10:42	75,05
	0,2					114,86
<b>PISHIRA</b>	0,5	68,6	29	9,3	10:22	0,65
	0,2					0

**Tabla # 15 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 28-Abr-04 Noche

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>MUELLE</b>	0,5	74	29,4	9,2	19:10	9,79
	0,2					4,57
<b>ANTENA</b>	0,5	71,3	27,7	9	19:00	1,96
	0,2					6,53
<b>PISHIRA</b>	0,5	73,9	29,1	9,6	18:40	0
	0,2					0

**Tabla # 16 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 18-Jun-04 Noche

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>MUELLE</b>	0,5	74,7	26,2	6,5	20:30	0
	0,2					0
<b>ANTENA</b>	0,5	75,6	26,8	7,0	20:02	0
	0,2					1,31
<b>PISHIRA</b>	0,5	78	27,5	8,3	19:38	9,14
	0,2					2,61

**Tabla # 17 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 19-Jun-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
MUELLE	0,5	75,7	26,6	6,3	9:35	3,26
	0,2					1,96
ANTENA	0,5	75	27,1	6,6	10:00	0,65
	0,2					13,71
PISHIRA	0,5	76,2	27,9	8,5	10:29	0,65
	0,2					13,05

**Tabla # 18 Concentración Original de Fósforo en los Puntos de Muestreo a 0,5 y 0,2 m de profundidad.**

Fecha de Muestreo 20-Jun-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	HORA	Concentracion Original (P) ( $\mu\text{g/L}$ )
MUELLE	0,5	77,4	30,4	7,2	16:23	0
	0,2					5,87
ANTENA	0,5	77,5	28,9	7,2	16:15	1,96
	0,2					2,61
PISHIRA	0,5	81	29,1	9,0	15:15	7,83
	0,2					0,65
Linea de Vertientes denominada "GUAPULO"	superficial	122,6	24	6,6	15:25	9,14

**Tabla # 19 Análisis de Sedimentos del fondo de la Laguna de Limoncocha.**

Punto de muestreo / fechas de muestreo	CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO (µg/L)			
	16/12/2003	22/01/2004	26/02/2004	18/06/2004
<b>MUELLE</b>	14000	9000	9600	12000
<b>ANTENA</b>	11600	6400	7400	6200
<b>PISHIRA</b>	7600	5200	5800	5400

**Tabla # 20 Concentración de Alcalinidad y Dureza en los Puntos de Muestreo de la Laguna de Limoncocha.**

Fecha de Muestreo 07-Jul-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Hora	Alcalinidad (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )	Dureza (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )
<b>MUELLE</b>	0,8	12:50	175	27,5
<b>ANTENA</b>	0,8	12:30	145	27,5
	0,7		150	25
	0,5		155	32,5
	0,2		152,5	45
<b>PISHIRA</b>	0,8	12:15	172,5	30
<b>Linea de Vertientes denominada "GUAPULO"</b>	0,1	11:15	197,5	62,5

**Tabla # 21 Concentración de Alcalinidad y Dureza en los Puntos de Muestreo de la Laguna de Limoncocha.**

Fecha de Muestreo 07-Jul-04 Noche

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Hora	Alcalinidad (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )	Dureza (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )
MUELLE	0,8	18:15	150	42,5
ANTENA	0,8	18:05	180	32,5
PISHIRA	0,8	18:00	182,5	25
Línea de Vertientes denominada "GUAPULO"	0,1	17:45	200	12,5

**Tabla # 22 Concentración de Alcalinidad y Dureza en los Puntos de Muestreo de la Laguna de Limoncocha.**

Fecha de Muestreo 08-Jul-04

Punto de Muestreo	Profundidad (m)	Hora	Alcalinidad (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )	Dureza (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )
MUELLE	0,8	10:48	153,75	30
ANTENA	0,8	10:35	167,5	30
	0,7		162,5	32,5
	0,5		152,5	42,5
	0,2		160	60
PISHIRA	0,8	10:30	176,25	32,5
Línea de Vertientes denominada "GUAPULO"	0,1	10:15	202,5	0

**Tabla # 23 Concentración Original de Fósforo en Aguas y Sedimentos de la Laguna de Limoncocha en sus fechas coincidentes.**

**Fecha de Muestreo 22 Enero 2004**

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Concentracion Original (P) (µg/L) En Aguas</b>	<b>Concentracion Original (P) (µg/L) En Sedimentos</b>
MUELLE	0,51395	9000
ANTENA	0,2284	6400
PISHIRA	1,61855	5200

**Tabla # 24 Concentración Original de Fósforo en Aguas y Sedimentos de la Laguna de Limoncocha en sus fechas coincidentes.**

**Fecha de Muestreo 26 Febrero 2004**

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Concentracion Original (P) (µg/L) En Aguas</b>	<b>Concentracion Original (P) (µg/L) En Sedimentos</b>
MUELLE	0,50905	9600
ANTENA	1,5663	7400
PISHIRA	0,58735	5800

**Tabla # 25 Concentración Original de Fósforo en Aguas y Sedimentos de la Laguna de Limoncocha en sus fechas coincidentes.**

**Fecha de Muestreo 18 Junio 2004**

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Concentracion Original (P) (µg/L) En Aguas</b>	<b>Concentracion Original (P) (µg/L) En Sedimentos</b>
<b>MUELLE</b>	0	12000
<b>ANTENA</b>	0,65265	6200
<b>PISHIRA</b>	5,87365	5400

**Tabla # 26 Concentración Original de Fósforo en Aguas, pH, Temperatura, Conductividad en el mismo punto de muestreo y a la misma profundidad, en las diferentes campañas de muestreo.**

<b>Fecha de Muestreo</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Conductividad (µs/cm)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>HORA</b>	<b>Concentracion Original (P) (µg/L)</b>
<b>22-Ene-04</b>	0,5	95,3	31,7	7,2	16:28	0,59
<b>26-Feb-04</b>	0,5	109,8	30,06	9,1	16:20	0,60
<b>27-Feb-04</b>	0,5	106,2	30,3	8,1	11:50	270,84
<b>27-Abr-04</b>	0,5	67,1	29,8	8,8	11:47	1,96
<b>28-Abr-04</b>	0,5	69,3	29,5	8,8	10:55	0
<b>19-Jun-04</b>	0,5	75,7	26,6	6,3	9:35	3,26
<b>20-Jun-04</b>	0,5	77,4	30,4	7,2	16:23	0

**Tabla # 27 Concentración Original de Fósforo en Aguas, pH, Temperatura, Conductividad en el mismo punto de muestreo y a la misma profundidad, en las diferentes campañas de muestreo.**

Fecha de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)	pH	HORA	Concentracion Original (P) (µg/L)
22-Ene-04	0,2	95,3	31,7	7,2	16:28	0,44
26-Feb-04	0,2	109,8	30,06	9,1	16:20	0,42
27-Feb-04	0,2	106,2	30,3	8,1	11:50	93,82
27-Abr-04	0,2	67,1	29,8	8,8	11:47	3,92
28-Abr-04	0,2	69,3	29,5	8,8	10:55	1,31
19-Jun-04	0,2	75,7	26,6	6,3	9:35	1,96
20-Jun-04	0,2	77,4	30,4	7,2	16:23	5,87

**Tabla # 28 Concentración Original de Fósforo en Aguas, pH, Temperatura, Conductividad en el mismo punto de muestreo y a la misma profundidad, en las diferentes campañas de muestreo.**

Fecha de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)	pH	HORA	Concentracion Original (P) (µg/L)
22-Ene-04	0,5	94,2	32,8	8,4	16:07	0
26-Feb-04	0,5	111,6	29,4	9,1	15:45	0,65
27-Feb-04	0,5	105,4	29	8,8	11:35	77,89
27-Abr-04	0,5	67,1	28,5	8,7	11:25	2,61
28-Abr-04	0,5	70,4	28,9	9,4	10:42	75,05
19-Jun-04	0,5	75	27,1	6,7	10:00	0,65
20-Jun-04	0,5	77,5	28,9	7,2	16:15	1,96

**Tabla # 29 Concentración Original de Fósforo en Aguas, pH, Temperatura, Conductividad en el mismo punto de muestreo y a la misma profundidad, en las diferentes campañas de muestreo.**

Fecha de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)	pH	HORA	Concentracion Original (P) (µg/L)
22-Ene-04	0,2	94,2	32,8	8,4	16:07	0,46
26-Feb-04	0,2	111,6	29,4	9,1	15:45	2,48
27-Feb-04	0,2	105,4	29	8,8	11:35	225,81
27-Abr-04	0,2	67,1	28,5	8,7	11:25	24,15
28-Abr-04	0,2	70,4	28,9	9,4	10:42	114,86
19-Jun-04	0,2	75	27,1	6,7	10:00	13,71
20-Jun-04	0,2	77,5	28,9	7,2	16:15	2,61

**Tabla # 30 Concentración Original de Fósforo en Aguas, pH, Temperatura, Conductividad en el mismo punto de muestreo y a la misma profundidad, en las diferentes campañas de muestreo.**

Fecha de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)	pH	HORA	Concentracion Original (P) (µg/L)
22-Ene-04	0,5	93,2	32,1	8,9	15: 30	1,63
26-Feb-04	0,5	114,9	29,6	9,3	15:18	0,50
27-Feb-04	0,5	113,2	28,9	9,0	11:15	228,42
27-Abr-04	0,5	71,5	27,7	9,2	11:00	17,62
28-Abr-04	0,5	68,6	29	9,3	10:22	0,65
19-Jun-04	0,5	76,2	27,9	8,6	10:29	0,65
20-Jun-04	0,5	81	29,1	9,1	15:15	7,83

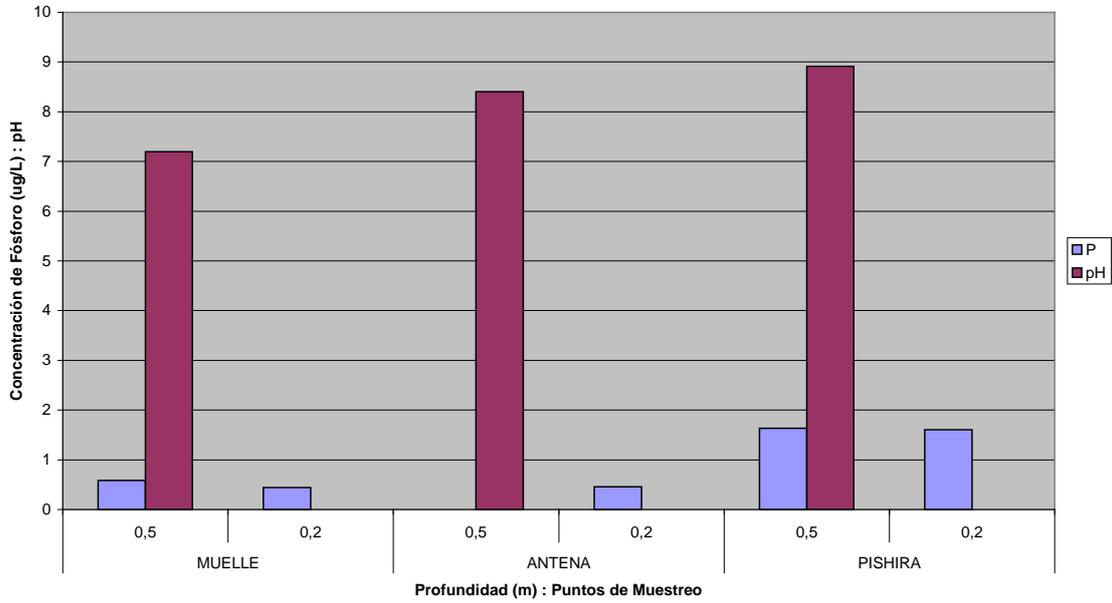
**Tabla # 31 Concentración Original de Fósforo en Aguas, pH, Temperatura, Conductividad en el mismo punto de muestreo y a la misma profundidad, en las diferentes campañas de muestreo.**

Fecha de Muestreo	Profundidad (m)	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)	pH	HORA	Concentracion Original (P) (µg/L)
22-Ene-04	0,2	93,2	32,1	8,9	15: 30	1,61
26-Feb-04	0,2	114,9	29,6	9,3	15:18	0,68
27-Feb-04	0,2	113,2	28,9	9,0	11:15	35,89
27-Abr-04	0,2	71,5	27,7	9,2	11:00	13,05
28-Abr-04	0,2	68,6	29	9,3	10:22	0
19-Jun-04	0,2	76,2	27,9	8,6	10:29	0
20-Jun-04	0,2	81	29,1	9,1	15:15	13,05

### 4.3 Gráficos

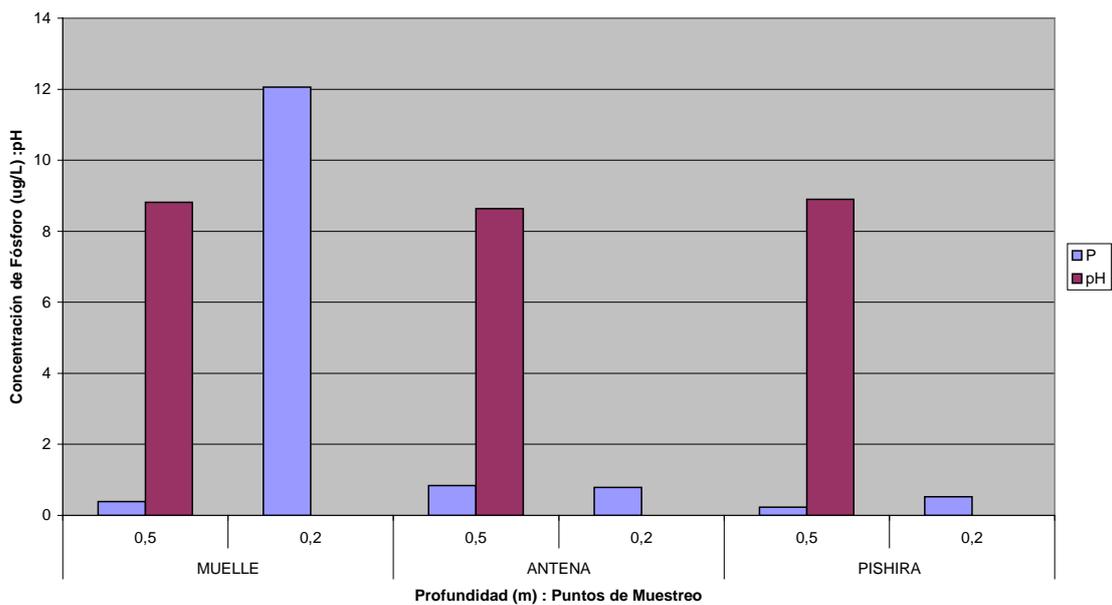
#### Gráfico # 9.

Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limoncocha 22 de Enero 2004



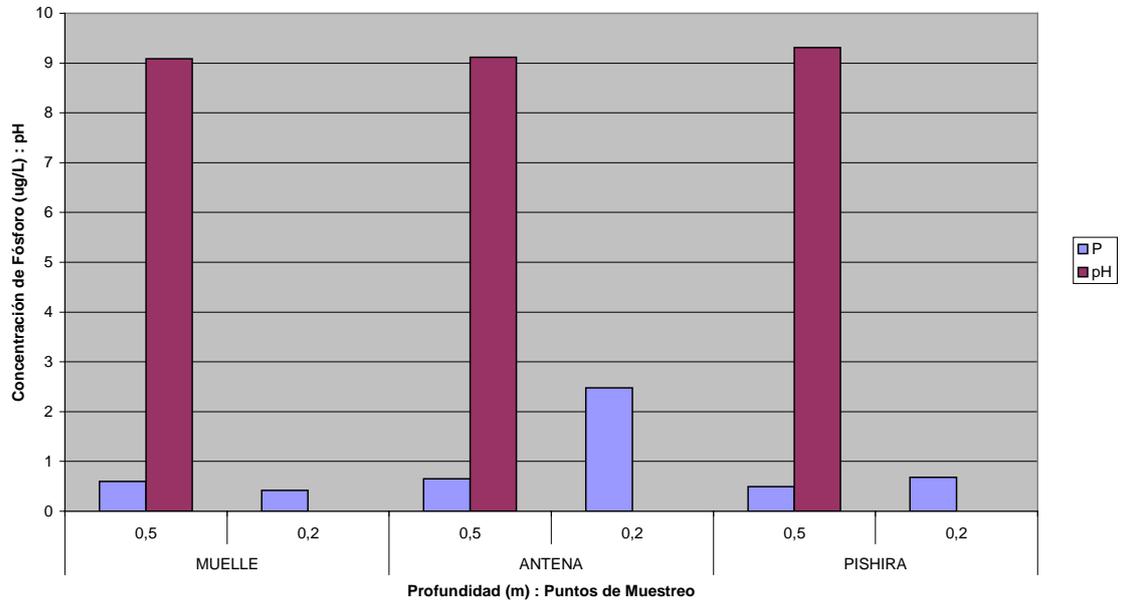
#### Gráfico # 10.

Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limoncocha 22 Enero 2004 Noche



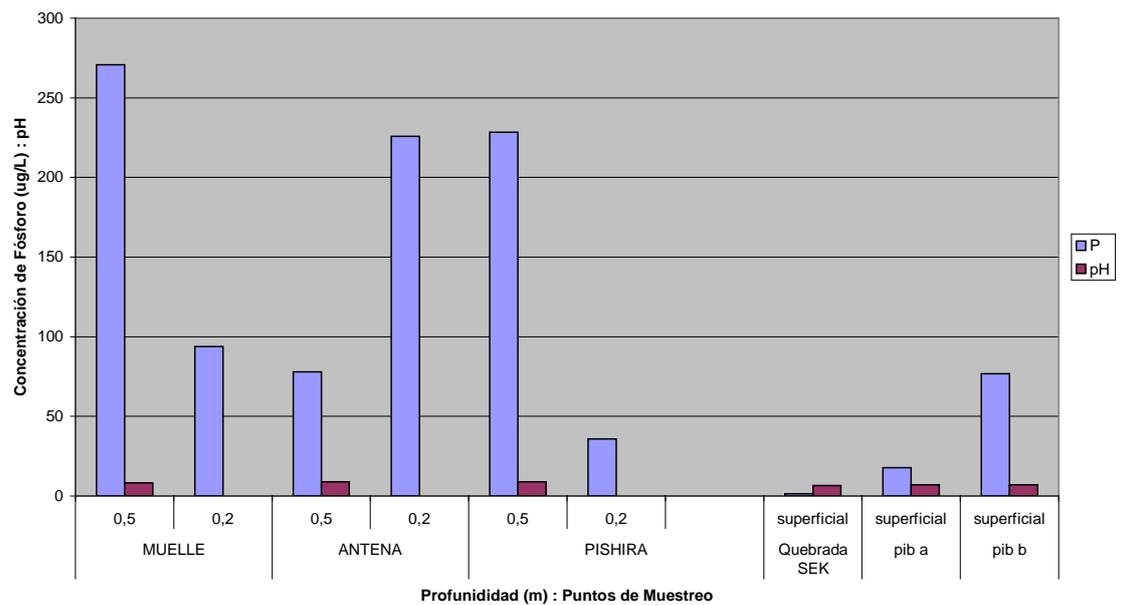
**Gráfico # 11.**

**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limoncocha 26 Febrero 2004**



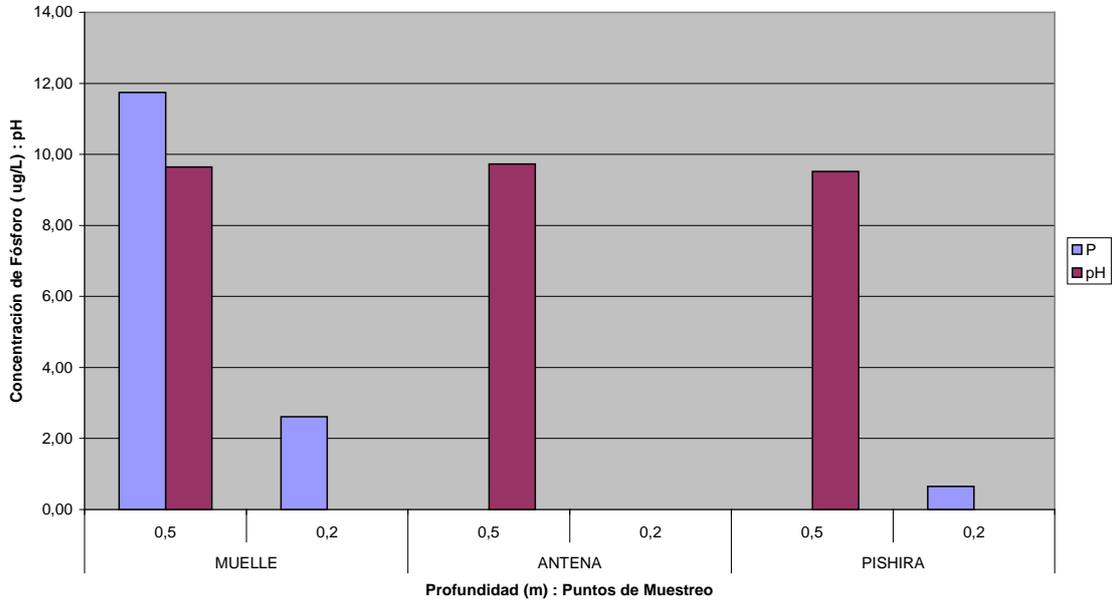
**Gráfico # 12.**

**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limoncocha 27 Febrero 2004**



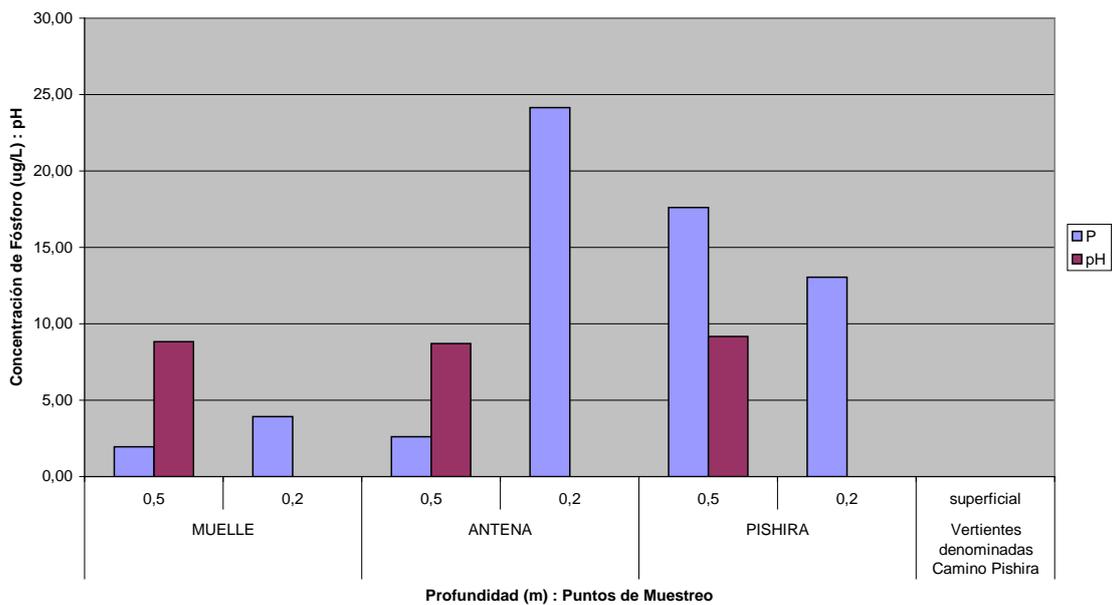
**Gráfico # 13.**

**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limoncocha 26 Abril 2004 por la Noche**

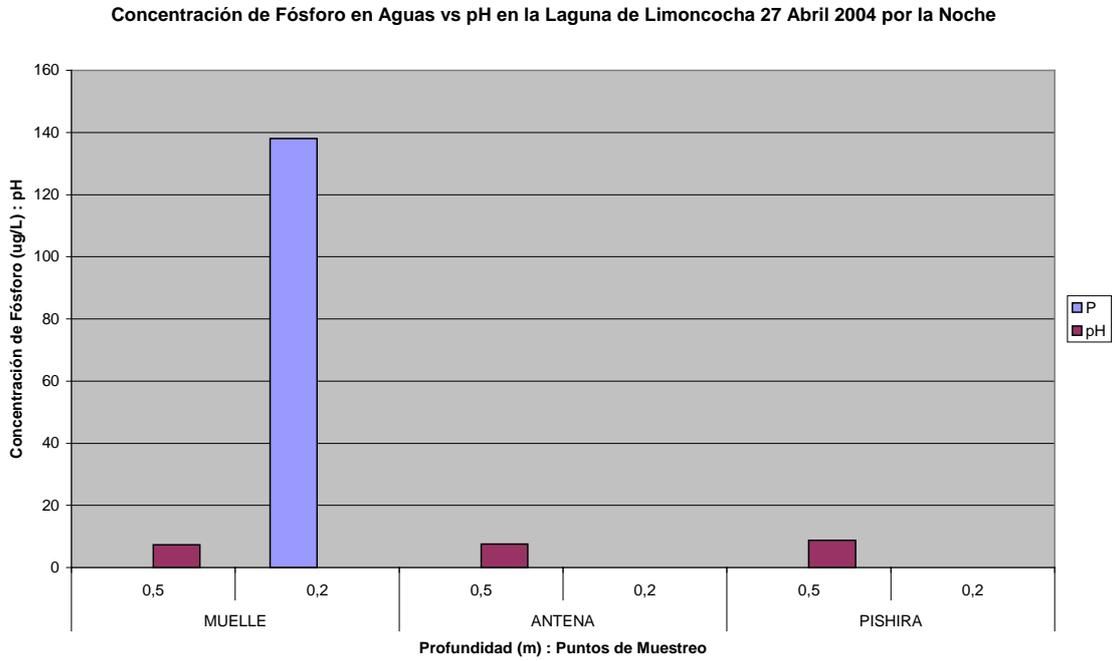


**Gráfico # 14.**

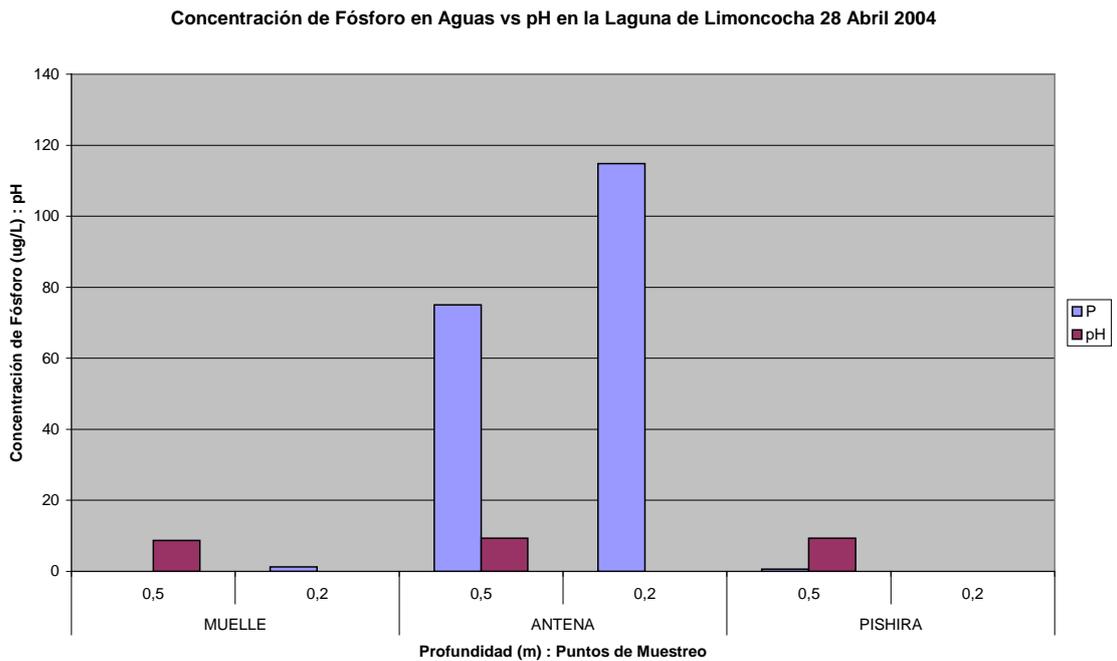
**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limoncocha 27 Abril 2004**



**Gráfico # 15.**

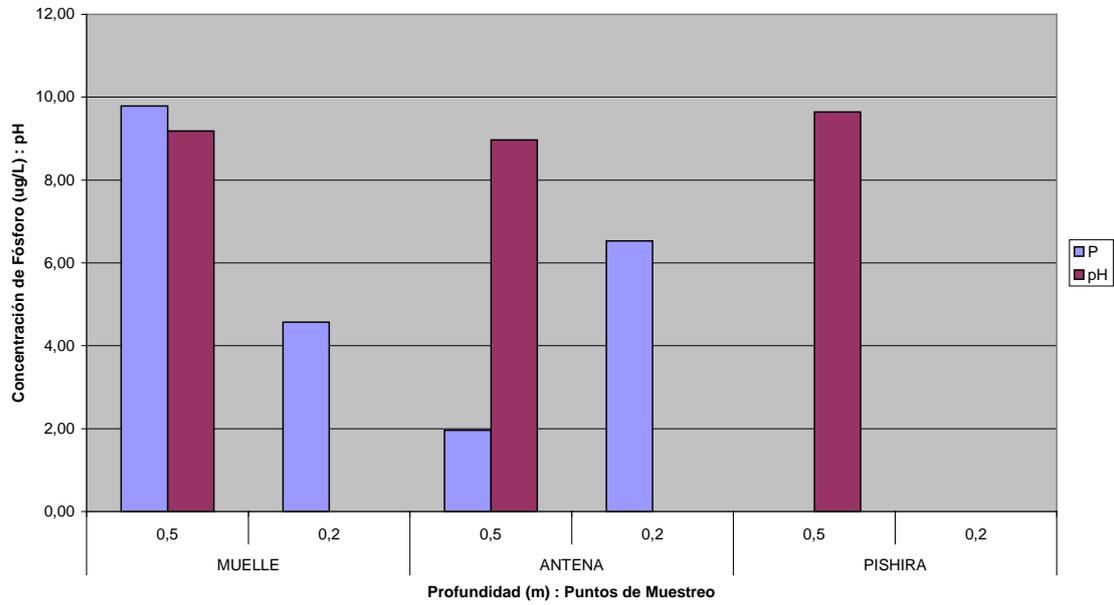


**Gráfico # 16.**



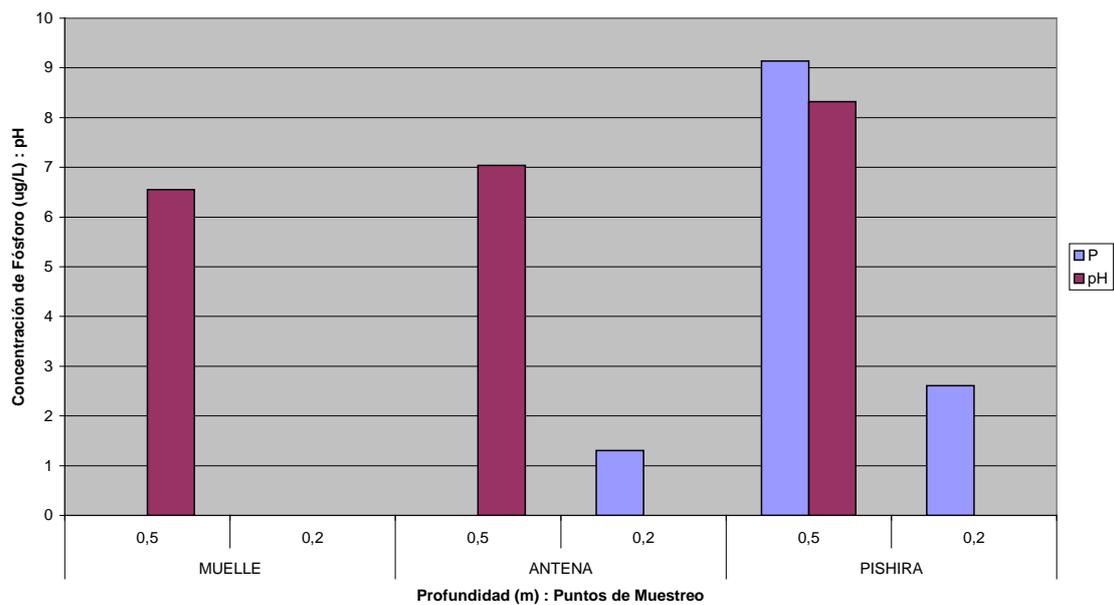
**Gráfico # 17.**

**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limonocha 28 Abril 2004 por la Noche**



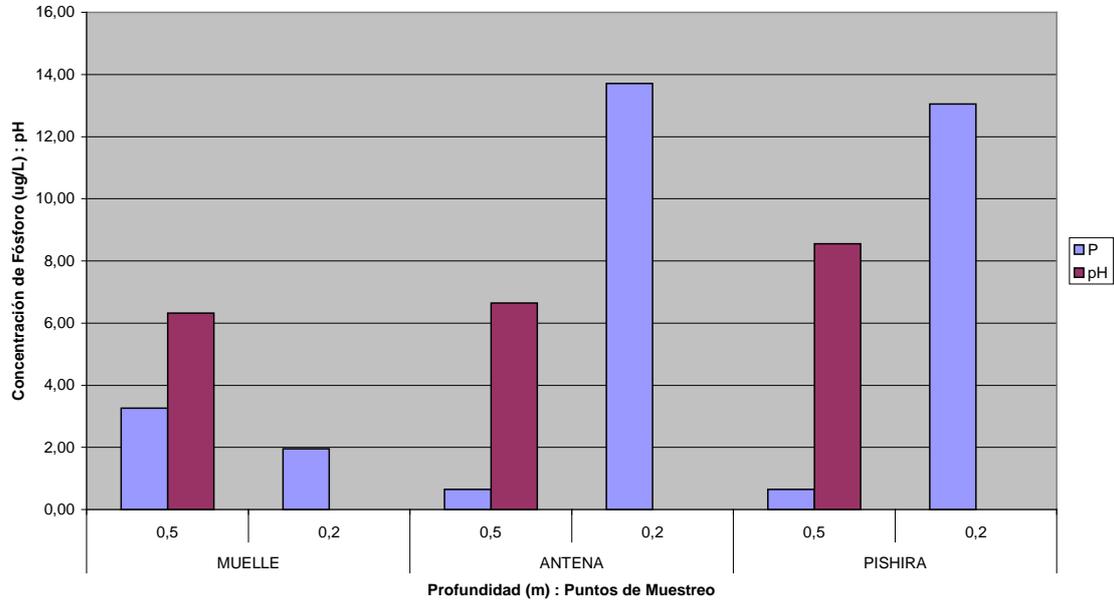
**Gráfico # 18.**

**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limonocha 18 Junio 2004 por la Noche**



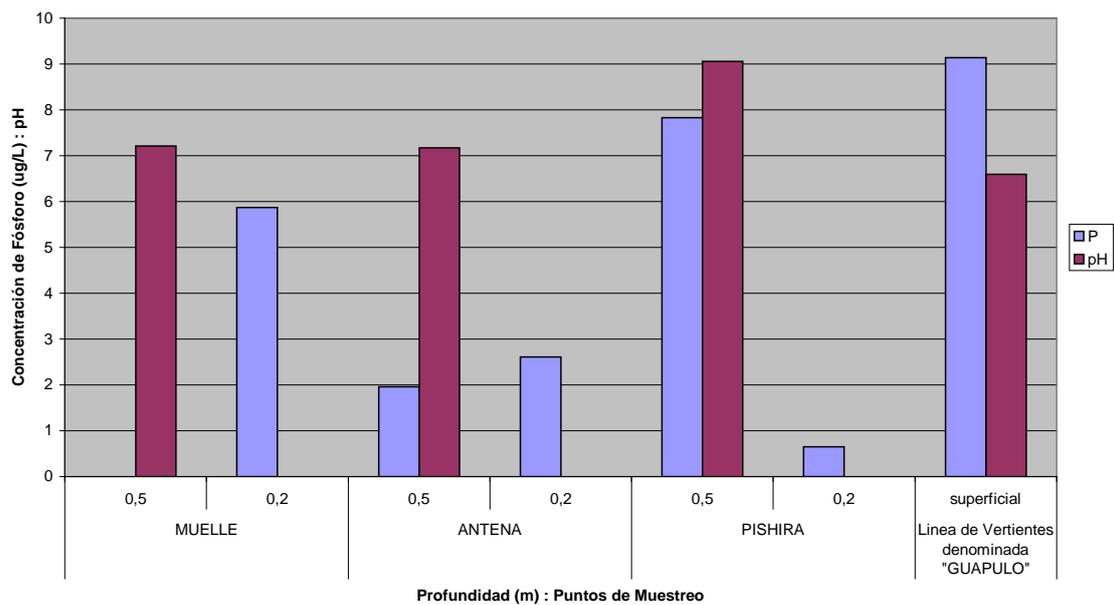
**Gráfico # 19.**

**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limococha 19 Junio 2004**

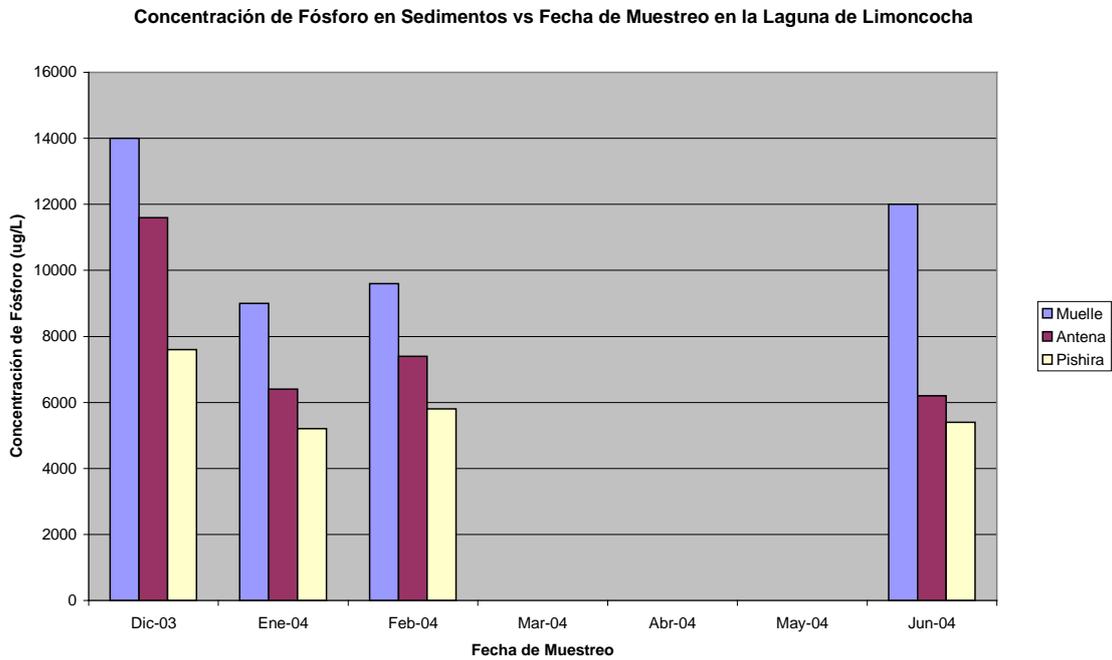


**Gráfico # 20.**

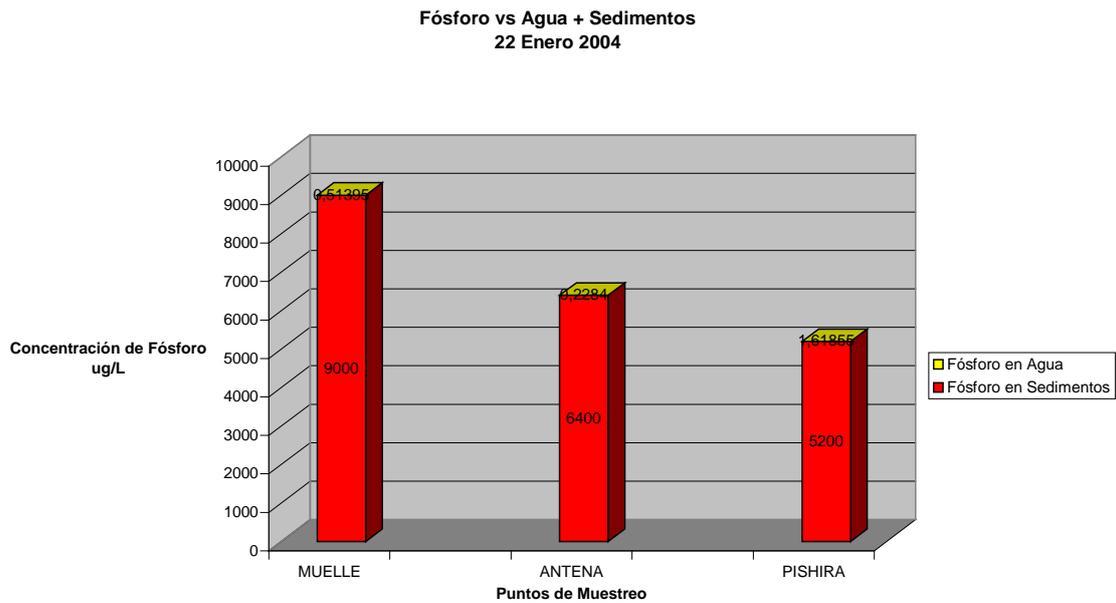
**Concentración de Fósforo en Aguas vs pH en la Laguna de Limoncocha 20 Junio 2004**



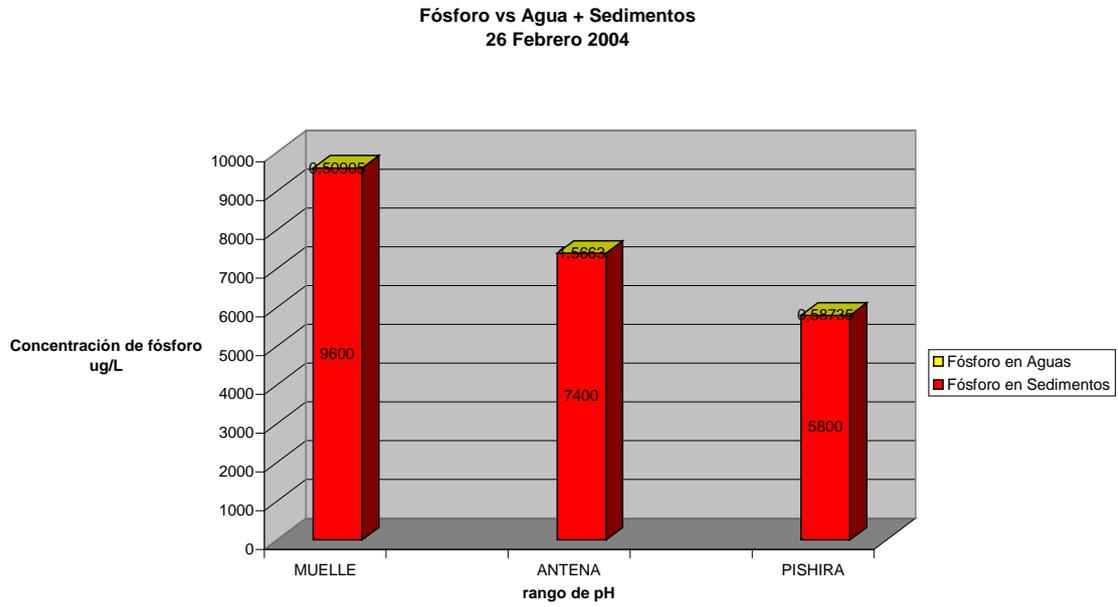
**Gráfico # 21.**



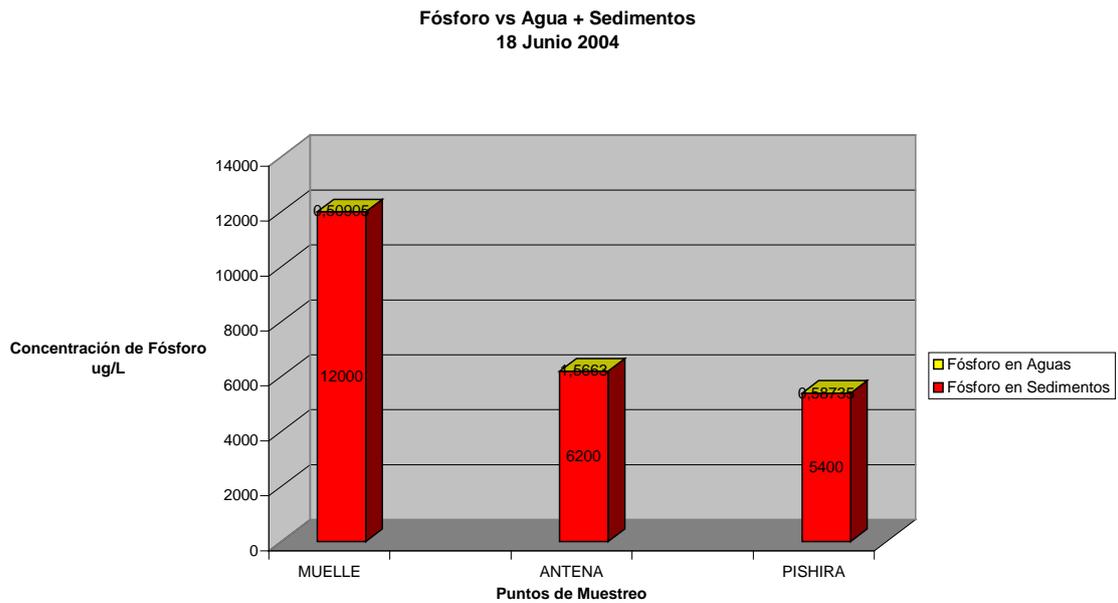
**Gráfico # 22 : Concentración de Fósforo en aguas y sedimentos de la Laguna, Fecha: 22 de Enero 2004**



**Gráfico # 23 : Concentración de Fósforo en aguas y sedimentos de la Laguna,  
Fecha: 26 de Febrero 2004**

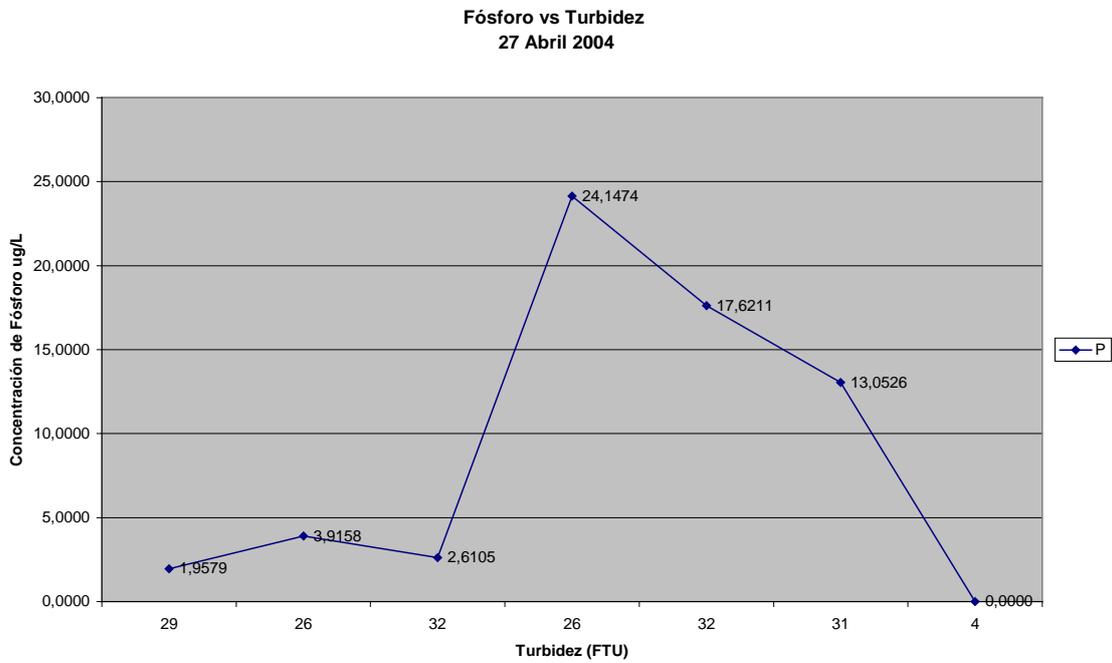


**Gráfico # 24 : Concentración de Fósforo en aguas y sedimentos de la Laguna,  
Fecha: 18 de Junio 2004**



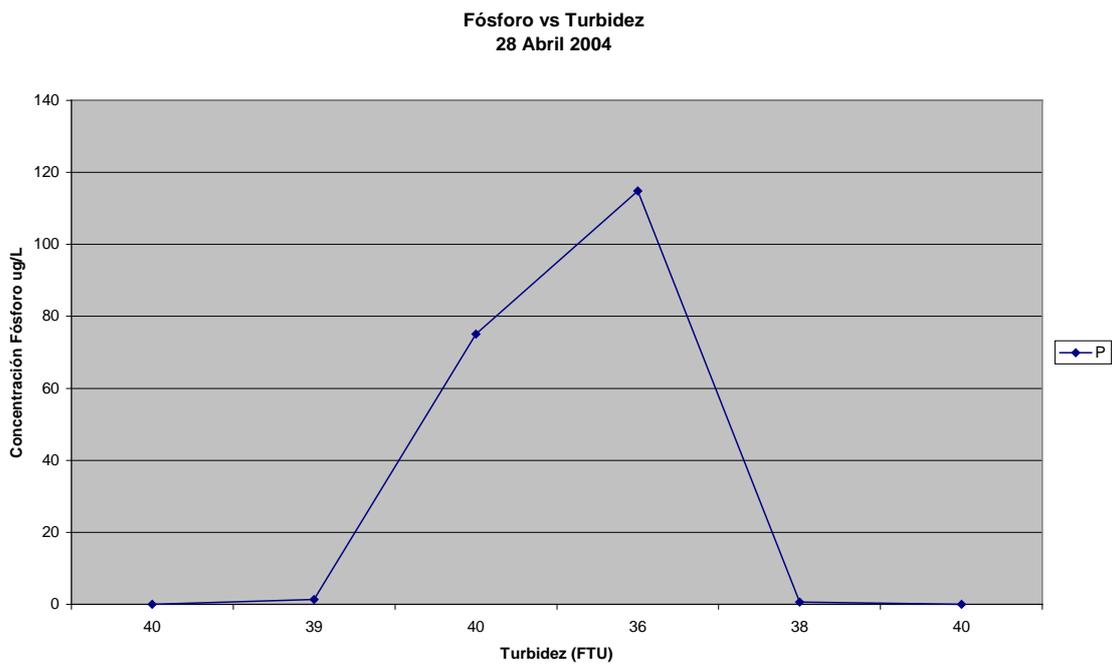
**Gráfico # 25 : Relacion entre el Contenido de Fósforo y la Dureza,**

**Fecha: 27 Abril 2004**

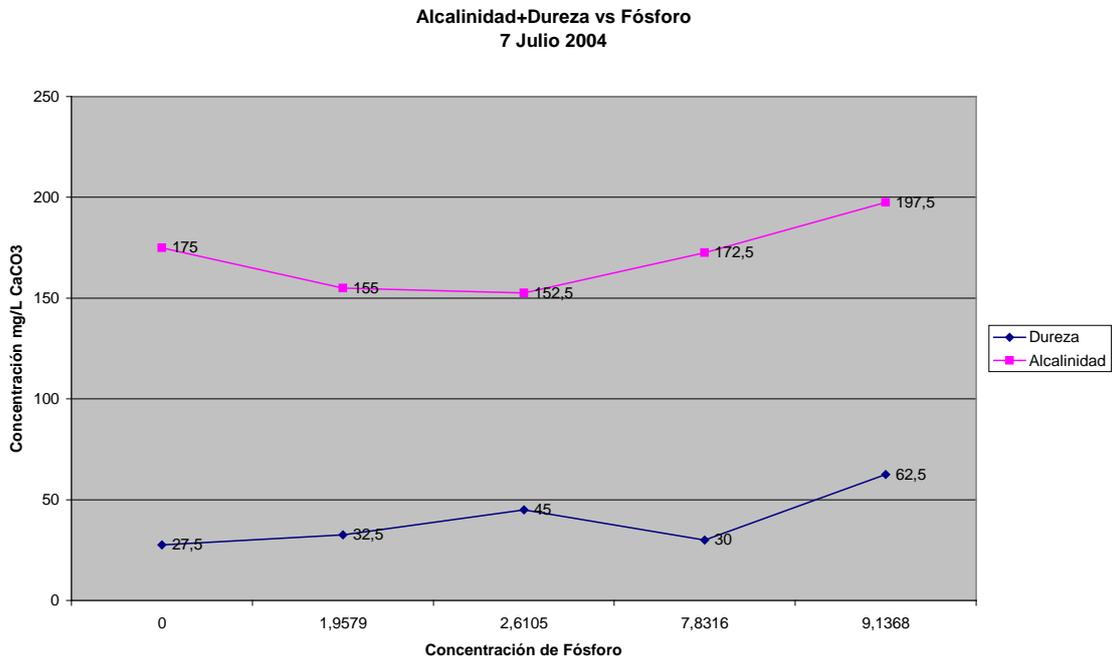


**Gráfico # 26 : Relacion entre el Contenido de Fósforo y la Dureza,**

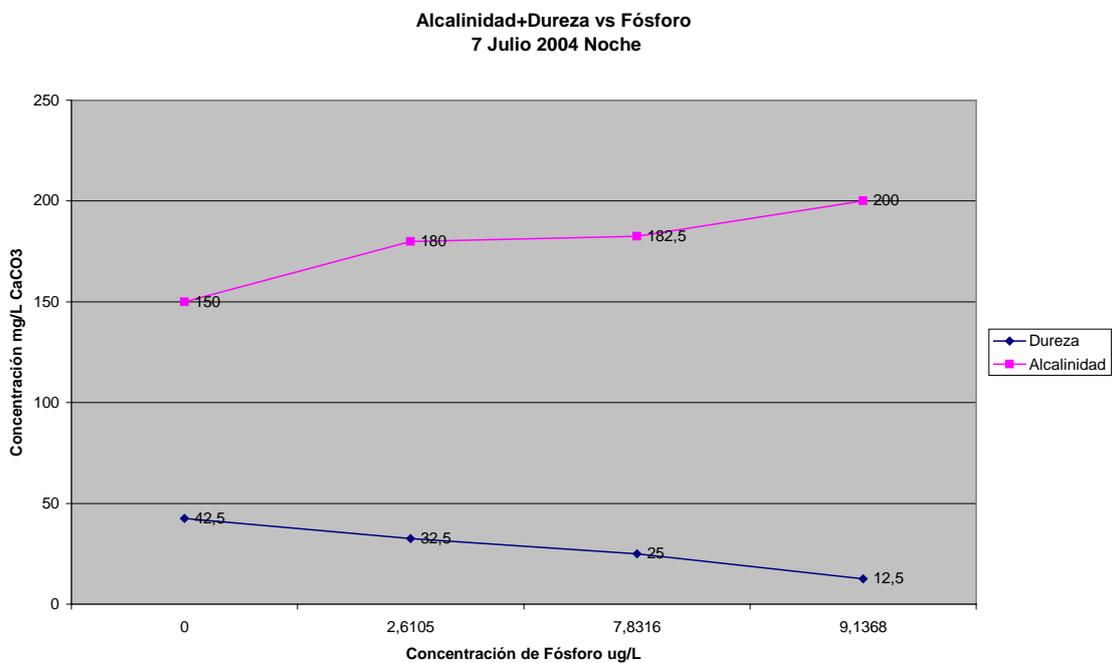
**Fecha: 28 Abril 2004**



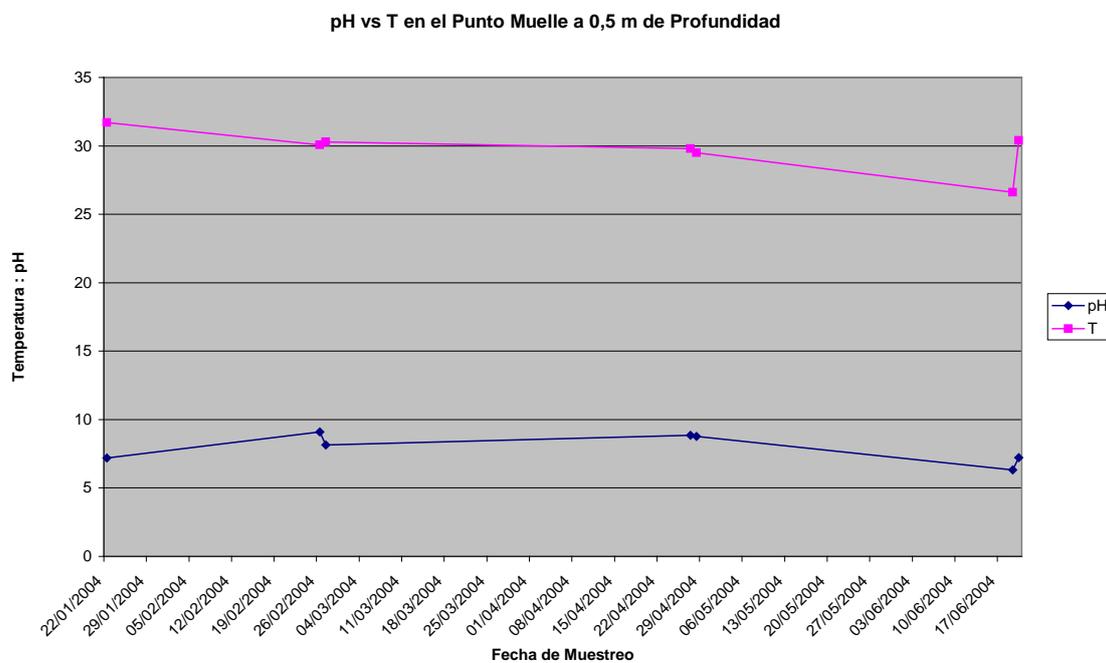
**Gráfico # 27 : Relacion entre el Contenido de Fósforo, la Alcalinidad y la Dureza,  
Fecha: 27 Abril 2004**



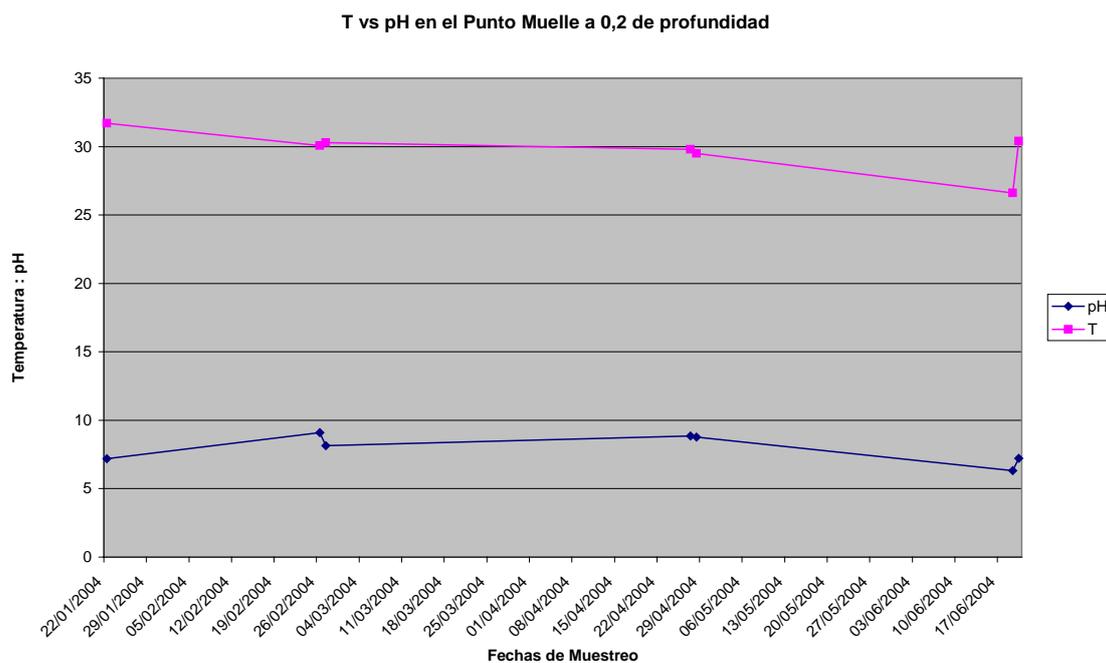
**Gráfico # 28 : Relacion entre el Contenido de Fósforo, la Alcalinidad y la Dureza,  
Fecha: 7 Julio 2004**



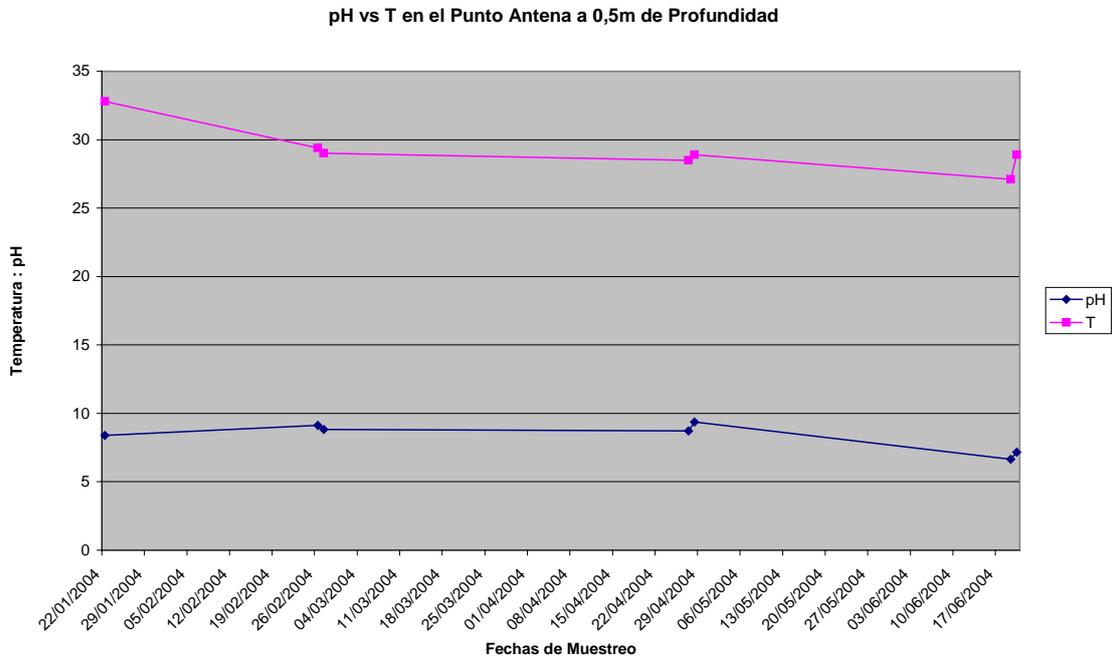
**Gráfico # 29 : Relación entre pH y T en un punto de muestreo y a la misma profundidad en las diferentes campañas de muestreo**



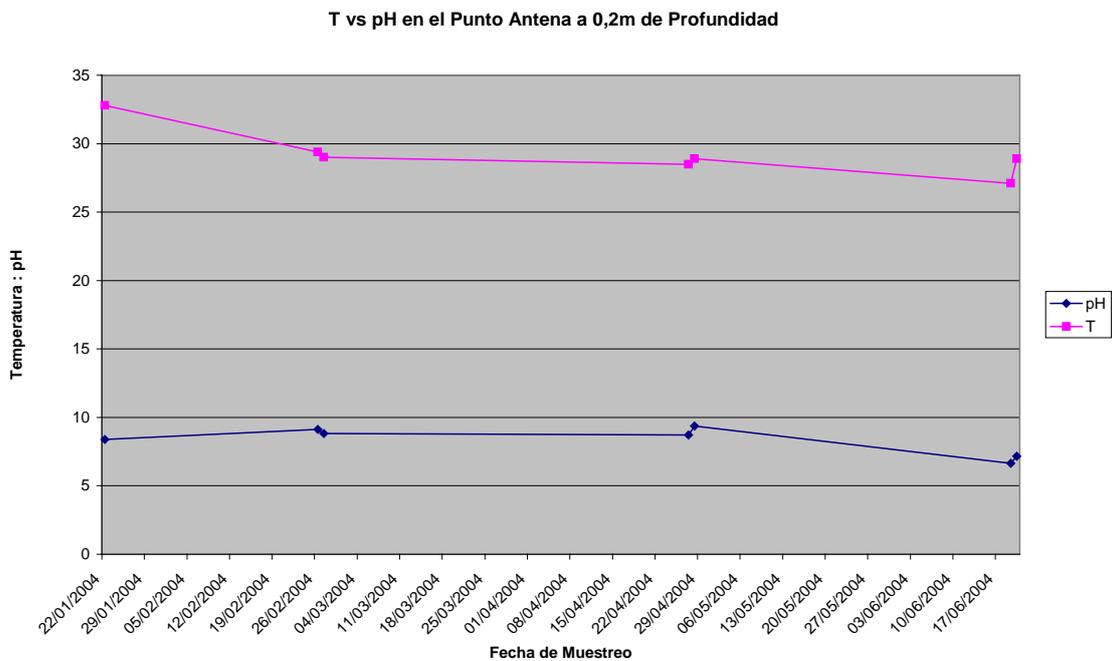
**Gráfico # 30 : Relación entre pH y T en un punto de muestreo y a la misma profundidad en las diferentes campañas de muestreo**



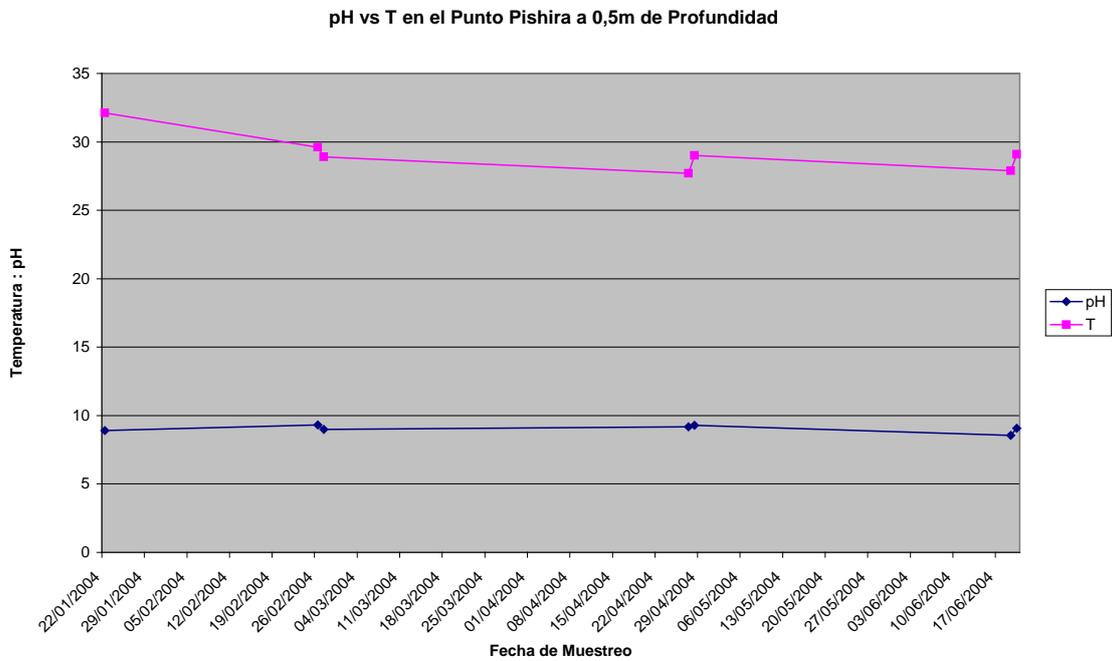
**Gráfico # 31 : Relación entre pH y T en un punto de muestreo y a la misma profundidad en las diferentes campañas de muestreo**



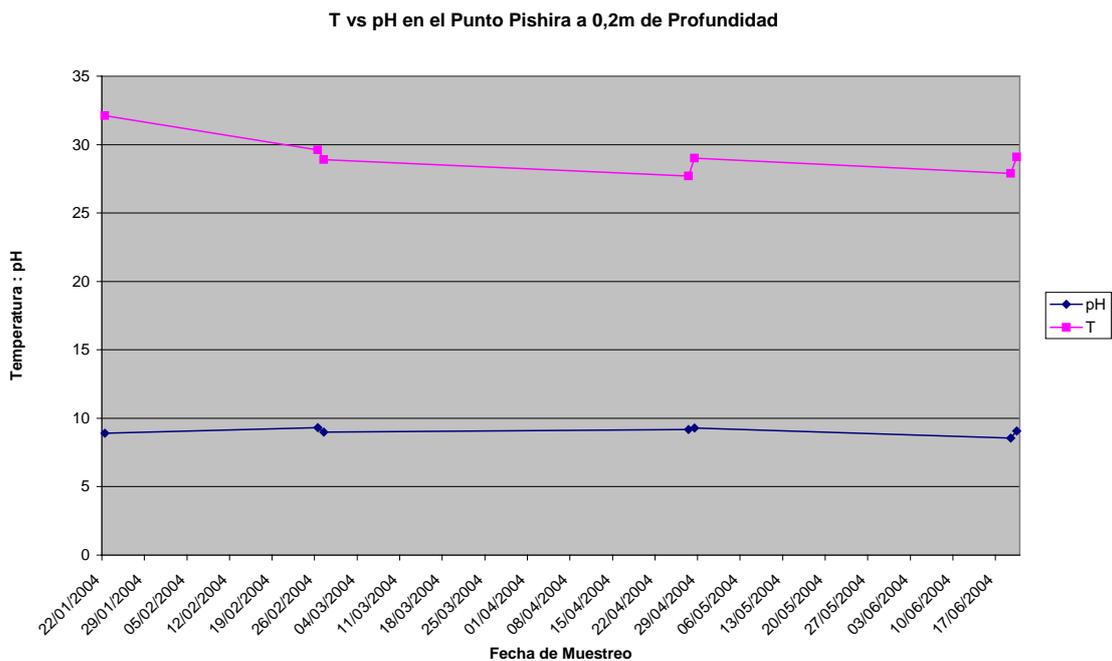
**Gráfico # 32 : Relación entre pH y T en un punto de muestreo y a la misma profundidad en las diferentes campañas de muestreo**



**Gráfico # 33 : Relación entre pH y T en un punto de muestreo y a la misma profundidad en las diferentes campañas de muestreo**



**Gráfico # 34 : Relación entre pH y T en un punto de muestreo y a la misma profundidad en las diferentes campañas de muestreo**



## CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Se puede apreciar que a medida que el pH se acerca a 8 las concentraciones de fósforo disminuyen, mientras mas se aleja de este rango de pH, aumenta las concentraciones. Ver gráfico # 9.
- Se distingue un comportamiento particular del fósforo en el punto de muestreo muelle, ya que en el resto de la laguna se mantiene constante, en el muelle a 20 cm de profundidad la concentración de fósforo se incrementa notablemente. Se podría pensar que en ese momento se presenta una liberación de fósforo al sistema acuático de la laguna, debido presumiblemente a descargas domesticas cercanas al punto de muestreo muelle, para lo cual es necesario realizar más estudios y establecer un parámetro que este relacionado directamente con la concentración de fósforo. Ver gráfico # 10.
- Este comportamiento del fósforo se mantiene similar pero no en el muelle, sino en el punto antena, de la misma forma a 20 cm de profundidad la concentración de fósforo se incrementa notablemente mientras que en el resto de la laguna esta concentración permanece relativamente constante, esto podría estar ocasionado por aportes de corrientes internas. Ver gráfico # 11.
- Se encontró que en los puntos IPIB A e IPIB B incrementa la concentración de fósforo a medida que se incrementa el pH, la concentración es mayor en IPIB B debido a los aportes de fósforo provenientes de detergentes. ver gráfico # 12.
- El comportamiento es uniforme en todos los puntos de muestreo, en los cuales a medida que disminuye la profundidad, la concentración de fósforo es mas alta.
- La diferencia entre la concentración de fósforo en sedimentos y en aguas, es muy amplia, la relación es de 412 : 1 , el fósforo se encuentra en gran cantidad en los sedimentos, pero en poca cantidad en el agua, lo que puede ser causado por las condiciones del agua de la laguna.
- De los datos obtenidos en la mayor parte de campañas de muestreo realizadas, el valor de pH esta en un promedio de 9.25, parece que a estas condiciones las concentraciones de fósforo son bajas.

Observación: En una de las campañas se apreció la presencia de una mancha azul, ver foto # 4, de olor un tanto fétido, en el sector del canal donde se realizó el aforo del caudal, se presume puedan tratarse de algas verde-azules.

## **CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- La concentración de fósforo es función del pH, a medida que decrece el pH las concentraciones de fósforo aumentan.
- En la medida que la laguna reciba una descarga de fósforo por mínima que resulte puede encadenar un desequilibrio del sistema, provocando que las concentraciones de fósforo se incrementen en gran medida.
- La laguna es muy sensible ante cualquier descarga, su tolerancia a cargas contaminantes es baja, por lo que se recomienda implementar un control en las descargas que son arrojadas a la laguna.
- La relación del contenido de fósforo de sedimentos a aguas es de 412 a 1, por lo que se aprecia que la mayor concentración de fósforo se encuentra en sedimentos. Esta relación se produce debido a que el pH del agua de la laguna en promedio es de 9.25, y a estas condiciones la alcalinidad del agua no permite que el fósforo que ingresa a la laguna se encuentre solubilizado, ya que el fósforo como ortofosfato a valores de pH superiores a nueve precipita como fosfatos y se deposita en los sedimentos.
- De los resultados obtenidos, se aprecia una relación de las cantidades de fósforo presentes en el agua y en los sedimentos la laguna, a lo largo del año es de 50,25: 1.
- El uso de detergentes incrementa la concentración fósforo en el agua, ya que los detergentes tienen como constituyentes fundamentalmente a los ortofosfatos.

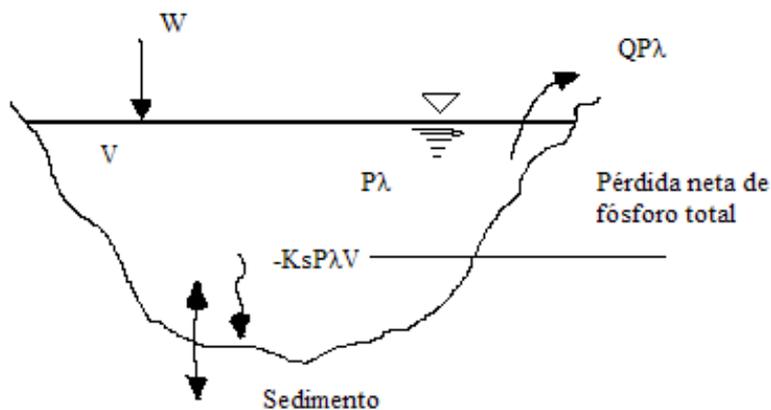
## **ANEXOS**

### **ANEXO I : Modelo**

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 masas para fósforo, en un lago completamente mezclado, establecido en las “Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Tropicales”.

Gráfico # 8 : Esquema de balance de masa para fósforo lago completamente mezclado



Donde:

$V$  = Volumen del lago ( $m^3$ )

$P\lambda$  = Fósforo total en el lago ( $g/m^3$ )

$Q$  = Caudal de salida ( $m^3/año$ )

$W$  = Fuentes externas de fósforo ( $g/año$ )

$K_s$  = Tasa de pérdida global de fósforo ( $año^{-1}$ )

$vs$  = Velocidad de Sedimentación ( $m/año$ )

$\rho$  = Constante

Datos para el cálculo:

Laguna de Limococha

Carga de fósforo ( $L_p$ ) =  $0,1441 g/m^2 año$

$Q = 2,01830400 \times 10^8 m^3/año$

Profundidad promedio ( $z$ ) =  $1,8 m$

Volumen =  $4,309354 \times 10^6 m^3$

Tiempo de retención (Tw) = volumen de la laguna / Caudal de salida

$$Tw = 4,309354 \times 10^6 \text{ m}^3 / 2,01830400 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Tw = 0,021 \text{ años}$$

$$\text{Area de la laguna} = 2,7 \text{ Km}^2$$

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

$$P\lambda = (Lp / z)(Tw^{3/4} / 3)$$

Donde:

$P\lambda$  = Fósforo total en el lago (mg/L)

$Lp$  = Carga de fósforo ( $\text{g} / \text{m}^2 \text{ año}$ )

$z$  = Profundidad promedio del lago (m)

$Tw$  = Tiempo de retención ( $\text{años}^{-1}$ )

$$P\lambda = (0,1441 \text{ g} / \text{m}^2 \text{ año} / 1,8\text{m})(0,021 \text{ años}^{3/4} / 3)$$

$$P\lambda = 1,47 \times 10^{-3} \text{ g} / \text{m}^3.$$

$$\rho = Q / V = 1 / Tw$$

$$\rho = 1 / 0,021 \text{ años}$$

$$\rho = 47,61 \text{ años}^{-1}$$

$$P\lambda = \frac{Lp}{z(\rho + Ks)}$$

despejando:

$$Ks = \frac{Lp}{z P\lambda} - \rho$$

$$Ks = \frac{0,1441 \text{ g} / \text{m}^2 \text{ año}}{(1,8\text{m})(1,47 \times 10^{-3} \text{ g} / \text{m}^3)} - 47,61 \text{ años}^{-1}$$

$$K_s = 6,84 \text{ años}^{-1}$$

$$K_s = v_s / z$$

Por tanto

$$v_s = (K_s)(z)$$

$$v_s = (6,84 \text{ años}^{-1})(1,8 \text{ m})$$

$$v_s = 12,31 \text{ m / año}$$

Perdida Neta de Fósforo Total:

$$-K_s P \lambda V = (6,84 \text{ años}^{-1})(1,47 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3)(4,309354 \times 10^6 \text{ m}^3)$$

$$-K_s P \lambda V = 43329,7 \text{ g / año}$$

$$\mathbf{-K_s P \lambda V = 43,33 \text{ Kg/año}}$$

$$QP \lambda = (2,01830400 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{año})(1,47 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3)$$

$$QP \lambda = 296690,688 \text{ g/año}$$

$$\mathbf{QP \lambda = 296,7 \text{ Kg/año}}$$

### **Estimado de la cantidad de Fósforo en Aguas de Limoncocha**

#### **Concentración Promedio de Fósforo en Aguas = 20,24 µg/L**

Cantidad de Fósforo = (Concentración Promedio de Fósforo)(Volumen de la Laguna)

$$\text{Cantidad de Fósforo} = 20,24 \text{ µg/L} \times 4,309354 \times 10^6 \text{ m}^3 (10^3 \text{ L / m}^3)(\text{g} / 10^6 \text{ µg})$$

$$\text{Cantidad de Fósforo} = 87221,32496 \text{ g/día}$$

$$\text{Cantidad de Fósforo} = 87,22132 \text{ Kg/día} (365 \text{ días/año})$$

$$\mathbf{\text{Cantidad de Fósforo en Aguas} = 31835,3 \text{ Kg/año}}$$

### **Estimado de la cantidad de Fósforo en Sedimentos de Limoncocha**

#### **Concentración Promedio de Fósforo en Sedimentos = 8350 µg/L**

Cantidad de Fósforo = (Concentración Promedio de Fósforo)(espesor)(Área de la laguna)

$$\text{Cantidad de Fósforo} =$$

$$= (8350 \text{ µg/L})(0,2 \text{ m})(2,7 \text{ Km}^2)((10^3 \text{ L / m}^3)(\text{g} / 10^6 \text{ µg})((1000 \text{ m})^2 / \text{Km}^2)$$

$$\text{Cantidad de Fósforo} = 4509000 \text{ g/día}$$

Cantidad de Fósforo = 4509 Kg/día (365días/año)

**Cantidad de Fósforo en sedimentos =  $1,6 \times 10^6$  Kg/año**

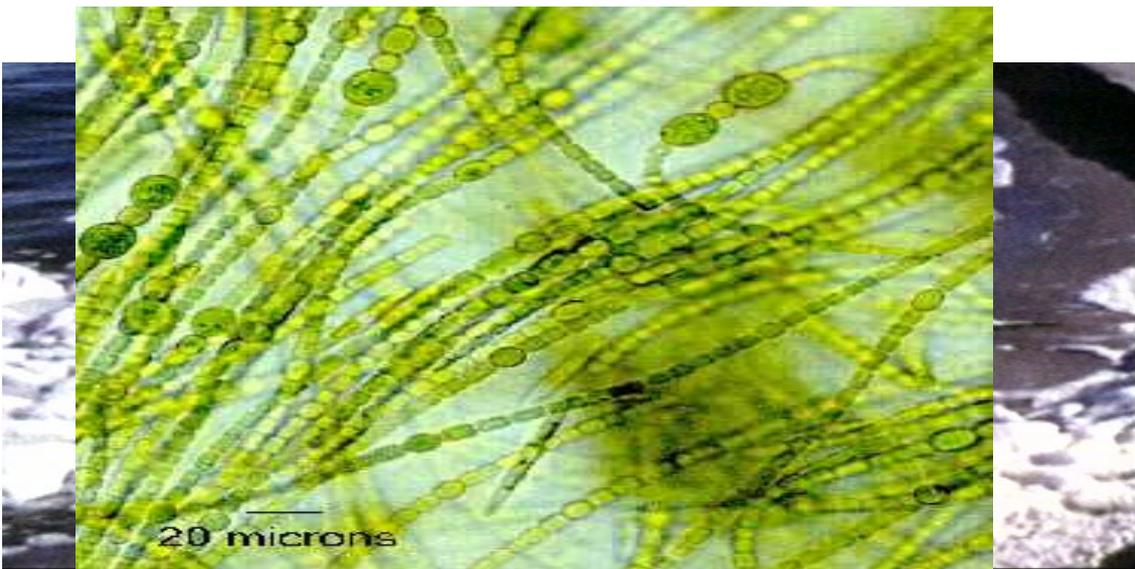
**ANEXOS 2 : FOTOS**

**FOTO # 1 : LIRIOS ACUATICOS**



**FOTO # 2 : DETERGENTES EN AGUAS**

**FOTO # 3 : ALGAS**



**FOTO # 4 : MANCHA AZUL**



**FOTO # 5 LINEA DE VERTIENTES**



**FOTO # 6 PUNTO DE MUESTREO MUELLE**



**FOTO # 7 PUNTO DE MUESTREO ANTENA**



**FOTO # 8 PUNTO DE MUESTREO PISHIRA**



**FOTO # 8 AFORO DEL CAUDAL, PUNTO A**



**FOTO # 8 AFORO DEL CAUDAL, CENTRO**



**FOTO # 8 AFORO DEL CAUDAL, PUNTO B**



**FOTO # 9 MUESTREANDO AGUAS**



**FOTO # 10 MUESTREANDO SEDIMENTOS**



**FOTO # 11 RECOLECTANDO LA MUESTRA DE AGUA**



**FOTO # 12 MIDIENDO LA DISTANCIA PARA EL CALCULO DE VELOCIDAD**



**BIBLIOGRAFÍA**

- Wetzel, G; 1983. Limnology. Segunda Edicion. Saunders College Publishing. New York – Estados Unidos.
- <http://dmc.utep.edu/rotifer/anat.html>
- HOLDRIGE; 1978. ECOLOGÍA BASADA EN LAS ZONAS DE VIDA. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San Jose – Costa Rica.
- <http://al.edu.com/cursos/IDEA/98603/lecciones/Mod3/PARAMETROS.htm>.
- Stocker, S., Seeager, S., ENVIRONMENTAL CHEMISTRY: AIR AND WATER POLLUTION, second edition, Department of Chemistry Weber State Collage, 1976, Glenview, Illinois.
- <http://usuarios.lycos.es/acuarioweb/agua/dureza.htm>.
- Gunkel, G., LIMNOLOGIA Y PROECCION DE ECOSISTEMAS ACUATICOS, Escuela Politecnica Nacional, Centro de Educación Continua Unidad de Ingeniería Ambiental, 1996, Quito, Ecuador.
- Marcet, M., MENTOR INTERACTIVO ENCICOLPEDIA TEMATICA ESTUDIANTIL, Primera edición, Grupo Editorial Océano, 1999, Barcelona, España.
- <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/P.htm>
- Henry, G., Heinke, G., ENVIRONMENTAL SCINCE AND ENGINEERING, Editorial Prentice Hall, Universidad de Toronto, 1990, Canadá.
- Roldan, G., FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL, Primera edición, Editorial Universidad de Antioquia, 1992, Medellín-Colombia.

- Keller, R., gexasser und wasserhaushalt des Fest-Landes. Haude Uf Spenersche. Verl. 1961, Berlin – Alemania.
- Baldi, E. LA SITUACION ACTUELLE DE LA RESERCHE LIMNOLOGIQUE APRES LE CONGRES DE ZURICH, 1949, Zurich-Suiza.
- Nebel, B., Wright, R., CIENCIAS AMBIENTALES: ECOLOGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Sexta Edicion, Editorial Prentice Hall, 1999, Naucalpan de Juárez-México.
- <http://dmc.utep.edu/rotifer/anat.html>
- Ayala, P., CARACTERIZACIÓN LIMNOLOGICA DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA E IDENTIFICAIÓN DE LAS CARÁCTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS BASICAS DE LA ZONA DE LIMONCOCHA, 2003, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.
- <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/110ProPri.htm>
- <http://www.sagan-gea.org/hojared/biodiversidad/paginas/hoja26.html>
- <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/05PrinEcos/175Lago.htm>
- Jurado, J., MANUAL PARA MUESTREO DE AGUAS Y SEDIMENTOS, Recopilación Bibliográfica, Primera Edicion, Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, 1998, Quito- Ecuador
- Manual HACH, Laboratorio Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

