

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA AMBIENTAL**

**CARACTERIZACIÓN LIMNOLÓGICA DE LA LAGUNA DE  
LIMONCOCHA E  
IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS  
HIDROLÓGICAS BÁSICAS DE LA ZONA DE  
LIMONCOCHA**

**AUTORA: PAMELA AYALA H.**

**DIRECTOR DE TESIS: ING FABIO VILLALBA**

**QUITO-ECUADOR**

**2003**

**DEDICATORIA:**

A Mis padres Fausto y Anita, a mi hermana Paola y a mi novio Santiago  
por su comprensión y apoyo en todo momento

## **AGRADECIMIENTO**

Debo dejar constancia de mi profundo agradecimiento a todas y cada una de las personas que colaboraron para que este estudio se lleve a cabo:

A mi familia por su colaboración permanente durante la realización de este trabajo

A la Universidad Internacional SEK por la confianza depositada en mi para desarrollar este tema y brindarme tanto el apoyo económico como académico.

A la compañía Occidental Exploration and Production Company por facilitarme el equipo y brindarme su ayuda durante todo el trabajo.

A los Ingenieros Fabio Villalba, Alonso Moreta y Byron Puertas por su dedicación, sabiduría, esfuerzo, y entrega de conocimientos en el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros y amigos Jorge Gómez, Paola Almeida, Mayo Urresta, y Carla Guerra por su ayuda y consejos en el trabajo de campo.

A Santiago Ávila y a mi amigo Esteban Narváez por su dedicación y ayuda incondicional en trabajo de gabinete.

Al Sr. Hendry Moya, Administrador de la Estación Científica Limoncocha, por su tenacidad y gran ayuda en el trabajo de campo.

## **TABLA DE CONTENIDO**

I Resumen / Abstract

II Introducción

1

### **CAPÍTULO # 1: MARCO TEÓRICO**

1.1 Perspectiva Limnológica:	
1.1.1 Conceptos de Limnología	3
1.1.2 Origen de los lagos:	4
1.1.3 Regiones de los lagos:	8
1.1.4 Tipos de lagos:	10
1.1.5 Importancia de los sistemas dulceacuícolas	11
1.1.6 Parámetros físicos del agua:	12
1.2 Hidrología :	27
1.2.1 Niveles limnimétricos	
1.2.2 Aguas subterráneas:	28
1.2.3 Gradiente hidráulico y la Ley de Darcy	32

### **CAPITULO # 2: ANTECEDENTES**

2.1 Estudios Previos	
2.1.1 Estudios Limnologicos en la región Neotropical	41
2.1.2 Estudios en la laguna de Limoncocha	43
2.1.3 Río Napo	46
2.2 Descripción del área de estudio:	
2.2.1 Reserva Biológica Limoncocha	46
2.2.2 Características geológicas de la zona	49
2.2.3 Características hidrológicas de la zona	52
2.2.4 Climatología de la zona	54

### **CAPITULO # 3: METODOLOGÍA DE TRABAJO**

3.1 Trabajo de campo:	57
3.1.1 Ubicación de puntos de muestreo	57
3.1.2 Monitoreo de parámetros físicos del agua	58
3.1.3 Aforo en los ríos Pishira, Playayacu, SEK y en vertientes	59
3.2 Trabajo de gabinete	
3.2.1 Aplicación del Método Racional	60
3.2.2 Elaboración de gráficas	61

### **CAPITULO # 4: CALCULOS**

4.1 Morfometría de la cuenca hidrográfica	62
4.2 Método racional o CIA	63

### **CAPITULO # 5: RESULTADOS**

5.1 Comportamiento de parámetros físicos en la Laguna de Limoncocha	66
5.2 Balance hídrico de la zona de Limoncocha	73

### **CAPITULO # 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	79
TABLAS	84
GRÁFICAS	135
ANEXOS	173

## **I RESUMEN:**

El presente estudio abarca primeramente la caracterización de Laguna de Limoncocha en relación a algunos parámetros limnológicos relevantes entre los meses de Julio del 2002 y Enero del 2003, fundamentalmente en relación a su comportamiento térmico. Los resultados obtenidos en esta tesis continúan y amplían el monitoreo realizado en el 2001 (Andrade S, 2001). En segundo término, se analizó el balance hídrico de la zona de Limoncocha involucrando a todos los cuerpos hídricos superficiales y subterráneos presentes en la zona, incluyendo el Río Napo.

**I ABSTRACT:**

The present study includes firstly the characterization of Limoncocha Lake in relation to some relevant limnological parameters between July 2002 and January 2003, fundamentally in relation to its thermal behavior.

The results obtained in this thesis continue and extend the monitoring made in 2001 (Andrade S, 2001). In second term, the hydric balance of the zone of Limoncocha was analyzed involving all the superficial and underground hydric bodies in the zone, including the Napo River.

## **II INTRODUCCIÓN:**

La Laguna de Limoncocha constituye un escenario ecológico único catalogado como Reserva Biológica dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. Se encuentra ubicada sobre la margen izquierda del río Napo, con cuya cuenca está asociado todo el sistema lacustre de la zona.

Debido a la naturaleza de este espacio, la realización de estudios científicos que permitan conocer más a fondo el ecosistema y la interrelación de sus componentes, es primordial.

En el Ecuador y en Sudamérica, la información sobre estudios limnológicos tanto de la amazonía como en otras regiones, es escaso, por lo que, el presente trabajo pretende ampliar los conocimientos en este campo.

El presente trabajo se enfoca primeramente en la perspectiva limnológica de la Laguna de Limoncocha especialmente respecto a las condiciones de estratificación térmica en base al análisis de parámetros físicos obtenidos entre los meses Julio del 2002 a Febrero del 2003.

Por otro lado, se analizan las condiciones hídricas básicas de la zona de Limoncocha tomando en cuenta el aporte tanto de aguas superficiales como subterráneos entre la Laguna de Limoncocha y el Río Napo considerados en su balance hídrico.

Para esto se realizó el monitoreo en ocho vertientes de considerable importancia en la zona y de los ríos Napo, Playayacu, Pishira y SEK.



Los objetivos a alcanzar en este trabajo son:

***Objetivos generales:***

- Establecer una caracterización limnológica de la Laguna de Limoncocha para el período de julio a enero.
- Analizar las fuentes de aguas subterráneas como componente del sistema hídrico de la zona y suministro de agua en la comunidad de Limoncocha.

***Objetivos específicos:***

- Establecer criterios sobre variaciones temporales de los parámetros físicos del agua de la laguna de Limoncocha, tanto en superficie como en profundidad, para los meses de julio a enero.
- Establecer la dinámica de la laguna desde el punto de vista de estratificación y mezcla.
- Establecer la variación de niveles limnimétricos tanto del río Napo como de la laguna de Limoncocha a fin de investigar una posible conexión a nivel subsuperficial.
- Realizar el inventario de fuentes de aguas subterráneas en la zona, y evaluar su relación con el sistema hídrico.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1 Perspectiva Limnológica:

#### 1.1.1 Conceptos de Limnología:

El origen de la palabra Limnología se deriva del griego *limné* que significa pantano o lago, del mismo modo Keller <sup>1</sup>, se refiere al estudio de los ríos como potamología (del griego *potamos* = río o corriente). Esta ciencia abarca el estudio tanto de aguas lénticas (lagos) o lólicas (ríos y corrientes).

La Limnología es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera como éstas son afectadas por el ambiente físico, químico y biológico<sup>2</sup>. Según Baldi<sup>3</sup>, 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.

De acuerdo con la descripción de Roldán <sup>4</sup> en su obra Fundamentos de Limnología Neotropical, el Ecuador pertenece al *neotrópico* por su ubicación geográfica. De este modo, se refiere a los organismos de las zonas tropicales como una representación más variada y a una limnología muy diferente a la del trópico asiático y africano especialmente en cuanto a hidrología, fauna y flora.

---

<sup>1</sup> KELLER, R; 1961. Gexasser und wasserhaushalt des Fest.-Landes. Haude U. Spenersche. Verl. Berlin - Alemania

<sup>2</sup> WETZEL, G; 1983. Limnology. Segunda Edición. Saunders College Publishing. New York- Estados Unidos.

<sup>3</sup> BALDI, E; 1949. La Situation Actuelle de la Reserche Limnologique après le Congrés de Zurich- Suiza. Z.

<sup>4</sup> ROLDAN, G; 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia.

La importancia del recurso agua hace que la limnología dedique el estudio a la estructura y función de estos sistemas de agua dulce para alcanzar una máxima gestión del recurso así como eficacia en su utilización. El ser humano causa un impacto ambiental sobre los sistemas acuáticos que muchas veces supera su capacidad de recuperación y equilibrio. Es necesario conocer las propiedades funcionales del agua para poder evaluar con certeza la influencia real que tiene el ser humano sobre las características metabólicas de los ecosistemas que se relacionan con su área adyacente de drenaje y de corrientes de agua que transportan, además de los componentes que se metabolizan por el camino y los componentes terrestres del lago.

Hegel afirmó “Das Wahre ist das Ganze” “La verdad lo es todo” – En los estudios de Limnología la verdad total es muy difícil de alcanzar ya que los factores que influyen en ella y sus interrelaciones son innumerables por lo que cada estudio realizado en este campo constituye un aporte significativo en la caracterización limnológica principalmente en las regiones neotropicales donde la información es escasa.

### **1.1.2 Origen de los lagos:**

La formación de los lagos en zonas templadas se ve influenciada generalmente por la actividad glacial, volcánica y tectónica. De acuerdo con la literatura, en el neotrópico la mayor parte de lagunas o ciénegas han tenido un origen fluvial.

Algunos de los orígenes que se les otorga a los lagos son:

***Lagos de origen tectónico:***

Son depresiones originadas por fallas, fracturas, hundimientos o doblamientos de la corteza terrestre. Las características principales de estas formaciones son su gran profundidad y volumen. Algunos de ellos son: Mar Muerto, Gran Lago Salado de Utah, Lago Titicaca, entre otros.

***Lagos de origen volcánico:***

Como su nombre lo indica, se originan de la actividad volcánica y se distinguen principalmente por su forma circular. Ejemplos: Lago Caldera (Estados Unidos), Cuicocha y Quilotoa en Ecuador.

***Lagos por deslizamiento de terreno:***

No presentan un gran tamaño y su duración es muy corta debido a la baja estabilidad de sus diques y presas. Se originan del represamiento de ríos o inundación de valles por el desprendimiento de rocas o deslizamientos de terreno.

En las zonas tropicales puede ocurrir este fenómeno por acción del régimen intenso de precipitaciones y por la erosión producida en la construcción de vías.

***Lagos de origen glacial:***

Su formación data de hace miles de años a finales del Pleistoceno cuando capas de hielo comenzaron a derretirse arrastrando residuos vegetales y rocas formando depresiones de agua. Se encuentran en zonas templadas y son de gran profundidad. En el Ecuador hay ejemplos interesantes en varias zonas como en el Cajas, Cañar, Imbabura, etc....

***Lagos de origen fluvial:***

Las corrientes de los ríos al depositar sedimentos pueden provocar la erosión de áreas vecinas formando cuencas y con ellas, lagunas.

***Ciénegas de origen fluvial:***

Corresponden a cuerpos fluviales poco profundos conectados a ríos por canales meandriformes. Éstas se pueden formar por la erosión continua del río al originarse brazos que luego se convierten en ciénegas conectadas por uno o más caños.<sup>5</sup>

Su área aproximada es de 0,01 a 120 km<sup>2</sup> y según Arias<sup>6</sup>, éstas se clasifican en cuatro tipos (Fig.1):

- 1) Ciénega simple y primaria conectada a un río directamente.
- 2) Conjunto o racimo de ciénegas con una ciénega primaria conectadas directamente al río y secundarias conectadas a ella directa o indirectamente.
- 3) Ciénega simple conectada al río de modo directo.
- 4) Ciénega aislada sin conexión con el río.

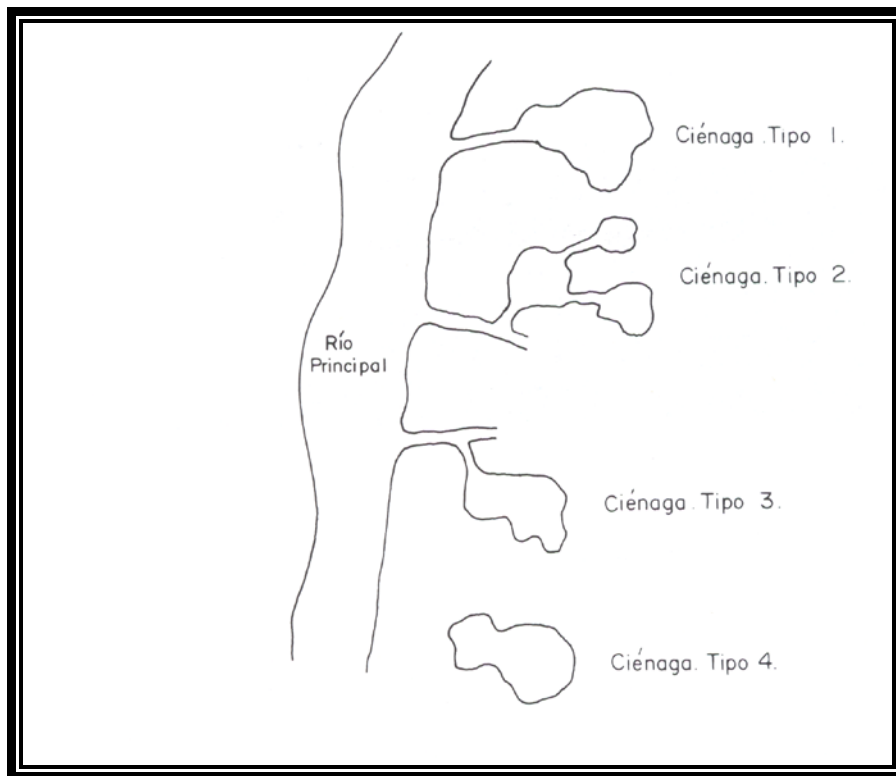
En las ciénegas se presentan tres áreas ecológicas definidas que son: la zona de aguas abiertas y de profundidad variable, zona de bahías y zona marginal de vegetación.

---

<sup>5</sup> ROLDAN, G; 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia.

<sup>6</sup> ARIAS, P; 1975. Las ciénegas en Colombia. Divulgación Pesquera. Bogotá – Colombia.

Fig.1 Tipos de ciénegas de origen fluvial:



Algunas características principales de las ciénegas son:

- Su temperatura fluctúa entre 24 y 32 ° C catalogándose como “lagos polimícticos calientes” y por su poca profundidad, no presentan una estratificación térmica fuerte, al contrario, las aguas se calientan durante el día, enfriándose por la noche por acción de vientos, corrientes de convección o por las lluvias<sup>7</sup>.
- Constituyen una zona de amortiguamiento durante procesos de inundación e influyen en el ciclo hidrológico de la zona.

<sup>7</sup> DUCHARME, A; 1975. Estudio fisicoquímico y biológico del Lago de La Tota. Bogotá-Colombia.

- Favorecen a la reoxigenación del agua.
- Forman un hábitat para aves migratorias, y contribuyen a la producción de fauna y flora en el ecosistema.
- Representan un filtro de sustancias tóxicas muy importante<sup>8</sup>.

Otros orígenes de los lagos corresponden a aquellos formados por disolución del sustrato, por acumulación de materia orgánica, por actividad animal, represas, de origen meteorítico, por acción del viento o por actividad de la línea costera. Así también se presentan los de origen meándrico y de inundación.

### **1.1.3 Regiones de los lagos:**

Regiones bentónicas y bentos: Se ubican en el fondo de los lagos y es denominada así por los organismos que habitan en esta región.

**1.a Zona Litoral:** Se ubica en los bajíos de los lagos constituida por sedimentos gruesos. Están bien iluminados y habitados por plantas acuáticas enraizadas que proveen soporte a organismos acuáticos.

**2.a Zona Sublitoral:** Se extiende por debajo del litoral y está compuesta por sedimentos más finos y hay poca presencia de macroflora bentónica. Sin embargo, esta zona se encuentra bien oxigenada generalmente.

**3.a Zona Profunda:** En esta región la temperatura es relativamente uniforme, no así la presencia de oxígeno que escasea o desaparece

---

<sup>8</sup> ARIAS, P; 1975. Las ciénegas en Colombia. Divulgación Pesquera. Bogotá – Colombia.

dependiendo de varios factores como intensidad de luz, época del año, etc... El gas metano y CO<sub>2</sub> son abundantes produciéndose el ácido carbónico que provoca una elevada concentración de iones hidrógeno, es por esto que este estrato es caracterizado mayormente por la degradación de materia orgánica y no por la producción. Esta zona corresponde al hipolimnio que es la capa de agua inferior.

**4.a Aguas abiertas:** Esta zona se denomina limnética o pelágica y recibe menor influencia del fondo y de las costas siendo el hábitat de plancton, plantas y animales que flotan o son arrastrados por las corrientes. La fotosíntesis se realiza en las capas superiores que reciben influencia directa del viento y de la iluminación de los rayos solares. En esta región se encuentran las algas fototróficas (productores primarios) que realizan la fotosíntesis en las horas del día y fijan el carbono inorgánico para crear compuestos orgánicos. La síntesis de estos compuestos se realiza en la zona trofógena siendo parte de ella las macrófitas litorales y las algas bentónicas que se ubican lejos de la costa que influyen en la producción primaria del lago.

La zona trofógena limnética puede extenderse desde la superficie hasta la profundidad en donde ya la fotosíntesis no se realiza, ya que dependiendo de las condiciones del sistema lacustre la luz puede penetrar hasta ciertas profundidades.

La condición ideal del epilimnio asoleado es que el viento produzca una condición de mezcla así como la distribución uniforme de organismos productores en la zona.

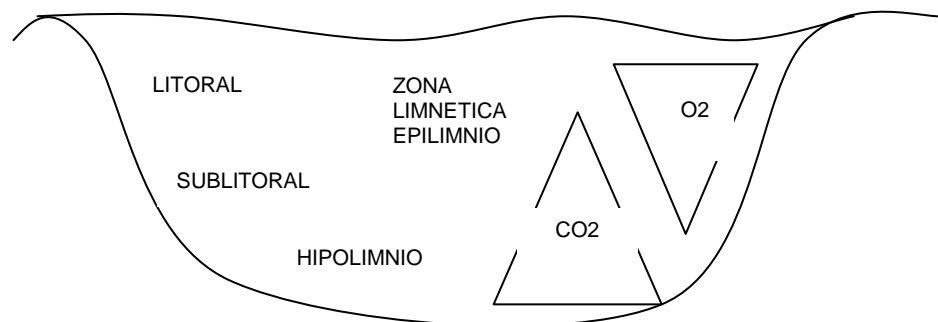
Debajo de esta zona trofógena se encuentra una capa trofólítica que recibe menor radiación solar y predomina la respiración y la descomposición y por consecuencia, los compuestos orgánicos



tienden a degradarse en lugar de sintetizarse. El límite entre la capa trofógena y trofólítica depende del grado de incidencia de la luz.

La morfología de los lagos es un factor fundamental en el comportamiento de las zonas antes mencionadas. Así, un cuenco somero con un hipolimnio pequeño puede consumir una gran cantidad de oxígeno sobre los sedimentos y la producción en su epilimnio será muy baja, al contrario en un cuenco voluminoso se podría contar con un hipolimnio con oxígeno suficiente para su producción primaria. (Ver Fig.2)

Fig.2 Zonas del lago



FUENTE: Roldán, G; Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín-Colombia

### 1.1.5 Tipos de lagos:

#### a) *Oligotróficos:*

La condición de estos lagos se caracteriza por la escasa presencia de nutrientes, con una penetración de la luz considerable y un crecimiento muy pequeño de plancton acuático. Las aguas son bien oxigenadas y se encuentran especies características como las truchas.

**b) Mesotróficos:**

Estos sistemas lacustres presentan características intermedias entre los estados de oligotrofia y eutrofia.

**c) Eutróficos:**

Son aquellos que se caracterizan por la gran cantidad de sustancias nutrientes y biogénicas que contienen presencia en abundancia de fitoplancton en verano.

Los cuerpos de agua que alcanzan la el estado de eutrofización presentan una gran cantidad de algas, turbidez en el agua, alta concentración de detritos, baja cantidad de oxígeno disuelto. Se presentan también putrefacciones anaeróbicas y consecuentemente malos olores. La calidad del agua no es apta para el consumo humano o para actividades deportivas.

El fondo del lago se rellena paulatinamente de sedimentos y su profundidad disminuye.

**1.2.5 Importancia de los sistemas dulceacuícolas**

El agua constituye una sustancia esencial para el desarrollo de la vida ya que es la sustancia más abundante en el protoplasma de los seres vivos. En todos los continentes existen masas de agua dulce más o menos extensas que forman lagos, lagunas, ríos, riachuelos y quebradas. Se ha observado que aquellas regiones donde existieron glaciares, son más ricas en cuerpos de agua dulce. El mayor lago de agua dulce del mundo es el Lago Superior con una extensión de 83,000 kilómetros cuadrados.

Las aguas dulces constituyen un hábitat donde viven y se desarrollan gran variedad de seres vivos, los cuales dependen del agua para su subsistencia.

En cuanto a las masas de aguas continentales podemos distinguir dos tipos:

1. ***Aguas lénticas o estancadas:*** comprenden todas las aguas interiores que no presentan corriente continua. A este grupo pertenecen los lagos, lagunas, charcas y pantanos. En estos sistemas, según su tamaño, pueden haber movimientos de agua: olas y mareas.
2. ***Aguas lólicas o corrientes:*** incluyen todas las masas de agua que se mueven continuamente en una misma dirección. Existe por consiguiente un movimiento definido y de avance irreversible. Este sistema comprende: los manantiales, quebradas, riachuelos y ríos.

#### **1.2.6 Parámetros físicos del agua:**

##### **a) pH:**

Se refiere a la medida de concentración de ion de hidrógeno en una solución acuosa que comprende una escala de valores que van del 1.0 (altamente ácida) a 14 (altamente alcalina), con 7.0 como punto neutral.

Los iones de hidrógeno están relacionados a la presencia de elementos como el fósforo, nitrógeno, calcio y magnesio. El nitrógeno orgánico y el fósforo disueltos son los factores limitantes del crecimiento vegetal por lo que al realizar medidas de nivel de pH tanto en el agua como en

el suelo se puede determinar además sus niveles de nutrientes orgánicos.

En el agua dulce, los niveles de pH son generalmente 6-9 para mantener la vida vegetativa sin embargo, si los niveles de pH disminuyen los nutrientes en el agua también y con ellos el fitoplancton. Así, si los niveles de nitrógeno bajan, aquellas bacterias que descomponen la basura fijando el nitrógeno no podrán realizar esta actividad y la desintegración se produce lentamente.

Por el contrario, si el pH es demasiado alto, habrá una sobrecarga de nutrientes, con un exceso de algas y otras especies vegetativas produciéndose una disminución en la distribución de oxígeno principalmente hacia las zonas más profundas. Del mismo modo la turbidez crecen y la zona eufótica disminuye por lo que la calidad del agua se ve directamente afectada.

La concentración de iones de hidrogeno en el agua también depende de las épocas del año, asimismo durante el verano, cuando la absorción de nutrientes por las plantas es más alto, su presencia es generalmente menor y en el invierno, cuando la mayoría de las plantas están latentes, los niveles de  $H^+$  son más elevados.

El agua es muy sensible a las fluctuaciones drásticas de pH. La actividad fotosintética de las algas causa que durante el día disminuya la cantidad de  $CO_2$  disuelto en el agua lo que ocasiona que suba el pH de la laguna y se produzca además aumento del OD en el agua de la superficie. En la noche, cuando cesa la fotosíntesis los animales y bacterias utilizan  $O_2$  y producen  $CO_2$  que al disolverse en el agua forma ácido carbónico que causa la baja de pH <sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> COLE, G ;1988. Manual de Limnología. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires Argentina

**b) Conductividad y Salinidad:**

La salinidad es una medida de la cantidad total de sólidos inorgánicos presentes en el agua, presentándose valores de alrededor de 0.05 partes por mil (ppt) en el agua dulce.

La conductividad se define como la propiedad por la cual se produce la electricidad, de este modo, los sólidos inorgánicos presentes en el agua constituyen la salinidad y presentan una conductancia eléctrica específica que puede medirse.<sup>10</sup>

La profundidad y el influjo de agua dulce afectan la conductividad y la salinidad. En las áreas más profundas, el agua no es tan sensible a los efectos de la evaporación, por lo tanto los niveles de salinidad permanecen uniformes. Sin embargo, en el agua poco profunda (en la cual no se encuentran los beneficios del influjo de agua dulce) la salinidad aumenta a medida que ocurra la evaporación

En las aguas dulces las sales minerales más abundantes son los carbonatos, los sulfatos y los cloruros. Los cationes de mayor importancia son el calcio (64%), el magnesio (17%), el sodio (16%) y el potasio (3%).

La concentración de sales minerales en las aguas dulces es importante para la osmorregulación (control de los procesos osmóticos) en plantas y animales, y presentan mecanismos de regulación de la presión osmótica, lo cual les permite subsistir en medio de diferente concentración a la del medio interno.

---

<sup>10</sup> CORBITT, R; 1992. Standard Handbook of Environmental Engineering. Editorial Mc Graw Hill. Nueva York – Estados Unidos

### **c) Oxígeno Disuelto:**

El oxígeno, producto de la fotosíntesis y el dióxido de carbono de la respiración son esenciales en el metabolismo de los ecosistemas de un lago. Así, cuando se presenta un exceso en la fotosíntesis se sobresaatura de oxígeno el sistema acuático provocando un agotamiento del dióxido de carbono y un aumento del pH en el agua. Del mismo modo, un agotamiento de O<sub>2</sub> en la noche e incremento del dióxido de carbono provocan una disminución en el pH por el exceso en la respiración.

El oxígeno y el anhídrido carbónico disueltos en el agua son los dos gases de mayor importancia. Tanto la concentración de oxígeno como la del anhídrido carbónico constituyen con frecuencia factores limitantes.<sup>11</sup>

El oxígeno disuelto en el agua proviene de la fotosíntesis que realizan los vegetales con clorofila. Como esta actividad fotosintética es mayor en las capas superiores bien iluminadas, su concentración será mayor a este nivel. En los niveles próximos al fondo, su concentración es mínima debido a los procesos de oxidación de la materia orgánica.

El anhídrido carbónico es un gas que se combina con el agua para formar ácido carbónico. Proviene de la atmósfera y de la actividad respiratoria de los organismos. Cuando la concentración es alta, puede constituir un factor limitante para los animales, ya que en estos casos suele ir asociado a concentraciones bajas de oxígeno. Este gas tiene además, relación con el pH del medio acuático e interviene en la formación de los esqueletos, carapachos y conchas de los invertebrados.

---

<sup>11</sup> ROLDAN, G; 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia.

Los niveles de oxígeno disuelto en el agua comúnmente oscilan entre 7 y 9 mg/l siendo su punto de saturación aproximado cuando alcanza los 10 mg/l y en agua dulce hasta 14 mg /l cuando la temperatura es de 0° C. La difusión del oxígeno en el agua se da gracias a los procesos de mezcla entre capas superficiales y profundas por acción del viento y cambios de densidad y temperatura.

Sin embargo, la concentración de oxígeno disuelto puede caer a menos de 1 mg/l durante la madrugada y algunas veces, después de un día claro y soleado. La completa reducción de oxígeno puede ocurrir también durante la noche debido al crecimiento de las algas y a la respiración de animales acuáticos así también, los vientos contribuyen a airear el agua normalmente. Por esta razón, justo antes del amanecer, cuando los niveles de OD están en su punto más bajo, es cuando mueren la mayoría de los peces.

El nivel de OD es muy significativo para la vida acuática como lo es el nivel de sólidos en suspensión que incrementan la turbidez y con el tiempo la sedimentación de materiales en los fondos aumentando los niveles de nutrientes, metales y sustancias tóxicas en los sedimentos. Las altas temperaturas disminuyen la densidad y pueden así mismo ocasionar niveles mas bajos de oxígeno disuelto saturado.

Si hay algas de fitoplancton presentes en una masa de agua (típicamente lagos aunque algunas veces ríos y aguas tranquilas o estuarios) aquellas producen O<sub>2</sub> (fotosíntesis) durante las horas del día y consumen oxígeno (respiración) continuamente.

El crecimiento del fitoplancton depende del aporte de nutrientes y para bajo suministro de nutrientes la producción de O<sub>2</sub> por la fotosíntesis puede equilibrarse con el consumo de O<sub>2</sub> debido a la respiración. Sin embargo, altos niveles de nutrientes originan un crecimiento excesivo

del fitoplancton y un consumo neto de oxígeno<sup>12</sup>. Los lagos y embalses se caracterizan por sus tiempos de residencia altos que suelen estar entre los tres meses y decenas de años. En este último caso los aportes de vertidos tienen un efecto insignificativo en la calidad del agua.

#### **d) Temperatura:**

Este parámetro tiene incidencia directa e indirecta en los demás parámetros físicos del agua. Al ser una medida de calor, influye en reacciones químicas que determinan su calidad. Está considerada como uno de los factores de mayor incidencia en los lagos ya que determina la densidad, viscosidad y movimiento del agua. El aumento de temperatura reduce el valor de saturación de oxígeno disuelto e incrementa la velocidad de degradación de materia orgánica

La profundidad del agua tiene influencia directa sobre las temperaturas del agua, así, en aguas poco profundas, la temperatura del aire tiene un efecto considerable sobre la temperatura del agua influyendo considerablemente a los organismos que habitan allí ya que juega un papel importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los mismos. Esto se debe principalmente a factores como el calor específico, conductividad térmica, calor latente de evaporación, entre otros.

Todo cuerpo de agua tiene una capacidad asimilativa específica que reduce la contaminación a través del tiempo y está relacionada con la habilidad que presenta para mantener una concentración de oxígeno disuelto afectada por factores como la temperatura.

---

<sup>12</sup> KILEY G; 1999. Ingeniería Ambiental. Editorial Mc Graw Hill. Madrid-España.



En cuanto a aguas subterráneas la temperatura de las aguas subterráneas permanecen comúnmente constantes a lo largo del año. El agua de fuentes muy profundas (menos de 50 pies de profundidad) varía de una estación para otra y aguas aún más profundas permanecen relativamente constantes

### **Estratificación térmica:**

El fenómeno de estratificación en los lagos ocurre debido al grado de penetración de la radiación solar en las regiones del mismo. El gradiente térmico o diferencia de temperatura con respecto a la profundidad de la laguna influye en la densidad de las capas de agua que la conforman y su circulación vertical a lo largo del año.<sup>13</sup>

La estratificación térmica durante día, se pierde en la noche, pero si no hay lluvias o vientos 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 relativamente constante durante todo el año considerando el área en relación a su altura sobre el nivel del mar. Según Holdrige<sup>14</sup>, la zona de estudio estaría asentada en el Piso Cálido Tropical por su temperatura ambiente aproximada a los 24 ° C y su nivel sobre el mar no superior a 1000 m.

En las regiones tropicales, los períodos 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 polimícticas y de poca estabilidad.

---

<sup>13</sup> COLE, G; 1988. Manual de Limnología. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires Argentina

<sup>14</sup> HOLDRIGE; 1978. Ecología basada en las zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José – Costa Rica.

En cuanto a las ciénegas en el Piso Cálido Tropical, localizadas entre 0 y 1000 msnm presentan una variación de su temperatura ambiente durante el día que supera a las variaciones en el agua por lo que se producen estratificaciones y desestratificaciones continuamente. Éstas últimas se originan por una pérdida de calor la atmósfera en la noche y por la poca diferencia de temperaturas entre las capas de agua.

La pérdida de calor por conducción relaciona directamente a las velocidades del viento con el gradiente térmico siendo éste menor en el día cuando los vientos son altos. Del mismo modo, gradientes más altos de vapor de presión ocurren avanzada la mañana y en la tarde cuando las velocidades del viento son mayores y la pérdida por evaporación es menor.<sup>15</sup>

En los lagos tropicales la mezcla vertical de los cuerpos de agua ocurre diariamente, de acuerdo con la estación del año y en una circulación periódica así como en la meromixis. Este fenómeno es influenciado por factores muy importantes, entre ellos la insolación, viento, humedad y turbidez. Por otro lado, en estos lagos la estratificación y mezcla ocurren comúnmente varias veces al mes, se dice que los lagos en las planicies húmedas de la cuenca del Amazonas y crecen y decrecen en nivel en concierto con las crecidas de los ríos. Coincidentemente con los cambios en la profundidad se da la frecuencia de la mezcla vertical.

De acuerdo con la literatura, el fenómeno de estratificación térmica, circulación de nutrientes, productividad y estado trófico del sistema lacustre son influenciados por la profundidad, tamaño y período de retención del agua.

---

<sup>15</sup> DICKEY, T, et.al; 1983. The influence of optical water type on the diurnal response of the upper ocean. University of California, Santa Barbara, California. Estados Unidos

En el caso de ciénegas o lagos pequeños de origen fluvial, se presentan bajas profundidades (2 a 5 m) y su nivel limnimétrico está influenciado por las épocas de sequía o lluvia, así también, su forma tiende a ser dendrítica o ramificada. Las ciénegas se caracterizan también por su estado mesotrófico o eutrófico y por su carácter polimíctico.<sup>16</sup>

### **Clasificación de los lagos por su estratificación térmica:**

Varios autores clasifican a los lagos en función de sus características de estratificación y mezcla, que son las decisivas desde el punto de vista biológico ya que la producción de los mismos depende de la mezcla periódica de sus aguas. De acuerdo con la clasificación realizada por Hutchinson<sup>17</sup>. Los tipos fundamentales son los siguientes:

#### ***Lagos amícticos:***

Son aquellos lagos cubiertos por capas de hielo la mayor parte del tiempo cuyas aguas no tienen circulación.

#### ***Lagos fríos monomícticos:***

La temperatura del agua profunda y superficial no sobrepasa nunca los 4º C. Cuando las aguas superficiales alcanzan en verano 4º C, puede producirse una circulación vertical que origina la mezcla de las aguas. Estos lagos se encuentran en las regiones polares.

#### ***Lagos templados dimícticos:***

En los lagos de las zonas templadas suficientemente profundos, se producen ciclos estacionales que alteran la estratificación de las aguas.

---

<sup>16</sup> ROLDAN, G; 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia.

<sup>17</sup> HUTCHINSON, G ; 1957. A treatise on Limnology. 1. Geography, Physics and Chemistry. Nueva York – Estados Unidos .

Durante el verano, las aguas de las capas superiores se calientan más que las del fondo; este hecho da origen a que se produzca la circulación de las aguas superficiales, las cuales no se mezclan con las del fondo.

La diferencia de temperatura entre las aguas superiores y las profundas da origen a una zona intermedia denominada termoclina que separa dos capas de agua bien diferenciadas: la que está por encima de la termoclina se denomina epilimnio, con aguas calientes y circulantes; la capa profunda por debajo de la termoclina recibe el nombre de hipolimnio y comprende las aguas frías, no circulantes.

***Lagos templados y subtropicales monomícticos.***

En estos lagos, la temperatura del agua superficial nunca baja a 4° C y en invierno no se hielan. La mezcla vertical de las aguas sólo se puede producir durante la estación fría.

***Lagos tropicales oligomícticos:***

La temperatura del agua superficial oscila entre 20° - 30° C, manteniéndose casi constante durante todo el año.

El gradiente térmico es débil, y se producen por consiguiente cambios poco notorios. La circulación vertical es irregular y rara vez es total.

La estratificación térmica en cuerpos de agua puede ser determinada de acuerdo a monitoreos diarios, mensuales y anuales. Existen además, indicadores biológicos de este fenómeno como por ejemplo *Melosira* que indica comúnmente si la laguna está en un estado de estratificación o de mezcla de acuerdo a la relación de sedimentos en el fondo.

### **Densidad del agua:**

Se refiere a la relación de la masa de agua por unidad de volumen. Cuando el agua se enfría alcanza su máxima densidad (3,94 °C). Si el agua en estado sólido fuese más densa se iría al fondo de los lagos y ríos.

El agua al solidificarse aumenta de volumen, por tanto el hielo flota sobre las aguas. Esta propiedad evita que los lagos se solidifiquen totalmente, cuando las aguas se congelan en la superficie.

Según Rutner<sup>18</sup> : “la polimixis que se presenta en los lagos tropicales se debe a que variaciones muy pequeñas en la densidad del agua provocan fácilmente corrientes de convección que afectan rápidamente toda la masa de agua, fenómeno que puede incrementarse en épocas de fuertes vientos.”

### **Viscosidad:**

Este parámetro está en función de la temperatura y de la concentración de sales disueltas. El porcentaje promedio de viscosidad a una temperatura de 20 – 30 ° C es de  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ ). Este parámetro influye directamente en la presencia de organismos acuáticos como el plancton que puede hundirse más fácilmente en aguas cálidas necesitando así adaptaciones morfológicas o fisiológicas que les permitan permanecer en la superficie.<sup>19</sup>

### **Patrón de circulación del agua:**

El patrón de circulación del agua es importante porque puede explicar algunos de los parámetros como por ejemplo la turbidez creada por la

---

<sup>18</sup> RUTNER, F.;1975. Fundamentals of Limnology, 3º ed. University of Toronto Press. Toronto and Buffalo.

<sup>19</sup> SCHWOERBEL, J; 1971. El Einführung in die limnologie. Berlin Alemania.

remoción del contenido del fondo, el aumento de oxígeno disuelto por efecto de las mezclas, entre otros. La circulación baja ocurre cuando los niveles de agua están bajos respecto de los niveles normales. Al contrario, la circulación alta se produce por los altos niveles de precipitación que incrementan los niveles de los lagos, así como la influencia del viento y otros factores. Las aguas altas a menudo se mueven rápidamente y pueden portar escombros.

El aspecto de la superficie del agua puede dar pistas para otros parámetros. Las olas crean mezclas en un medio acuático y son generalmente causadas por el viento.

### **Termoclina:**

Este término se refiere a una capa de agua en la cual se puede medir un cambio rápido de la temperatura en la dimensión vertical. En ella se produce un salto brusco de temperatura que separa una capa superior de agua más cálida (epilimnion) de una capa inferior o hipolimnion, permanentemente más fría.

Ésta puede ubicarse a una cierta profundidad dependiendo de las condiciones en que se encuentre el cuerpo de agua.

El progresivo calentamiento de las capas superficiales del lago conduce a una estratificación de las aguas durante el verano con el que no se mezclan ambas capas, por lo que el oxígeno puede disminuir en el hipolimnion aunque raramente llega a agotarse.

Las diferencias de densidad en el agua regulan la dinámica física y química de los lagos y por consecuencia el metabolismo resultante. La densidad del agua aumenta hasta máximo 1,000 a 3,94 °C luego de lo cual se produce una expansión molecular y por lo tanto disminución de la densidad con una tasa creciente. La variación de temperatura en 1°C hace que se requiera ya un trabajo físico para mezclar fluidos de distinta densidad (esto influye en épocas de estratificación o mezcla).

Así, la cantidad de trabajo que se necesita para mezclar masas estratificadas de agua a temperaturas de 29° y 30° es cuarenta veces mayor que la requerida para mezclar las mismas masas de agua a temperaturas de 4° y 5° C. <sup>20</sup>

#### **e) Turbidez:**

La presencia de material suspendido como lodos, arena, material orgánico particulado, plankton y otra clase de materia inorgánica en el agua es conocida como turbidez y define el grado de opacidad producido por materia suspendida en el agua. Influye directamente en la transmisión de la luz entre las capas de agua que forman la laguna ya que incide en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema, alterando el proceso de fotosíntesis.

Si el agua es muy superficial, esa área puede enturbiarse muy fácilmente con los substratos que flotan en la columna. Un movimiento excesivo de agua causado por las olas y el viento hace que el agua se agite y levante sedimentos en la columna de agua.

El crecimiento de especies vegetales como la floración de algas incrementa los niveles de turbidez y utilizan recursos como oxígeno, nitrógeno, y materia orgánicas. A medida que el agua se hace cada vez más turbia, el sol no llega a la vida vegetal acuática, y esto causa su muerte. La materia particulada también queda atrapada en las agallas de los peces y los mariscos. Si la materia particulada es demasiado densa, o algunas floraciones algales son tóxicas, los peces no pueden respirar.

La calidad del agua en las corrientes tiende a ser buena con oxigenación en la superficie y poca turbidez. En sistemas lénticos este

---

<sup>20</sup>[http://www.cyberwayswaterways.com/sp/fieldGuide/430\\_FG\\_WaterQual.html#temperature](http://www.cyberwayswaterways.com/sp/fieldGuide/430_FG_WaterQual.html#temperature)

parámetro depende de los patrones de circulación, la carga de entrada de nutrientes, productividad, entre otros. En épocas de lluvia la turbidez y conductividad se incrementan.

### **Penetración de la luz solar y su relación con la profundidad Secchi:**

Este factor influye en el calentamiento de las regiones del lago y su efecto biótico recae en la actividad fotosintética.

Los factores más importantes en la estabilidad relacionada con la productividad de un sistema léntico son: la capacidad de penetración de la luz con respecto a la profundidad, morfología del lago y la posición geográfica latitudinal donde éste se encuentre.

El color del agua puede deberse a varias cosas diferentes como la turbidez, nivel de polución o presencia de nutrientes. Para verificar la profundidad de penetración de la luz se observa el agua sobre el área blanca del disco Secchi.

Parte de la luz que penetra en el agua es absorbida selectivamente, es decir, determinadas longitudes de onda penetran más profundamente que otras. Una parte de la luz es desviada o sufre fenómenos de reflexión. Por tanto, las condiciones ópticas de las aguas son de importancia primordial para la productividad biológica y para el mantenimiento de la vida.

Una de las propiedades ópticas del agua que influye en la penetración de la luz es la transparencia. Si existen muchos materiales en suspensión, la penetración de la luz será menor; esto puede constituir un factor limitante para el desarrollo de los organismos vivos. Si la turbidez del agua proviene de la concentración de los seres vivos, la productividad es mayor. Las diferencias de transparencia en las aguas



dulces varían mucho, siendo mayor en los riachuelos de montañas y menor en las aguas de un río que recoja las aguas de zonas desprovistas de vegetación.

Existen otros factores que determinan la penetración de la luz además de la transparencia de las aguas. Estos factores son: la intensidad luminosa, el porcentaje de nubosidad, el ángulo de incidencia de la luz en la superficie del agua y el grado de agitación del agua.

La transparencia del disco Secchi depende de factores como la vista del observador, del contraste entre el disco y el agua que le rodea, reflectancia del disco y su diámetro.<sup>21</sup>

### **Zona eufótica:**

Es aquella distancia a la cual se distingue el 99% de la luz incidente representando la intensidad mínima de luz que permite la fotosíntesis. Por debajo de esta zona la productividad primaria es prácticamente nula. El *disco Secchi* permite determinar la profundidad de esta zona.

El disco consiste en un plato metálico de 20 a 25 cm. de diámetro comúnmente de color blanco para facilitar su visibilidad. Para poder ser sumergido, cuenta con una cuerda graduada. Para el uso se introduce en el agua y se deja caer hasta que el observador lo pierda de vista y luego se sube hasta que reaparezca, esta distancia debe ser medida y es lo que se conoce como la transparencia Secchi. Las horas recomendadas para realizar esta observación está entre las 10:00 am y 14:00 pm.

Multiplicando la transparencia por un valor de 2,7 (constante de Pool y Atkins) se obtiene la profundidad de la zona fótica.

---

<sup>21</sup> ROLDAN, G; 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia.

Según Himat <sup>22</sup>, los picos de productividad no están gobernados por los cambios en la estratificación térmica del agua sino por las épocas de lluvia y sequía y el aporte y dilución de nutrientes junto a la transparencia.

### **1.3 HIDROLOGÍA:**

#### **1.2.1 Nivel Limnimétrico:**

Corresponden a la altura alcanzada por el nivel del agua en relación a un nivel de referencia arbitrario. Comúnmente, el nivel se fija ligeramente inferior al punto del caudal nulo de la corriente.

Las escalas pintadas generalmente se encuentran graduadas en centímetros, pero cuando las corrientes acarrearán sedimentos finos o residuos industriales, éstos están en alto relieve.

Los niveles limnimétricos en un estudio de Limnología son utilizados para relacionar los valores obtenidos con las épocas de lluvia o de sequía de los cuerpos de agua y establecer las condiciones en que puede encontrarse de acuerdo con los demás parámetros físicos.

Del mismo modo, puede utilizarse para relacionar los niveles de ríos y lagos con el fin de determinar posibles interconexiones.

Los instrumentos regularmente utilizados para medir el nivel limnimétrico tanto en sistemas lóticos como lénticos son los limnímetros registradores que pueden ser manuales, tipo flotador, vertical sencillo, por secciones, inclinado, entre otros.

---

<sup>22</sup> HIMAT; 1984. Inventario Nacional de Cuerpos de Agua. Div. Distritos de Riego. Ministerio de Agricultura. Bogotá-Colombia.

### 1.2.2 Aguas subterráneas:

En cuanto a cantidad, las fuentes de aguas subterráneas superan a las superficiales naturales y artificiales. Estas reservas constituyen el sustento continuo de riachuelos y lagos dándose una interdependencia que se hace aún más evidente luego de precipitaciones intensas. El abastecimiento de aguas subterráneas se distribuye en determinadas cantidades principalmente por la precipitación, evapotranspiración, y estructura geológica. Existen dos componentes principales para el origen de esta agua, el primero es el ciclo hidrológico y el segundo lo constituyen las partículas de agua retenidas en los intersticios subterráneos que no han formado parte del ciclo.<sup>23</sup>

En un depósito de aguas subterráneas no desarrolladas, el movimiento del agua a depósitos inferiores se realiza desde y hacia fuentes superficiales de agua y la transpiración dependerá del almacenamiento interno del agua y la tasa de recarga que en épocas de excesiva lluvia puede exceder a la de descarga incrementando así la cantidad de agua subterránea en la fuente.

Mientras la presión artesisana se incrementa los gradientes de los puntos de descarga volviéndose más escarpados y aumentan los desbordamientos

La reserva de aguas subterráneas sustenta el afloramiento de vertientes y lagos a largo plazo que desde luego se ve influenciado por las caídas de lluvia dependiendo de la época del año. Sin embargo, la relación entre las aguas subterráneas y aguas superficiales mantienen una interdependencia mutua.

---

<sup>23</sup> CORBITT, R; 1992. Standard Handbook of Environmental Engineering, Editorial Mc Graw Hill, 1992, Nueva York – Estados Unidos

El agua subterránea es intercambiada activamente y puede ser usada por las plantas, salir al exterior en forma de manantiales o infiltrarse en los ríos.

Las aguas subterráneas se mueven más lentamente y con poca turbulencia en comparación con agua que fluye en ríos y arroyos siendo menor la dilución de contaminantes.

El balance hídrico en una laguna puede evaluarse mediante el cambio de volumen de agua almacenada en un área determinada por unidad de tiempo. Es decir, se considera la cantidad que entra de todos los orígenes posibles menos la cantidad de agua que se pierde. El origen del agua de los lagos es muy diverso, puede darse por precipitación directa sobre la superficie del lago, agua procedente de corrientes superficiales de la cuenca de drenaje, infiltración del agua subterránea en la cubeta del lago, aporte de agua subterránea al lago en forma de sugerencias discontinuas.

Las entradas de agua subterránea están estrechamente relacionadas con las cantidades de precipitación y evapotranspiración que se registran mensualmente.

En los lagos de drenaje el agua se pierde por una corriente y en los lagos de exudación por la filtración a través de las paredes de la cubeta.<sup>24</sup>

La distribución de las aguas subterráneas está generalmente categorizada en zonas de aeración y saturación. En la zona de saturación todos los vacíos son llenados con agua bajo presión hidrostática lo que corresponde a lo que se conoce como aguas subterráneas, mientras que la zona de aeración está conformada por

---

<sup>24</sup> ROLDAN, G; 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

una parte agua y otra aire conformando así las siguientes subzonas: Zona suelo-agua, zona intermedia y zona capilar.

Aquellas zonas confinadas por un material impermeable en las zonas de saturación bajo una presión mayor que la atmosférica, están bajo la presión artesisiana constituyéndose así acuíferos que permiten el paso del agua.

Tanto la topografía del terreno como la irregularidad de los depósitos subterráneos influyen en la intersección de la tabla de agua en lagos, océanos y ríos. El gradiente de presión artesisiana permite el flujo de agua a través de los acuíferos.

Los cambios estacionales influyen directamente en el reservorio subterráneo y variaciones sustanciales en la elevación y declive del nivel de agua y por consiguiente de presión artesisiana <sup>25</sup>.

### **Tipos de aguas subterráneas:**

***Aguas relícticas:*** A grandes profundidades se encuentran frecuentemente aguas fuertemente mineralizadas que se localizan bajo capas impermeables sin tener contacto con la tierra. Estas se pueden dividir a su vez en aguas sedimentarias ( aguas de antiguos sedimentos marinos) y paleo-aguas de infiltración.

***Aguas sedimentarias:*** Se consideran a las aguas de antiguos sedimentos marinos y lacustres, su composición química se diferencia de la composición química de las marinas y esto se debe al largo intervalo de tiempo durante el cual el agua encerrada en determinado medio rocoso queda bajo su influencia y sufre el proceso de transformaciones hidrogeoquímicas.

---

<sup>25</sup> PIMIENTA, 1980 ; La Captación de Aguas Subterráneas, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona España.

***Paleo aguas de infiltración:*** Constituyen aguas de procedencia de infiltración, las cuales debido a un proceso geológico, movimiento tectónico, quedaron separados del sistema de circulación y se encuentran a grandes profundidades bajo la superficie en estado de aislamiento y estancamiento. En estas condiciones igualmente este tipo de agua sufre una gran mineralización.

La edad de las aguas sedimentarias corresponde a la edad de los sedimentos en los cuales se encuentran. A estas se las denomina aguas relícticas epigenéticas.

***Aguas juveniles:*** Son aguas de la corteza terrestre que proceden del magma en estado de enfriamiento. Una parte de esta agua sale a la superficie terrestre, apareciendo aquí, por vez primera en su trayectoria geológica uniéndose de esta manera a la circulación general. Las aguas juveniles que llegan con las soluciones hidrotermales a la superficie terrestre aparecen en fuentes calientes y en geisers. No todas las fuentes calientes dan aguas de origen juvenil. Frecuentemente el agua de las precipitaciones infiltra muy profundo en el interior de la tierra, allí se calienta y se mineraliza gracias a la disolución de los minerales, después de lo cual nuevamente sube a la superficie y sale en las fuentes de agua.

***Aguas condensadas:*** Son aguas que se encuentran en estado de vapor y tienen una estrecha relación entre el aire y la temperatura.<sup>26</sup>

La importancia del agua subterránea radica en las ventajas para el uso doméstico, pues raramente se encuentra contaminada. En algunas áreas la población hace uso del agua subterránea como en el camino

---

<sup>26</sup> CHAMORRO, C; 2002. Aguas Subterráneas y su clasificación. Universidad Internacional SEK. Quito- Ecuador.

Lago Agrio-Coca en Ecuador, donde existen numerosos pozos someros en uso.<sup>27</sup>

### **Vertientes:**

Son aquellos afloramientos en la superficie del suelo, de los cuales emana el agua subterránea. El agua tiene su salida a la superficie por fuerza de la gravedad o es forzada por la presión artesiana del acuífero. El flujo de las vertientes varía considerablemente dependiendo de precipitaciones, capacidad de infiltración del suelo, conformación del acuífero, etc...

El agua subterránea puede salir a la superficie en las vertientes o en las intersecciones de cuerpos de agua.<sup>28</sup>

### **1.2.3 Gradiente Hidráulico:**

La superficie de la zona de saturación es una capa continua mientras exista solución de continuidad entre los poros y las fisuras. El flujo subterráneo hacia abajo que afecta a las regiones superiores de la zona de saturación se traduce en una inclinación de esta superficie, así las aguas subterráneas descienden de arriba hacia abajo de las cuencas acompañando en profundidad a los ríos que van por la superficie. Existe una relación entre la pendiente y el coeficiente de permeabilidad de los terrenos atravesados y el caudal del flujo subterráneo.

El flujo de las capas subterráneas hacia el interior del glacis, formando una cuenca de un manto libre (río, lago, o mar) se caracteriza por su gradiente hidráulico  $h/l$  (Fig.3).

---

<sup>27</sup> <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea32s/ch14.htm>

<sup>28</sup> CORBITT, R; 1992. Standard Handbook of Environmental Engineering, Editorial Mc Graw Hill. Nueva York – Estados Unidos

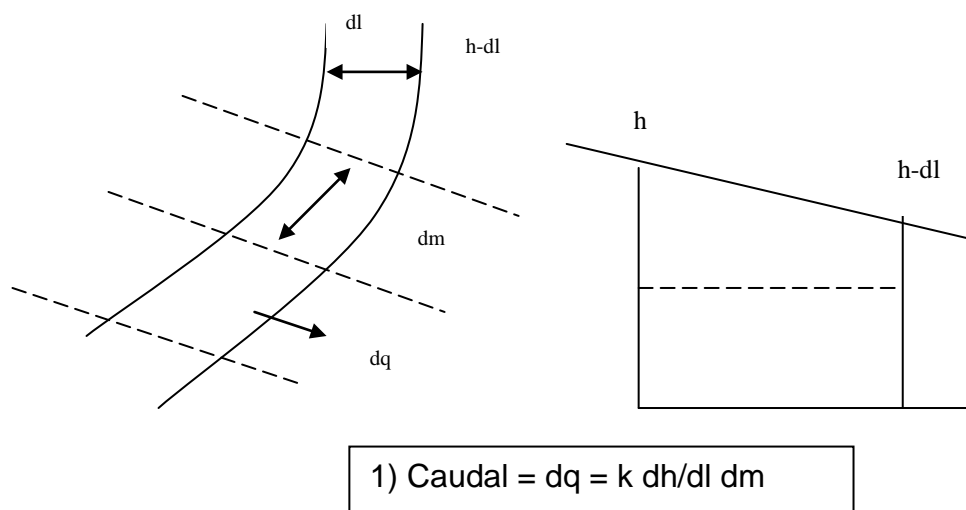
Cuando la permeabilidad media del conjunto de los terrenos es buena, el coeficiente  $k$  es elevado y bastará un pequeño gradiente hidráulico para dejar pasar un flujo abundante. Con una débil permeabilidad ocurre lo contrario y el flujo asimismo débil precisa un gran gradiente hidráulico.

Cuando el agua subterránea atraviesa sucesivamente terrenos de permeabilidad diferente, la pendiente tiende a ser más débil en los terrenos de mayor permeabilidad.

El flujo subterráneo que circula por las formaciones geológicas permeables se puede encontrar a grandes profundidades al menos en cuencas altas de los ríos.<sup>29</sup>

Debido al débil gradiente hidráulico, el nivel del suelo puede elevarse con mayor rapidez que la superficie de saturación, no así en rocas permeables donde el gradiente hidráulico sigue las ondulaciones del terreno.

Fig. 3: Según la Ley de Darcy:



<sup>29</sup> PIMIENTA, J ; 1980 . La Captación de Aguas Subterráneas, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona España.



Suponiendo que  $dm$  son hilos de agua escurriendo por la línea equipotenciada  $h$  y  $h-dh$  siendo  $dl$  la distancia entre  $h$  y  $h-dh$ . Si  $dq$  es el caudal según la Ley de Darcy, se puede suponer un hilito de agua tal que  $dl$  y  $dm$  sean casi iguales.

$$dq = k \frac{dh}{dl} dm$$

$$2) Q = dq = k dh$$

Si hay secciones equipotenciales en longitud  $l$  :

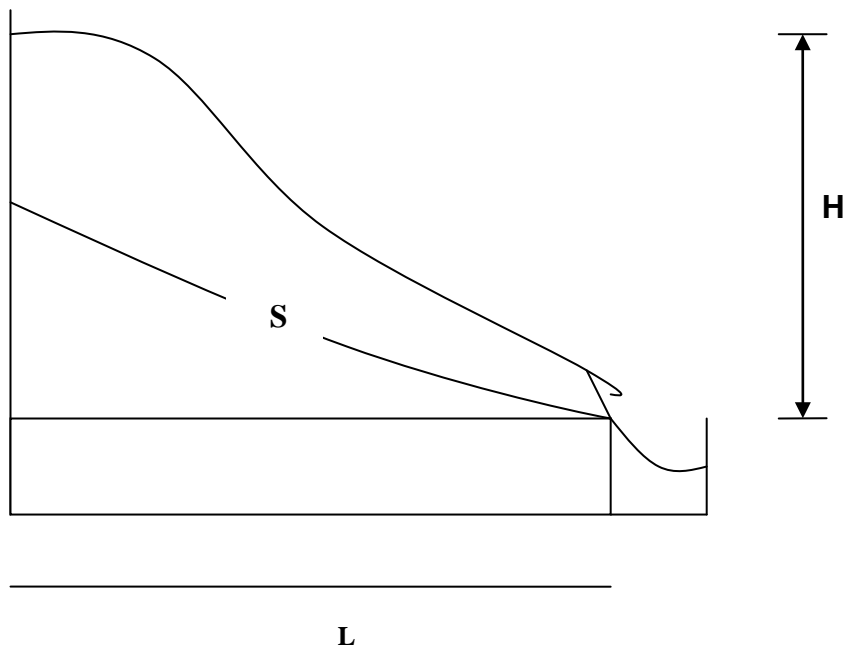
$$3) dh = h/n$$

Para el conjunto de la circulación:

$$4) Q = mdk = kmh/n$$

Conociendo la pendiente y la permeabilidad, se calcula el flujo total a través de la sección considerada. La relación  $h/l$  es el gradiente hidráulico.

Fig. 4. Gradiente hidráulico:



#### **Permeabilidad de las formaciones areno-arcillosas:**

La sedimentación areno arcillosa es muy corriente. Se encuentra formada por una parte de los aluviones de los fondos de los valles o de las vertientes montañosas donde el espesor no alcanza a 100 m.

La arcilla regularmente se encuentra en mayor proporción que la arena. Los tramos arenosos tienen una extensión moderada y generalmente aislada en medio de capas esencialmente arcillosas de alimentación de la zona de saturación por lo que las velocidades de flujo tienden a ser menos rápidas. En la zona de saturación donde los terrenos están llenos de agua las arenas pueden drenar las arcillas encajonadas.

#### **Relación con la escorrentía:**

La circulación del flujo de las aguas subterráneas se puede representar cartográficamente en mapas hidrogeológicos que representan aspectos como la superficie de saturación, deformaciones, pendientes

irregulares resultantes de la circulación y se ven representadas por las curvas de nivel. (Cortes longitudinales)

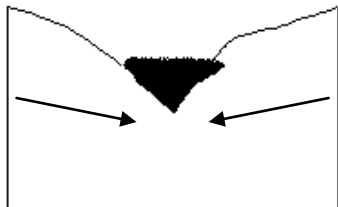
Así también se puede utilizar mapas de profundidad de agua en el que se cartografían las variaciones de profundidad de la superficie de saturación, medidas a partir del nivel del suelo . Estos dan una idea de la profundidad del agua y de la permeabilidad de los terrenos.

Otro punto muy importante es la relación con la escorrentía, así, el agua corriente de los ríos está siempre en contacto directo con la zona de saturación porque de lo contrario se perdería por infiltración- Igualmente ocurre con los grandes lagos, pequeños lagos y estanques que a menudo son afloramiento de aguas suspendidas. Para determinar la profundidad de la superficie de saturación se encuentra siempre a una altura próxima a la del curso de agua más inmediato.

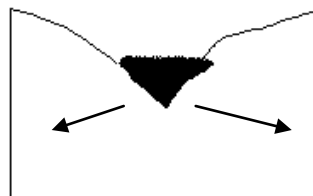
Para describir más precisamente las relaciones entre las corrientes de la superficie y las aguas subterráneas hay que seguir la superficie de saturación entre los ríos lo cual es posible cuando está jalonada por pozos o sondeos.

En general el río drena las aguas subterráneas de su cuenca, comúnmente sucede en clima templado, esperando que la circulación subterránea converja hacia el río elevándose la superficie de saturación por encima de su lecho. Cuando un río atraviesa zonas áridas tiende a perder agua que alimentará a las fuentes subterráneas, y la superficie de saturación desciende en cada lado de su lecho. La pendiente de las aguas subterráneas a los lados de un río puede encontrarse alimentando durante épocas de estiaje a las aguas subterráneas.

La siguiente figura representa la alimentación o drenaje en una cuenca:



**Drenaje**



**Alimentación**

### **Valles Aluviales :**

Los flujos subterráneos siguen las pendientes de la red hidrográfica mientras que los ríos tienen un movimiento más lento en el subsuelo de los valles. Los valles aluviales pueden ser más amplios que los ríos y sus meandros pueden provocar un cauce aluvial mayor sobre terrenos de alta permeabilidad cubiertos por aluviones areno- arcillosos y posiblemente sedimentados si es que el río ha alcanzado su perfil de equilibrio.

En estos valles, se puede encontrar capas continuas de gravas isométricas bastante gruesas para las captaciones y forman además terrenos acuíferos.

“Cualquiera sea el clima, los valles aluviales son aun más interesantes cuando atraviesan regiones donde la naturaleza del subsuelo no permiten explotar el agua subterránea, representando las únicas posibilidades de captación”.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> PIMIENTA, J ; 1980 . La Captación de Aguas Subterráneas, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona España.

El nivel estático de las captaciones puede ser más alto que la altura del río y que la superficie de saturación debido a que las gravas permeables están cubiertas regularmente por un manto arcilloso impermeable siendo los pozos artesianos bastante corrientes.

### **Valles aluviales amazónicos:**

Se extienden hasta una altura aproximada de 200-250 msnm, formado por pequeñas colinas de forma redondeada y desniveles comprendidos entre los 20 y 50 m, localmente desarrolladas sobre sedimentos arcillosos del Terciario y Cuaternario profundamente meteorizados.

La red fluvial amazónica tiene una dinámica muy particular; en una primera fase se formaron grandes llanuras de divagación y esparcimiento de materiales arenosos de origen volcánico, luego por efectos de la tectónica y la estratigrafía se desviaron los cursos normales de los ríos, produciéndose fenómenos de captura. En una segunda fase, se formaron valles bastante anchos y con un sistema de terrazas escalonadas, cuya disposición es bastante compleja.

Se presentan numerosas zonas pantanosas, cauces abandonados, peleocauces y basines.<sup>31</sup>

### **Ríos:**

Estos ecosistemas están generalmente asociados a lugares de erosión, transporte y sedimentación de materiales. Éstos están relacionados directamente con el ciclo hidrológico en mayor o menor proporción de acuerdo con su ubicación. En la región amazónica, las precipitaciones están entre 3000 y 4000 mm al año.

---

<sup>31</sup> <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea32s/ch14.htm>

Los ríos se clasifican según sus tributarios, áreas de drenaje y longitud total.

La mayor parte de los ríos se originan por la fuerza natural de las corrientes que se encauzan en su trayecto al buscar cubrir áreas más bajas como valles.

El volumen de agua y la pendiente son factores importantes en la abrasión y desgaste de la zona formándose así lechos y canales. En las zonas tropicales, debido a las intensas precipitaciones a lo largo del año los ríos mantienen caudales relativamente constantes y tienden a formar playas en épocas de sequía.<sup>32</sup>

Cálculo de la descarga según Haynes<sup>33</sup> :

$D = w d a l / t$

D= descarga

W= ancho del lecho

d= profundidad media del río

A= coeficiente rugoso= 0,8 y 09 liso

L = distancia recorrida por objeto flotante

T= tiempo recorrido por objeto

Aguas con elevadas cantidades de sólidos disueltos indican alta conductividad que puede ser un factor limitante para la vida acuática así como el factor turbidez.

---

<sup>32</sup> ROLDAN, G; 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

<sup>33</sup> HAYNES, H ; 1972. The Ecology of URNG Waters . University of Toronto. Ontario Canada

**Cuencas de drenaje:**

También se las conoce como cuencas hidrográficas y constituyen toda el agua recibida por el sistema de corrientes. En la cuenca hidrográfica los factores más importantes a considerar son: su naturaleza geológica, estado de la superficie y su estado de conservación.

Reid <sup>34</sup>, clasifica a las cuencas de la siguiente manera:

***Tipo enrejado:*** Obedecen a zonas montañosas de crestas paralelas donde sus tributarios llegan en ángulo recto al río principal.

***Tipo dendrítico:*** De tributarios al río principal en forma ramificada.

***Tipo anastomósico:*** Conformado por una red de ríos en formas irregulares consecuencia de sedimentos depositados por las corrientes en áreas inundadas.

---

<sup>34</sup> REID, G K ; 1966. Ecology of Inland Waters and Estuaries. Reihnold Publishing Corporation. New York.

## **CAPITULO II: ANTECEDENTES**

### **2.1 Estudios anteriores:**

#### **2.1.1 Estudios limnológicos en la región Neotropical.**

El Ecuador está considerado como un país de la región Neotropical. En esta región, los estudios acerca de Limnología son muy escasos, sin embargo se debe recalcar la importancia de algunos de ellos.

Varias expediciones e investigaciones científicas han contribuido al estudio de la Limnología en la región amazónica de la zona Neotropical entre los cuales debe destacarse la contribución de Klinge y Ohle <sup>35</sup>, en la que demuestran una relación muy estrecha entre la tierra y el agua determinando que las aguas de la cuenca amazónica de suelos más antiguos y de sedimentos del terciario son extremadamente pobres en electrolitos. Lo cual indica que el agua posee más cationes que aniones debido a la absorción del humus o por los óxidos de hierro y aluminio.

Hill y Rai <sup>36</sup>, constituyen también un valioso aporte para el estudio de la limnología en nuestra región ya que discuten el origen fluvial de los lagos amazónicos, su débil estratificación térmica durante el día y su pobreza en nitrógeno y fósforo y hacen además una relación entre ríos y lagos de la amazonía, de la cual depende el funcionamiento de su balance.

---

<sup>35</sup> KLINGE,H; 1964. Chemical Properties of Rivers in the Amazonian Area in relation to soil conditions.

<sup>36</sup> HILL H, et.al; 1982. A preliminary characterization of the tropical lake of Central Amazon with polar and temperate systems.



En relación a las investigaciones realizadas en los ríos de la Amazonía, por Junk<sup>37</sup>, los ríos de la baja Amazonía alcanzan amplitudes de 4 a 6 m y en las zonas medias y altas hasta 15 m, lo que influye en las inundaciones periódicas o condiciones de sequía en vastas áreas cercanas. Se estima que la relación entre el nivel de los ríos con el área inundable o valle aluvial es igual a dos tercios de esta área expuesta a una fase terrestre anual designada como una zona de transición agua- tierra. En el caso del río Amazonas en sus épocas de inundación a mediados del mes de Junio el valle se es cubierto completamente por agua, reduciéndose nuevamente en las épocas de sequía en los meses de Octubre y Noviembre. Estos procesos influyen en la calidad del agua y en el desarrollo ecológico de las especies de flora y fauna que habitan en la zona debido a la erosión y depósitos de sedimentos que favorece a la renovación de hábitats.

De acuerdo con la relación que se establece entre el lago Várzea y el Amazonas se habla de un cambio de cationes durante el año y dice que se presentan niveles bajos del agua en Noviembre y Octubre cuando bajan los niveles de agua de la laguna y la conexión entre lago y río es muy estrecha. Las concentraciones en el agua de la laguna alcanzan su máximo y decrecen cuando hay un nivel creciente de agua.

Según estudios realizados en 1984 sobre las condiciones de mezcla vertical en lagos de valles aluviales amazónicos<sup>38</sup>, este fenómeno se presenta de forma diaria, estacional o en circulaciones aperiódicas, resaltando factores importantes como la insolación, viento, humedad y turbidez. Así también, afirma que la estratificación y mezcla ocurren diariamente o al menos varias veces cada mes.

---

<sup>37</sup> JUNK, W; 1992. Wetlands of tropical South America . Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. Alemania.

<sup>38</sup> MACINTYRE S, et.al; 1984. Vertical mixing in Amazon floodplain lakes. Stuttgart- Alemania

En la investigación, se comparó a la Laguna de Limoncocha con los *lagos de Varzea* en los que la estratificación es más prolongada en la temporada seca y quizá múltiples termoclinas en el epilimnio.<sup>39</sup>

En el Lago Calado se observó que entre los meses de Noviembre - Enero, y Julio- Agosto la mezcla ocurrió a temperaturas de 27,5 y 29,5 °C en superficie durante la noche, siendo estas superiores en horas del día. En el mes de Febrero con baja insolación y chubascosos vientos se produjo una mezcla completa del lago hasta el fondo.

### 2.1.2 Estudios en la Laguna de Limoncocha.

De acuerdo con estudios anteriores de la Laguna de Limoncocha, su origen es fluvial, formada por la acción inundante del río Napo hace miles de años. Según estudios realizados por Colinvaux<sup>40</sup>, establecen la edad de los sedimentos de la Laguna de Limoncocha en relación con la técnica del carbono 14, concluyendo que éstos datan de hace 1230+- 120 AC con una profundidad de 555.0-565.0 cm.

Algunos de los datos acerca de la calidad del agua obtenida en este estudio fueron:

Área ( km <sup>2</sup> )	2,04
Profundidad máxima ( m)	3,10
Conductividad ( mS/ cm)	0,118
pH	9,00
Temperatura superficial (°C)	28
Temperatura en el fondo ( °C)	25
Profundidad Secchi ( m)	0,51

<sup>39</sup> FURCH, K ; Seasonal Variation of the major cation content of the Várzea Lake.

<sup>40</sup> COLINVAUX , et.al , 1985 ; Discovery of permanent Amazon lakes and hydraulic disturbance in the upper Amazon Basin. The Ohio State University, Columbus , Ohio. USA.

La temperatura del agua oscila entre 26 y 31 °C siendo clasificada como una Laguna polimíctica por sus variaciones tanto diarias como anuales en cuanto a condiciones de estratificación y mezcla. Debido a su poca profundidad se presume que la estratificación térmica no es marcada y en la noche recibe la influencia de vientos y lluvias.

De acuerdo a los estudios realizados en 1999 por Ribadeneira<sup>41</sup>, el estado de la laguna es eutrófico debido a elevados procesos de fotosíntesis que marcan fluctuaciones de pH, alta concentración de fósforo y baja concentración de nitratos y nitritos, su conductividad superior a 60 mS, alto contenido de calcio y magnesio y presencia de algas azul verdosas o cianobacterias que caracterizan comúnmente a lagos eutrofizados. Gómez<sup>42</sup> en su estudio realizado en el 2003 clasifica a la Laguna como mesotrófica debido a características como su baja concentración de fósforo (nutriente limitante), calidad de agua que permite la existencia de flora y microfauna y por su oxigenación periódica.

Según el Plan de Manejo de Limoncocha, la Laguna es polimíctica por ser poco profunda y las tormentas y vientos hacen que el agua se mezcle. Así también los nutrientes contribuyen con la alta productividad. Debido a las fluctuaciones drásticas de pH y OD se la caracteriza el estudio como una laguna eutrófica con alta tasa de productividad primaria. Se destaca además presencia de fitoplancton en 90% algas azul verdes y verdes, diatomeas.<sup>43</sup>

---

<sup>41</sup> RIBADENEIRA, V. 1999 ; Tesis de Grado: Caracterización y evaluación físico química del agua del sector de Limoncocha. Universidad Internacional SEK . Quito-Ecuador

<sup>42</sup> GOMEZ, J; 2003. Tesis de Grado: Diagnóstico del estado trófico de la Laguna de Limoncocha y determinación de la calidad del agua del sistema hídrico de la zona de Limoncocha. Universidad Internacional SEK. Quito-Ecuador

<sup>43</sup> ULLOA, R ; 1988. Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha, Dep. Áreas Naturales y Recursos Silvestres, Limoncocha Ecuador.

De acuerdo con la Caracterización Limnológica de la Laguna de Limoncocha realizada por Andrade<sup>44</sup>, ésta se encuentra estratificada desde aproximadamente las 10:30 am hasta las 17:00, antes y después de estas horas se presenta un estado de mezcla principalmente adentrada la noche. La estratificación según especifica el autor, es causada exclusivamente por una mayor incidencia de la irradiación solar especialmente al medio día en todas las épocas del año. Concluye así mismo, que la Laguna permanece mezclada desde comienzos de Enero hasta finales de Febrero iniciándose una nueva etapa de estratificación para el mes de Marzo siendo Abril la época más marcada por este fenómeno. Por último se observó un nuevo período de remoción de la estratificación para el mes de Junio.

Concluye además, que la concentración de saturación de OD en la Laguna de Limoncocha a 230 msnm y 28 ° C con P = 19,530 mm Hg es 7,724 mg/ l que corresponde al 100 % de saturación de oxígeno en el agua.

De acuerdo con un estudio reciente realizado en el río Playayacu <sup>45</sup>, se presentan los siguientes registros:

Oxígeno disuelto ( ppm )	6,3
Temperatura ( °C )	25
Conductividad (mS)	200
Ph	7,9
Caudal ( m <sup>3</sup> /s)	0,4

\* Los datos corresponden a un monitoreo realizado en el mes de Abril 20 m antes de la salida a la Laguna.

<sup>44</sup> ANDRADE, S; 2001. Tesis de Grado: Caracterización Limnológica de la Laguna de Limoncocha. Universidad Internacional SEK. Quito-Ecuador.

<sup>45</sup> CALLEJAS, A. 1999 ; Tesis de Grado: Determinación de la calidad del agua de tres afluentes a la Laguna de Limoncocha. Quito- Ecuador

### **2.1.3 Estudios acerca de la relación hídrica de la Laguna de Limoncocha con el río Napo:**

Según el Plan de Manejo Ambiental de Limoncocha<sup>46</sup> el río Capucuy se forma de lluvias locales y hacia el fin de su curso sirve de desagüe al Napo de la laguna de Limoncocha que antes se llamaba laguna de Capucuy.

Actualmente, el paso del Napo a la laguna está cerrado. Las aguas del desaguadero de la Laguna de Limoncocha al llegar al Capucuy se ensanchan y están cubiertas de gramalote y pantano. Es lo que los nativos denominan Yanacocha o Laguna Negra por el color de las aguas del Capucuy

Para el balance de agua entre la precipitación, escorrentía de superficie e infiltración superficial se debe considerar un factor aleatorio.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO:**

### **2.2.1 Reserva Biológica Limoncocha:**

La Laguna de Limoncocha se ubica dentro de las coordenadas geográficas: 0° 30' Lat S y 0° 20' Lat S; y 76° 45' Lon O - 76°30' Lon O, en la provincia de Sucumbíos cantón Shushufindi parroquia de Limoncocha en la Región Amazónica de la República del Ecuador. Forma parte esencial de la Reserva Biológica Limoncocha, que se extiende sobre aproximadamente 4.613 hectáreas. (Ver carta topográfica Limoncocha).

---

<sup>46</sup> ULLOA, R; 1988. Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha, Dep. Áreas Naturales y Recursos Silvestres. Limoncocha - Ecuador.

La Reserva se asienta en una zona de vida de Bosque Húmedo Tropical donde permanecen fuentes de vida muy importantes como pantanos permanentes, tierras inundadas, tierras firmes y ecosistemas acuáticos. Se encuentra a una altura promedio de 230 msnm y la Laguna a alrededor de 235 msnm.

La declaración de Reserva Biológica que abarca la Laguna de Limoncocha y sectores aledaños se realizó mediante Acuerdo Ministerial No 394 el 23 de Septiembre de 1985 y fue publicado en el Registro Oficial No283 del 1 de octubre del mismo año.

Esta reserva tiene una gran importancia por ser un área que contiene formaciones naturales y especies de flora y fauna muy significativas para la ciencia y el medio ambiente. La Reserva está básicamente compuesta por la Laguna de Limoncocha (antes llamada Capucuy), las zonas adyacentes a ella y la laguna Negra o Yanacocha.

Según la literatura, el río Napo se encuentra estrechamente relacionada con la Laguna la cual tiene un espejo de aguas de una superficie aproximada de 2.5 km cuadrados que guarda una de las fuentes de biodiversidad más grandes del mundo

La Laguna se extiende aproximadamente a quinientos metros al este de la población de Limoncocha, básicamente constituida por quichuas, y cuya actividad productiva está directamente ligada a este recurso hídrico utilizado como medio de transporte y pesca.

Durante todo el año en la Reserva se presenta una constante radiación solar y la humedad atmosférica suele ser mayor al 80% sin embargo, en días claros y soleados desciende a casi 50%, al tiempo que la temperatura ambiente se eleva hasta los 30° C .

La Laguna tiene un volumen aproximado de 4'309354 m<sup>3</sup>. El 52.35 % se encuentra entre profundidades de 0 a 1.5 m Un 45.86 % esta entre 1.5 a 2 metros.

La dinámica de la Laguna y su comportamiento físico-químico están relacionados directamente a estas variaciones ambientales, lo que hace indispensable el análisis de los cambios de comportamiento de este cuerpo de agua a lo largo del año.

### **Fauna:**

La Reserva Biológica Limoncocha se caracteriza por su gran biodiversidad a pesar de que la densidad de especies es baja y constante.

El área de la Laguna es muy rica en aves (más de 460 especies) con un gran número de especies endémicas de la zona. Además existe un gran número de reptiles y anfibios que habitan a las orillas, principalmente el caiman blanco. También existen especies como las pirañas, mamíferos como pequeños y grandes roedores y también varios tipos de primates.

### **Flora:**

Las plantas en esta área habitan en óptimas condiciones de clima. La luz solar directa y la humedad favorecen al crecimiento de la vegetación. Esta zona se caracteriza por sus marcados gradientes de factores físicos y químicos, sus procesos ecológicos particulares y sus distintivas comunidades de plantas y animales.

Las comunidades de vegetación ribereña tienen gran diversidad estructural y de composición; funcionan como un corredor para el movimiento de la fauna y para la dispersión de las plantas; modifican el

microclima y, regulan la entrada de sedimentos y nutrientes a los cauces

### **Habitantes de la zona:**

La zona de influencia de la Reserva está poblada por la comunidad Quichua principalmente siendo sus actividades principales la agricultura de chacra en el ámbito casero con alimentos como el plátano, yuca, camote y caña de azúcar. Antes solían dedicarse a la caza pero debido a la desaparición de varias especies han orientado su actividad a la crianza de animales en su propio terreno. Entre los principales grupos poblacionales de la zona se encuentran los caseríos de Limoncocha, Santa Elena, Jivino e Itaya.

### **Vías de acceso al sitio de estudio:**

El ingreso a la zona de estudio puede realizarse desde las ciudades de Nueva Loja (Lago Agrio) y Fco. De Orellana (Coca) llegando por vías terrestres o aéreas.

Desde el Coca se navega por el Napo río abajo , en un recorrido aproximado de tres horas hasta la población de Pompeya y luego por vía terrestre hasta el caserío Limoncocha.

Desde el Coca también se puede acceder por vía terrestre. La carretera se une con la que viene de Lago Agrio en el sector de Sacha, y continúa por Shushufindi hasta Limoncocha en un recorrido de 130 Km hasta la carretera lastrada.

### **2.2.2 Características geológicas de la zona**

La Laguna de Limoncocha se asienta sobre una base plana y arcillosa en depósitos de areniscas, lutitas y tobas de acuerdo con el Mapa



Geológico del Ecuador (Anexo 2.3). Por otro lado, parte de la Reserva Biológica Limoncocha y el río Napo se inscriben en un depósito aluvial compuesto por arcillas y arenas del plioceno ( 1,64 -5,2 Ma) .

Se presume que uno de los orígenes de la Laguna de Limoncocha podría ser de carácter tectónico por una falla que formó una depresión o una fosa tectónica hace miles de años.

Esta formación tectónica podría haber influido en el sistema fluvial de la cuenca como sucedió en el lago Victoria en África Central que se formó a partir de la elevación de los márgenes de la meseta que sirve de asiento a este lago provocando el establecimiento natural del sistema fluvial del valle.

Con referencia al mapa de suelos realizado por Ecuambiente en 1996 (Anexo 2.5), la Laguna de Limoncocha está ubicada sobre un área considerada como pantano permanente con drenaje malo, de suelos orgánicos sobre depósitos aluviales. En cuanto a las orillas del río Napo, se asientan sobre terrazas recientes con un drenaje moderadamente bueno, depósitos aluviales areno- limosos del cuaternario ( 0 -1,64 Ma).

De acuerdo con el mapa morfo-edafológico del Nororiente <sup>47</sup> la Reserva Biológica Limoncocha estaría incluida dentro del cuadrilátero comprendido entre los ríos Aguarico, Coca y Napo centrado sobre la encrucijada denominada “Shushufindi”. Que se asienta sobre una planicie amplia de sedimentación que se depositó sobre el sustrato arcilloso antiguo con algunas colinas de arcilla roja. Esta zona está drenada por numerosos arroyos tributarios de los ríos Aguarico y Napo que no alcanzan el río Coca. El drenaje es insuficiente únicamente

---

<sup>47</sup> ORSTOM ,PRONAREG. 1977. Mapa morfoedafológico del Nororiente. Quito-Ecuador .

sobre la franja meridional que rodea el río Napo. La topografía es perfectamente lisa en su conjunto, ondulada en detalle bajo la influencia de crecidas periódicas que han formado diques y cavado canales.

Todos los terrenos contienen material de origen volcánico, cantos rodados, gravas, arenas de rocas extrusivas, minerales, y vidrios volcánicos y suspensiones alofánicas. La textura de los depósitos varía de grosor dependiendo del sitio. Los suelos están clasificados como Typics Vitrandepts, hydric dystrandepts, halloystics tipics dystrandepts y halloystic Tepic distropepts.

La llanura aluvial sobre la que se encuentra el área de estudio presenta relieve plano a ligeramente ondulado con pendientes de no más de 5% con suelos bien drenados con presencia de materia orgánica del tipo TYPIC DYSTRANDEPTS. En las áreas semipantanosas la materia orgánica es abundante y presenta una estructura franco arcillo-limosa que corresponde a AQUIC DYSTRANDEPTS en las presiones pantanosas hay mucha materia orgánica y las colinas regulares tienen suelos TYPIC DYSTROPEPTS.

El 90 % del área cercana al Napo se encuentra en una llanura de explayamiento en una zona de depósitos coluvio-aluviales que recubren los antiguos depósitos del terciario. A causa de la erosión se han generado terrazas aluviales que se localizan junto a los cauces de los ríos principales. Jivino, Shushufindi, Pañayacu e Itaya.

Las terrazas son encajadas con una diferencia de nivel entre la llanura y el fondo del valle de aproximadamente 25 a 30 metros y éstas están formadas por arenas y limos de origen volcánico. Los materiales presentes en toda el área son de origen coluvio-aluvial, se trata de depósitos de materiales volcánicos transportados por los ríos y

depositados durante la fase de emplazamiento y pertenecen al cuaternario reciente.

Las zonas colindadas se originan en materiales del terciario producto de la descomposición de rocas sedimentarias de tipo conglomerático. Este fenómeno es posible observar en algunos cortes de carreteras especialmente a profundidades entre 12 y 15 m. El material original es profundamente meteorizado y arcillificado

Las terrazas aluviales próximas al río Napo y Aguarico están conformadas por limos y arenas muy finos de origen volcánico, a menudo junto al Napo se encuentran diques aluviales que limitan en su parte posterior con zonas pantanosas o semipantanosas.

En algunos casos estas zonas pantanosas presentan suelos orgánicos sobre materiales arcillosos y limosos gleysados. Se dice que la zona se conformó por la migración lateral de los dos principales ríos Napo y Aguarico que se han ido aplanando y rellenando hasta conformar la llanura aluvial. Los suelos en la llanura aluvial están formados por arenas y limos de origen volcánico. Esta unidad es la más importante en el área de estudio ya que cubre un 60% del bloque 15 en su mayoría en la zona central y occidental <sup>48</sup>

### **2.2.3 Características hidrológicas de la zona:**

La Laguna de Limoncocha podría haber tenido un origen fluvial habiéndose formado de un brazo del río Napo según estudios realizados en la zona. El fondo de la Laguna es plano con una profundidad máxima de 2.3 metros y comprende un espejo de aguas

---

<sup>48</sup> ULLOA, R; 1988. Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha, Dep. Áreas Naturales y Recursos Silvestres. Limoncocha - Ecuador

de 3km a lo largo y 1 Km. a lo ancho. Está situada a 3.2 Km. al norte de la desembocadura del Río Jivino en el Napo. El sistema hidrográfico del Río Napo se forma con el aporte fundamental de 3 vertientes independientes ubicadas en la cordillera Real de los Andes y sus contrafuertes exteriores , las vertientes del Cotopaxi, del Antisana ( de aquellos ríos que se vierten desde los cerros de Chalupas y de los Llanganates ) y la Cordillera de los Guacamayos .

Se llama Río Napo desde que se unen el Jatun Yacu y Ansu. La longitud total del río Napo es de aproximadamente 1.400 Km. con una anchura promedio de 1 a 3 Km. y presenta un desnivel que oscila desde 900 a 140 metros de los cuales desciende 640 m en sus primeros 250 km de recorrido. El curso del Napo se divide en:

*Superior.-* Desde la unión de los ríos Jatun Yacu y Anzu hasta Coca

*Medio.-* Desde la boca del Coca hasta la desembocadura del Aguarico.

*Inferior.-* desde la Bocana del Aguarico hasta su confluencia con el Amazonas.

El curso del río Napo se caracteriza por su gran anchura y poca profundidad con bancos de arena formados por desecho y vegetación.

La creciente del Napo empieza en Marzo, aumentando lentamente su nivel hasta alcanzar su máximo entre los meses de junio, julio y agosto.

La vaciante empieza en septiembre y alcanza el mayor valor en diciembre. Las épocas de creciente y de vaciante del Napo lo son también de sus afluentes. <sup>49</sup>

---

<sup>49</sup> ULLOA, R; 1988. Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha, Dep. Áreas Naturales y Recursos Silvestres, Limoncocha Ecuador.

El Río Capucuy forma parte del sistema hidrológico de la zona sirviendo de desagüe a la Laguna de Limoncocha en su desembocadura hacia el río Napo.<sup>50</sup>

Dentro de los límites de la Reserva esta el Jivino que nace de algún lugar cerca de la margen izquierda del río Coca y recorre hasta aproximadamente unos 50 Km. hasta la desembocadura en el Napo y por detrás de la isla de Pompeya.

#### **2.2.4 Climatología de la zona:**

De acuerdo con la evaluación de impacto ambiental realizada por OXY en el año de 1990, la Reserva Biológica Limoncocha es un área influenciada por clima tropical húmedo. Presenta un clima isotermo sin diferencias estacionales, temperaturas altas sin diferencias estacionales, con variaciones diurnas más que anuales, fuertes precipitaciones y velocidades bajas del viento.

Lo que más influye es la precipitación pluvial en cuanto a la distribución e intensidad de lluvias y la evapotranspiración debido a los grandes espejos de agua y a la vegetación transpirante.

Para ese tiempo había estaciones meteorológicas en Lago Agrio, Tarapoa, Limoncocha y el Coca que mantenían todos los registros meteorológicos. La más cercana que era la de Limoncocha estaba ubicada a Lat 0°25' S Lon 76° 37' O con una elevación 219 msnm.

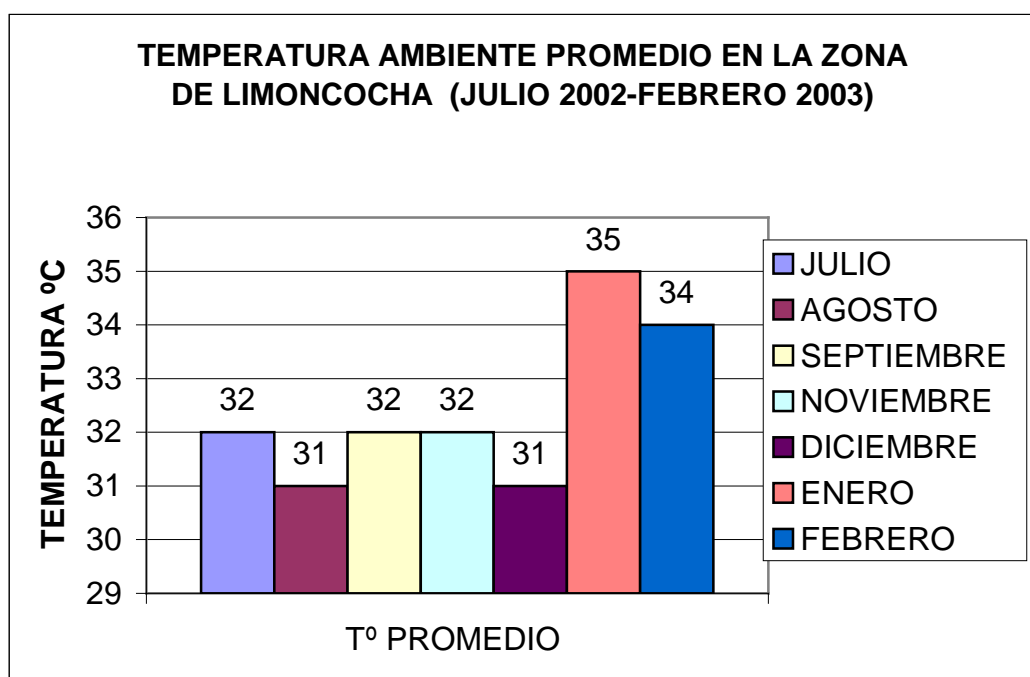
#### ***Temperatura:***

La temperatura ambiente está influenciada por la cobertura boscosa del área y la presencia de los cuerpos de agua como lagunas y ríos. Los valores de temperatura más elevados se registraron para los meses de

---

<sup>50</sup> INEFAN ; 1999. Plan de Manejo de la Reserva Biológica Limoncocha. Limoncocha-Ecuador

Enero y Febrero así como los más bajos en agosto y diciembre. La variación anual está en el orden del 1.8 °C en Limoncocha. Referencia Tabla d.



Elaboración propia.

Temperatura promedio: 32,4 °C

Temperatura máxima: 35 °C

Temperatura mínima: 31 °C

### ***Precipitación:***

Está influenciada por su ubicación en la región en la Zona de Convergencia Intertropical y por el movimiento vertical de masas de aire. Según el estudio mencionado, las lluvias se presentan durante todo el año pero los meses de mayor precipitación se muestran en marzo, abril, mayo, octubre y noviembre registrando una precipitación

mínima 121,9 mm, precipitación mensual promedio es de 262 mm y multianual 3145,9 mm.

***Humedad relativa:***

La humedad relativa está relacionada con la temperatura, precipitación, evapotranspiración de las plantas, registros de la humedad relativa y esto determina que no existe una variación anual significativa. Los registros afirman que en la zona se presenta una humedad relativa de 89%

***Evapotranspiración:***

De acuerdo con la EIA elaborada por OXY en 1990 , en el área no se presenta un déficit de agua en las necesidades de vegetación debido a las magnitudes de precipitación existentes. Así en Limoncocha se registra un valor de 89,6 mm en cuanto a evapotranspiración mensual.

***Nubosidad:***

Los mayores valores de nubosidad se registran en enero con una nubosidad media 6 octavos

Vientos predominantes del noroeste

Velocidad promedio del viento: 1,3 a 3,2 m/s

Heliofanía mensual promedio: 103,8 horas.

Con respecto a la radiación solar se estima que es constante durante el año y la humedad atmosférica suele variar entre 50%-80% y en cuanto a temperatura ambiente se registran variaciones de 20-35 ° aproximadamente.

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **3.1 TRABAJO DE CAMPO:**

Se realizó seis salidas al campo de una duración de cuatro días aproximadamente en los meses de Julio, Agosto, Noviembre, Diciembre (2002), Enero y Febrero (2003) en las que se realizó las actividades descritas a continuación:

#### **3.1.1 Ubicación de puntos de muestreo:**

Para la ubicación geográfica de todos los puntos de muestreo se utilizó el GPS (Geographic Position System) con referencia en la carta topográfica de la zona.

Los sitios de muestreo en los ríos Playayacu y Pishira fueron situados con referencia a la tesis realizada por Santiago Andrade para dar continuidad a sus resultados. En cuanto al río “SEK” se ubicó un punto de muestreo de acuerdo a la influencia que pudiese generarse como aporte a la laguna y por su facilidad de acceso, denominándolo así debido al desconocimiento de registros históricos del mismo.

En la Laguna se ubicaron en línea transversal media, cuatro puntos representativos: Frente al Muelle, Centro de la Laguna, Frente al Río Pishira y Canal de Salida

Las vertientes fueron seleccionadas para este estudio de acuerdo a su representatividad en cuanto a cantidad y calidad del agua, usos de la comunidad y facilidad de acceso. Los muestreos fueron realizados en los afloramientos directamente. (Ver Anexo 2.1: Mapa de puntos de monitoreo)



### **3.1.2 Monitoreo de parámetros físicos del agua:**

Los parámetros físicos a determinar en el agua tanto de la laguna como la de vertientes y ríos, fueron: la conductividad, pH, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez.

Para determinar la zona eufótica en la Laguna fue necesario determinar la profundidad Secchi.

Para el monitoreo tanto en la laguna como las vertientes y ríos se utilizó la sonda HORIBA (Anexo 1.12), la misma que fue facilitada por la compañía OXY.

Así, en la Laguna se obtuvieron los parámetros físicos del agua en diferentes niveles: superficial, un metro, un metro y medio y dos metros en los puntos seleccionados, sumergiendo el cable del equipo a estas profundidades.

La profundidad Secchi fue determinada en todos los puntos de muestreo en la Laguna con la utilización del disco Secchi que posee un cabo de 2 metros que permite sumergirlo dentro del agua hasta una zona en la que no sea visible y determinar esta profundidad.

Para los monitoreos de 24 horas en los meses de Agosto y Febrero se ubicó los puntos en la laguna con globos de color distintivo para poder ser ubicados por la noche.

En las vertientes se utilizó del mismo modo la sonda HORIBA para realizar las lecturas de los parámetros físicos del agua. Se determinó el caudal por el método volumétrico en el afloramiento de aquellas vertientes donde fue posible obtener una medida directa y el método área-velocidad en los cauces de salida de las restantes.

Las vertientes en estudio fueron seleccionadas por su facilidad de acceso y representatividad dentro de la comunidad y como aporte hídrico a la Laguna de Limoncocha. Éstas son : IPIB, “Agua Potable”, “Pachakutik”, “Desague”, “Puesto Militar” “Agustin” , “Augusto”, “Estación SEK

En el trabajo de campo se contó con una lancha con motor fuera de borda proporcionado por la Universidad Internacional SEK.

### **3.1.3 Aforo en los ríos Pishira, Playayacu, SEK y en vertientes:**

El aforo de caudal en estos ríos se realizó con el fin de determinar su aporte en la Laguna de Limoncocha. Para obtener un valor promedio significativo se realizaron seis monitoreos en el período agosto 2002-febrero 2003. El método elegido fue el de Área- Velocidad. Para los ríos Playayacu y “SEK” y algunas vertientes se calculó el área considerando la profundidad media del cauce, no así en el río Pishira que presenta mayor profundidad en el que se determinó el área por el método del trapecio que consiste en seccionar un área transversal representativa del río formando figuras individuales para calcular el área total.

La velocidad se calculó en base al método del flotador cronometrando el tiempo que demora éste en recorrer una distancia seleccionada.

### 3.2 TRABAJO DE GABINETE:

#### 3.2.1 Aplicación del Método Racional o CIA

El Método Racional se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, para la determinación del aporte de caudales en la cuenca hidrográfica. Se siguieron los siguientes pasos:

- Delimitación de la cuenca afluente.
- Definición del esquema general de la red que pasa por esa sección.
- Morfometría de la cuenca.
- Definición de los coeficientes de escorrentía o escurrimiento de acuerdo a la clasificación de “Zonas verdes”
- Determinación del tiempo de concentración según la Fig.3
- Establecimiento del periodo de retorno.
- Determinación de las intensidades de lluvia a partir de los valores de Intensidad horaria (mm./h) y Precipitaciones en 24 horas (mm.) y el tiempo de concentración utilizando la formula  $I = C_1 n^{C_2} t^{C_3}$
- Determinación del caudal de aguas de lluvias en litros/seg.

Fig.5 Tabla de intensidades de lluvia.

DATOS DE ENTRADA		DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES			
Intensidad horaria mm/h	Precipitaciones en 24 horas mm	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
		valor máximo	valor tipo		
20-30	40	250	116	0,44	-0,51
20-30	50	264	122	0,42	-0,52
20-30	60	264	122	0,42	-0,50
20-30	70	278	128	0,40	-0,52
30-40	60	292	133	0,44	-0,50
30-40	70	305	142	0,44	-0,50
30-40	80	333	153	0,42	-0,51
30-40	90	333	153	0,42	-0,50
30-40	100	361	167	0,42	-0,52
40-50	90	389	178	0,44	-0,50
40-50	100	403	186	0,42	-0,50
40-50	110	418	192	0,42	-0,50
40-50	120	431	197	0,40	-0,50
50-60	110	472	217	0,44	-0,50
50-60	120	486	222	0,44	-0,51
50-60	130	500	231	0,42	-0,51
50-60	140	595	256	0,42	-0,52
60-70	130	555	256	0,44	-0,52
60-70	140	569	261	0,42	-0,52
60-70	150	583	278	0,42	-0,54
70-80	160	638	294	0,44	-0,50
70-80	170	652	300	0,42	-0,50
70-80	180	667	306	0,42	-0,50

Tabla 3-15. Coeficientes C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> para determinar la intensidad

### **3.2.2 ELABORACION DE GRÁFICAS:**

Para la preparación de gráficas de isolíneas de oxígeno disuelto en relación a la profundidad, y de estratificación térmica de la Laguna, se utilizó el programa AutoCAD 2000 mediante la interpolación matemática de datos.

Para la representación gráfica de otros resultados se trabajó en el programa Excel.

Los mapas de ubicación de puntos de muestreo fueron realizados en el programa Arcview en una escala 1:50000.

## CAPITULO IV: CÁLCULOS

### 4.1 Morfometría de la cuenca:

Los siguientes parámetros morfométricos fueron obtenidos en base al Mapa de delimitación de la micro cuenca en la zona de Limoncocha (Anexo 2.2).

Su forma es alargada y oblonga con pendientes no muy pronunciadas. El punto más alto se ubica en la cota 264 y su punto de cierre a 228 msnm.

Se podría asumir que la Laguna se encuentra dentro de un triangulo en un centro de gravedad aproximadamente a 2/3 de la cota más alta.

1) El área de la cuenca fue obtenida directamente a través el programa Arcview.

$$\text{Área de la micro cuenca} = 2816,816 \text{ Ha} = 28,17 \text{ Km}^2$$

2) El perímetro de la cuenca fue calculado mediante el método del compás en base a la escala a la que fue realizado el mapa.

$$\text{Perímetro de la cuenca} = 25950 \text{ m} = 25,95 \text{ Km.}$$

3) La longitud aproximada del río Pishira fue calculada igualmente por el método del compás.

$$\text{Longitud del río principal (Pishira)} = 4 \text{ Km.}$$

4) La pendiente bruta del río fue calculada en base a su gradiente hidráulico mediante la siguiente fórmula:

Pendiente bruta del río Pishira:

$$P = \Delta H / L$$

Donde:

P = Pendiente bruta del río (m)

$\Delta H$  = Diferencia de cotas (m)

L = Longitud del río principal ( m)

$$P = 264 - 232 / 4000 = 0,008 * 100 = 0,8 \%$$

5) La longitud y ancho promedio de la cuenca fueron calculados con el uso del compás relacionando la escala del mapa.

Longitud promedio de la cuenca = 9,8 km

$$A = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 / 5$$

$$A = 1 \text{ Km} + 2 \text{ Km} + 3,1 \text{ Km} + 5,9 \text{ Km} + 6,4 \text{ Km} / 5$$

Ancho promedio de la cuenca = 3,7 Km.

#### **4.2 Método Racional o CIA:**

Este método fue realizado con el fin de conocer el aporte hídrico aproximado que podría generarse hacia la Laguna de Limoncocha por el factor de precipitación en la micro cuenca.

1) Cálculo del tiempo de concentración:

Fórmula de Ramser y Kirplich :

$$T_c = 4 ( L / (P)^{1/2} )^{0,77}$$

Donde :

$T_c$  = Tiempo de concentración ( min)

$L$  = Distancia más lejana hasta el punto de cierre es decir longitud de la cuenca ( Km).

$P$  = Pendiente del río principal ( %)

$$T_c = 4(9,8 / (0,8)^{1/2})^{0,77}$$

$$T_c = 25,43 \text{ min.}$$

2) Cálculo de la Intensidad de lluvias.

$$I = C_1 n^{C_2} t^{C_3}$$

$I$  = Intensidad de la lluvia en mm/h, para  $t_c$

$C_1$  = Coeficiente

$n$  = Periodo de retorno de una lluvia de intensidad dada (años).

$C_2$  = Coeficiente

$C_3$  = Coeficiente

$t$  = tiempo de concentración (min)

Promedio anual de lluvias mínimo = 121,9 mm

Intensidad horaria = 40 – 50 mm/h ( Ref. 120 mm/h)

$C_1$  = 197 ( Valor tipo )

$C_2$  = 0,40

$C_3$  = - 0,50

$n$  = 15 años (zonas bajas de cuencas con peligro de inundación).<sup>51</sup>

$t_c$  = 25,43 min.

---

<sup>51</sup> [http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/2\\_alcan/24\\_dimensionado/i241.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/2_alcan/24_dimensionado/i241.htm)

$$I = 197 (15)^{0,42} 25,43^{-0,50}$$

$$I = 197 (3,12) (0,198)$$

$$I = 121,7 \text{ mm/h}$$

3) Aplicación de la fórmula para determinar el caudal (l / s)

c = coeficiente de escurrimiento para zonas verdes = 0,10

I = Intensidad de lluvias = 121,7 mm /h = 338,055 l / seg. Ha  
( 1l/seg. Ha. = 0,36 mm/h)

$$A = 2816.816 \text{ Ha}$$

$$Q = C_m * I_{\max} * A$$

Donde:

Q = Caudal de aguas de lluvias en (l/seg)

$C_m$  = Coeficiente de esorrentía medio

$I_{ma}$  = Intensidad de lluvias (l/seg.Ha.)

A = Superficie total (Ha.)

$$Q = (0,10) (338,055) (2816.816)$$

$$Q \text{ total en la micro cuenca} = 95223.87 \text{ l/s} = 95,22 \text{ m}^3$$

\* Asumimos que solamente 2/3 del caudal total representado por precipitaciones contribuye en el balance hídrico de la Laguna de Limoncocha por lo que se obtiene un caudal de 63482,58 l/s



## CAPITULO V : RESULTADOS

### 5.1 Laguna de Limoncocha:

#### Oxígeno Disuelto:

- La gráfica turbidez vs profundidad Secchi (Gráfica # 1) indica que la profundidad Secchi se encuentra en promedio a 0,50 m. Sin embargo en el mes de julio se presenta un valor de 0,70 m. Los valores de turbidez varían en un rango de 30 a 40 FTU durante el período de muestreo.

La zona fótica en base a la profundidad Secchi promedio resultó ser 1,35 m.

- Con respecto a la variación del oxígeno disuelto en 24 horas para el punto “Frente al Muelle” (Gráfica # 2.a.1), se presenta un mayor descenso en el mes de febrero que para el mes de agosto en lo que se refiere al nivel superficial y a 0,50 m. En cuanto al mes de agosto, se registra una disminución de OD desde las 16:20 (7 ppm) hasta las 3:05 (3,5 ppm) para luego presentar variaciones crecientes hasta llegar al máximo alrededor de las tres de la tarde con un valor aproximado de 11 ppm. A profundidades de 1 y 1,50 m (Gráfica # 2.a.3 - 2.a.4) se muestran altibajos en la concentración de este gas, siendo su pico mayor alrededor de las seis de la mañana ( 7- 8 ppm) Por el contrario, el mes de febrero presenta un ligero incremento desde las 16:20 hasta el inicio de la noche 19:00 para luego descender paulatinamente hasta la 1:00 y mantener niveles bajos alrededor de 1ppm. Hasta el medio día en que empiezan a ascender los niveles de OD hasta 12 ppm en el caso del nivel superficial y 6 ppm a 0,50 m.

- Referente al punto “ Centro de la Laguna” ( Gráficas 2.b.1- 2.b.4) no se observa una diferencia marcada en el comportamiento de las curvas para el mes de agosto en cuanto a concentración diaria de oxígeno. Durante los dos monitoreos se observó que tanto a nivel superficial como a 0,50 m se presenta un descenso desde las 16:50 ( 10,23 y 9,4 ppm) hasta la 1: 45 ( 6,34 y 6,37 ppm) donde hay una ligera recuperación hasta aproximadamente las siete de la mañana en que vuelve a descender levemente y conforme avanza la mañana asciende hasta llegar a valores de concentración alrededor de 12 a 14 ppm en la tarde hasta las 18:00.

A profundidades de 1 y 1,50 m la tendencia del comportamiento es el mismo sin embargo, se observa una mayor oxigenación en el mes de febrero con valores entre 4 y 14 ppm. Para el mes de agosto se registran valores entre 0,8 y 5,28 ppm a 1,50 m y entre 3,15 y 7,74 ppm a 1m de profundidad. En el mes de agosto se registran valores a 2,00 m manteniéndose las mayores concentraciones de oxígeno desde la tarde (16:50) hasta la noche (23:55) con un descenso durante toda la madrugada con valores entre 0,12 y 0,36 ppm. Se debe resaltar que tiende a un comportamiento anóxico.

- Para el punto “Salida del Pishira” (Gráficas 2.c.1-2.c.4), el comportamiento es similar para los meses de agosto y febrero desde el nivel superficial hasta los dos metros. Se presenta una desoxigenación a partir de las 17: 20 hasta las 8: 30 de la mañana. Luego hay una reoxigenación hacia el pico máximo a las 13:45 y tiende nuevamente a un periodo de desoxigenación conforme avanza la tarde. Al igual que en los demás puntos se observa un mayor nivel de oxigenación en el mes de febrero.

- En el punto “Canal de Salida” ( Gráficas 2.d.1- 2.d.5) , en los dos monitoreos tanto a nivel superficial como a 0,5 y 1 m se observa un

descenso en la concentración de oxígeno entre las 18:35 hacia 08:40 en todos los niveles de la laguna recuperándose hasta aproximadamente las 16:25 en que experimenta una desoxigenación nuevamente. Se registraron valores a 1,50 y 2,00 m para el mes de agosto en los que se observa una oxigenación relativamente constante durante las 24 horas observando valores a 1,50 m entre 3,11 y 5,48 ppm y de 1,01 a 3 ppm a 2 m.

### **Estratificación Térmica:**

#### **Diaria:**

- En el punto “Frente al Muelle” en el mes de agosto, se observa una leve estratificación entre las 16:20 y las 01:10 con una variación de 0,5 ° C entre las superficie y 1,50 m. Luego inicia un nuevo ciclo de estratificación un poco más marcado hasta las 9:40 am con una diferencia de 1° C. A partir de esa hora hasta las 17: 45 se observa otro período de estratificación bien definido con una diferencia de temperaturas de 3,5 ° C entre el nivel superficial y 1,5 m de profundidad. ( Gráfica 3.a.1, Tabla g.1.a)

Para el mes de febrero se observa un estado de mezcla desde las 17:40 hasta las 12:10 con una variación muy leve de temperatura entre horas de apenas 0,5 °C . Avanzada la tarde empieza a verse un ciclo de estratificación con diferencias de hasta 1°C desde el nivel superficial hasta los 0,5 m. (Gráfica 3.a.2, Tabla g.1.b).

- En el punto “Centro de la Laguna” en el monitoreo realizado en el mes de agosto se observa una condición prácticamente de mezcla desde la superficie hasta los 2 m de profundidad con un enfriamiento de todo el cuerpo de agua en 1° C para un período de 11 horas

(16:50-10:10). La estratificación se inicia a partir de las 10:10 hacia la tarde con una diferencia de hasta 2° C entre la superficie y 2 m. (Gráfica 3.b.1, Tabla g.2.a)

En el mes de febrero se observa un estado de mezcla hasta 1,50 m de profundidad en el período 17:50- 9:15, luego se observa una estratificación marcada con una diferencia de 1,5 °C entre la superficie y 1,50 m de profundidad.

- Con respecto al punto “Salida del Pishira” en el mes de agosto no se observa una condición de estratificación definida entre las 17:20 y 4:00. A partir de las 5:40 y las 08:30 se da un estado de mezcla en todo el cuerpo de agua hasta una profundidad de 1,00 m. A partir de esta hora hasta las 18:15 se observa una estratificación bien definida con una diferencia de temperaturas de 2°C entre la superficie y un metro de profundidad. (Gráfica 3.c.1, Tabla g.3.a).

Para el mes de febrero se observa estratificación leve a partir de las 18:05 y 9:30 a través de todas las capas de agua. A partir de esta hora inicia un ciclo de estratificación muy marcada especialmente entre el nivel superficial y 0,50 m y con una diferencia de 3,5 °C entre la superficie y el fondo. (Gráfica 3.c.2, Tabla g.3.b)

- El punto “Canal de Salida” en el mes de agosto presenta una temperatura a 2 m constante durante las 24 horas (27°C) con una leve estratificación entre las 17:25 y 10:45 , a partir de esta hora inicia un período de estratificación marcada de 3,5 ° C de diferencia entre la superficie y 2 m. La estratificación más definida se ubica entre el nivel superficial y 0,50 m. ( Gráfica 3.d.1, Tabla g.4.a)

En febrero este punto se encuentra mezclado hasta 1m desde las 18:20 hasta las 07:30, a partir de esta hora se inicia un período de estratificación con una diferencia de 2 °C en profundidad. ( Gráfica 3.d.2, Tabla g.4.b)

### **Mensual:**

Para el punto “ Frente al Muelle” se observa un cierre de período de estratificación para el mes de agosto que de acuerdo con la Tesis realizada en 1991 terminaría en el mes de Junio aparentemente.

Se presume que entre los meses de septiembre y octubre podría presentarse un estado de mezcla y para el período noviembre- febrero una etapa de estratificación bien definida con diferencias de hasta 5° C a hasta una profundidad de 1,50 m (Gráfica 4.a).

Del mismo modo en el punto “Centro de la Laguna” y “Salida del Pishira” se observa el mismo comportamiento pero con una diferencia de 3° C en el ciclo de estratificación. (Gráficas 4.b, 4.c)

Para el punto “Canal de Salida” se observa el cierre del período de estratificación a 1 m en el mes de agosto y una posible mezcla para septiembre y octubre, observándose también un período marcado de estratificación desde octubre hasta enero con un diferencial en la temperatura de 5° C hasta el 1 m. Parece iniciarse un nuevo ciclo de estratificación a partir del mes de enero. ( Gráfica 4.d)

### **Oxígeno Disuelto:**

Con respecto a la variación diaria de oxígeno disuelto en el mes de agosto se observa una Laguna completamente estratificada en cuanto a la concentración principalmente entre las 3:40 y 18:00 con valores a superficie de 12 ppm y 1 ppm a 2 m. Se presenta asimismo una estratificación menor desde las 16:50 hacia las 3:40 con una concentración de 7 ppm en la superficie y 1 ppm la mayor profundidad. (Gráfica 5.a, Tabla f.1)

En el mes de febrero por el contrario se presenta una condición de mezcla desde el nivel superficial hasta 1 m de profundidad y una

estratificación parcial hacia 1,50 m entre las 16:50 y 06:55. En este período de tiempo el descenso del nivel de OD se da en 1ppm por cada hora y media aproximadamente. Luego de esto se observa una distribución de OD diferente en las capas de agua desde los 15 ppm a nivel superficial hasta 5 ppm a 1,5 m. ( Gráfica 5.b, Tabla f.2)

En las gráficas que describen el comportamiento del OD en la Laguna en su conjunto se puede observar que para el mes de agosto a nivel superficial hay un ligero descenso de concentración entre las 17:00 y 8:00, produciéndose un incremento a partir de esa hora hasta las 18:00. Los niveles de oxigenación en el mes de febrero superan a los de agosto pero se comporta del mismo modo. (Gráficas 6.a.1, 6.a.2).

A 0,50 m de igual modo la oxigenación es mayor en el mes de febrero produciéndose una desoxigenación en el período 17:00 y 08:00 con una reoxigenación máxima hasta las 15:00 donde vuelve a haber una caída en el nivel de OD (Gráficas 6.b.1 y 6.b.2)

A 1 m tanto para el mes de agosto como febrero se presentan niveles de oxigenación irregulares durante las 24 horas tendiendo a encontrar los valores más bajos en la madrugada. ( 6.c.1 ,6.c.2)

A 1,50 m en los dos monitoreos se encontraron grandes variaciones entre el día y la noche produciéndose de igual manera un mayor descenso en horas de la madrugada. Se observa también que en el mes de febrero las fluctuaciones son menores y hay mayor nivel de oxigenación a esta profundidad que en agosto. ( Gráficas 6.d.1, 6.d.2).

A 2 m de profundidad se presenta una mayor variación en cuanto a la concentración de OD, los picos mayores están al inicio de la noche es decir a las 18:00 y, al fin de la madrugada 05:00 y en la mañana a las 10:00. ( Gráfica 6.e.1)

### **Termoclina:**

El mes de Julio ubica a la termoclina a 1 m de profundidad con una variación de temperatura entre la superficie y 2 m de  $3^{\circ}\text{C}$  (Gráfica 8.a). No así en el mes de agosto en que se encuentra a 0,50 m con una gradiente de  $1,25^{\circ}\text{C}$  y también en noviembre con  $1,3^{\circ}\text{C}$  entre la superficie y 2m. (Gráficas 8.b y 8.c ).

En diciembre la termoclina se ubica a 1,50 m con un gradiente de  $3,5^{\circ}\text{C}$  (Gráfica 8.d) al igual que para el mes de enero con un gradiente de  $2,3^{\circ}\text{C}$ . (Gráfica 8.e) . Para febrero se ubica a aproximadamente 1 m con una diferencia de  $2,1^{\circ}\text{C}$ . (Gráfica 8.f )

### **pH**

Se encuentra una similitud entre las gráficas de pH vs profundidad para los meses de julio, agosto, noviembre y diciembre en relación a las gráficas de temperatura vs profundidad. Así, en el mes de julio (Gráfica 7.a) se puede observar que el pH mantiene un descenso casi vertical a medida que aumenta la profundidad con valores en la superficie 8,69 y a los 2 metros 6,48. En agosto (Gráfica 7.b) el pH se incrementa entre la superficie (8,62) y los 0,50 metros de profundidad (9,92), a partir de este punto vuelve a descender llegando hasta los 2 metros a un pH de 8,63. Para el mes de noviembre (Gráfica 7.c) el pH mantiene un descenso casi vertical a medida que aumenta la profundidad con un valor a nivel superficial de 8,33 y a los 2 m 6,55.

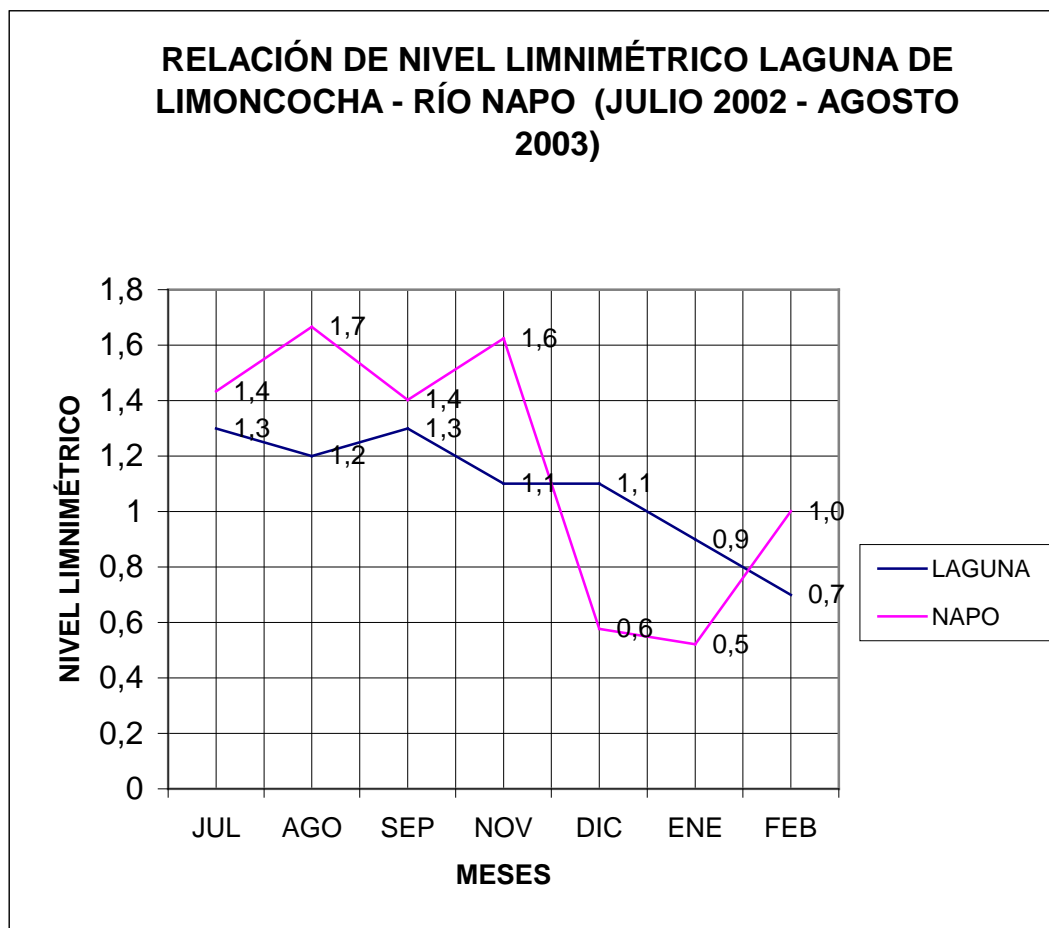
La (Grafica 7.d) en diciembre indica el pH se mantiene estable entre la superficie y los 0,50 metros con 8,8, a partir de este punto desciende hasta 7,6 a los 1,50 metros manteniéndose hasta los 2 metros.

Enero (Gráfica 7.e) registra un descenso casi vertical de pH entre la superficie (8,83) y la máxima profundidad (7,13). Por último, para el

mes de febrero, el pH de la laguna desciende entre la superficie (9,3) y 1 metro de profundidad (8,3) punto en que aumenta ligeramente hasta los 1,50 metros (8,5).

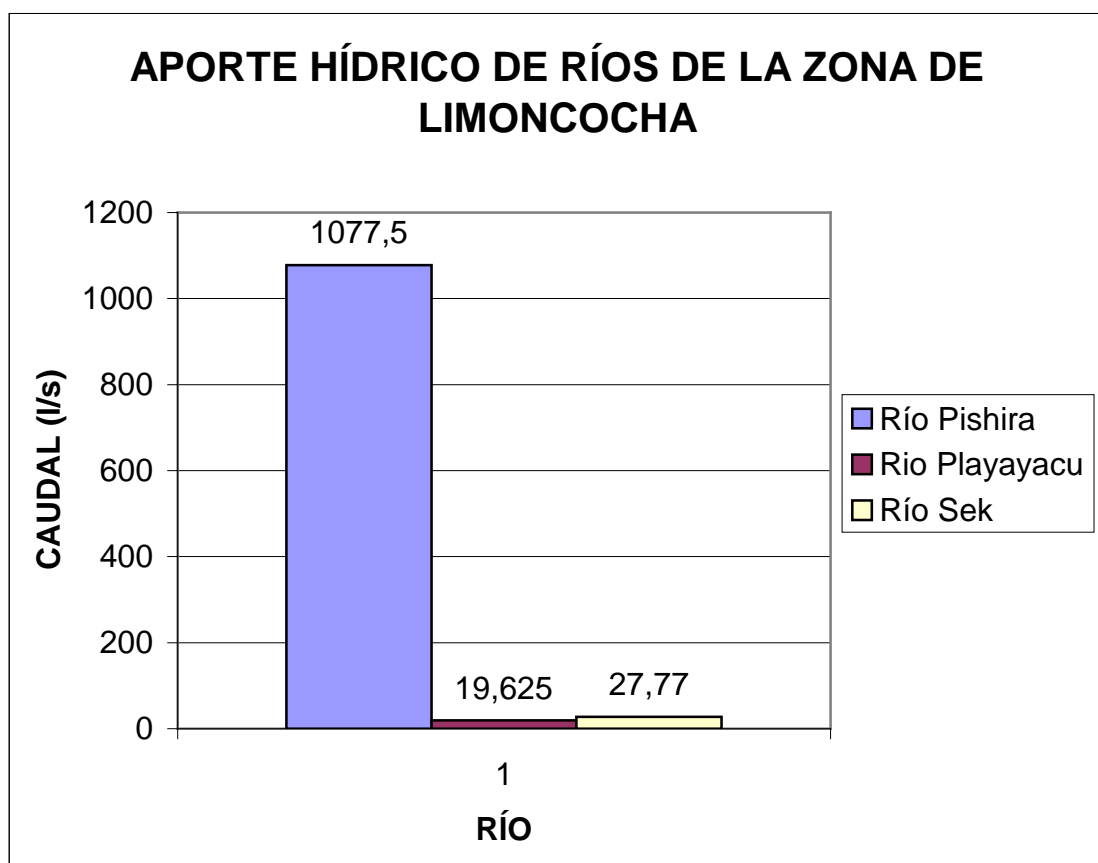
## 5.2 Hidrología:

En cuanto al nivel limnimétrico de la Laguna se observa que hay un descenso en el mes de agosto (1,2 m) hasta el mes de febrero que registra un valor de 0,7 m. Por el contrario, el río Napo presenta un asenso en su nivel para agosto ( 1,7 m) y en febrero desciende a 1 m que supera también el nivel registrado en la Laguna.



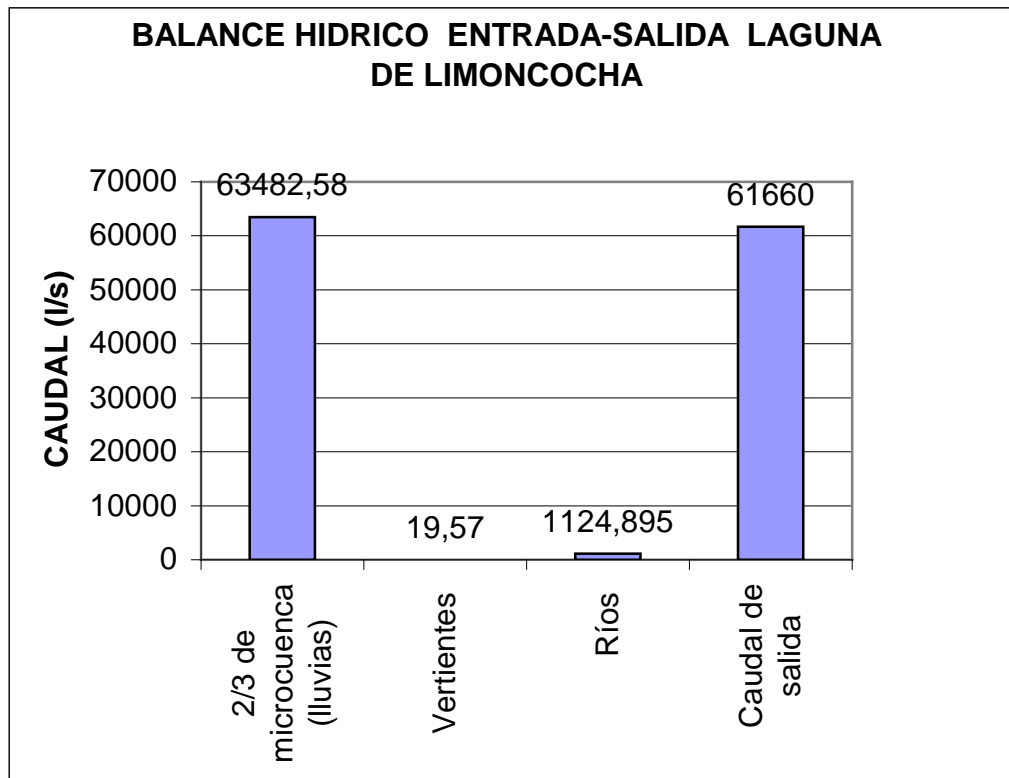


En cuanto al aporte hídrico de los ríos hacia la Laguna se puede observar que la mayor contribución proviene del río Pishira con un caudal de 1077,50 l/s seguido por el Río Playayacu 19,625 l/s y Río SEK con 27,77 l/s.



Río/ muestreo	m3	m4	m5	m6	Promedio Q ( l/s)
Río Pishira	1220	1250	1010	830	1077,5
Río Playayacu	32,06	18	9	19,4	19,625
Río Sek	20,41	16,23	28	34,9	27,77
Caudal Total					1124,895

En la siguiente gráfica se aproxima un aporte de dos tercios de la cuenca hacia la laguna en relación a la precipitación y escorrentía de acuerdo con la morfometría de la cuenca, estimándose un caudal de 63482,58 l/s. La contribución de los ríos es de alrededor de 1124, 895 l/s y de vertientes 19,57 l/s.



El Balance hidrológico se establece de la siguiente forma:

$$Q_C + Q_R + Q_V = Q_S$$

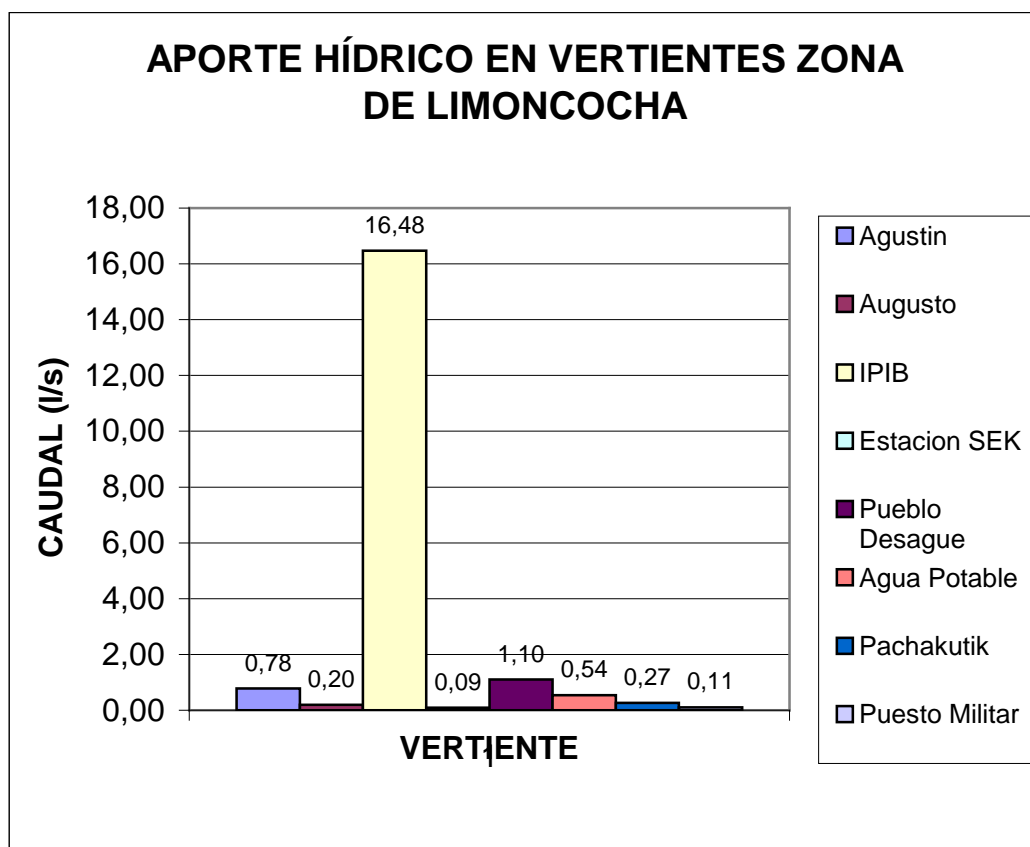
$$63482,58 \text{ l/s} + 1124,895 \text{ l/s} + 19,57 \text{ l/s} = 61660$$

$$64627,045 \text{ l/s} \neq 61660 \text{ l/s}$$

Esta diferencia en el balance hídrico podría ser ocasionada por factores como:

- Estimación no real de caudal de salida en la Laguna.
- Falta de datos meteorológicos actuales.
- Cálculo aproximado del tiempo de concentración para el Método Racional en relación a datos climatológicos antiguos.
- Estimación del área de aportación hacia la Laguna.
- Estimación del coeficiente de escurrimiento en la zona
- Infiltración subterránea.

Con relación al aporte de vertientes IPIB registra la mayor tributación con un caudal promedio de 16,48 l/s.





El afloramiento de las vertientes expuestas en el anterior cuadro podría establecer una relación con la zona de saturación a la que se encuentra la capa de aguas subterráneas.

En algunas de ellas la salida de de agua coincide con la altura a la que se encuentra el espejo de aguas de la Laguna por lo que puede haber un aporte hacia la Laguna a este nivel y presumiblemente puede haber otros afloramientos por debajo del agua que se encuentren alimentando a este cuerpo de agua.

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

- En relación a la clasificación de los lagos, podría otorgársele a la Laguna de Limoncocha características de una ciénega (lago polimíctico tropical) de origen fluvial tipo III que corresponde a las ciénegas simples conectadas a un río de modo directo. La conexión estaría establecida entre el río Napo y la Laguna atravesando el canal que pasa por Yanacocha hasta llegar a la Laguna de Limoncocha. Las características descritas en el marco teórico describen completamente a la Laguna y esto podría relacionarse con la estratificación débil en algunas épocas del año.

- De acuerdo con la caracterización Limnológica de la Laguna realizada en 1991, se observó que ésta presenta estados de estratificación y mezcla durante el año. Al analizar las gráficas en conjunto se puede concluir que durante el año pueden variar los períodos de estratificación indistintamente y puede ser un ciclo irregular con respecto a este fenómeno. Con respecto a los resultados obtenidos se determinan dos períodos bien definidos de estratificación que estarían comprendidos entre noviembre y febrero iniciándose otro a partir del mes de marzo hasta julio o agosto. En septiembre y octubre puede darse una condición de mezcla.

- En el mes de agosto la Laguna registra un mayor nivel limnimétrico que en el mes de febrero, de esto, se puede percibir una estratificación térmica mayor en agosto que puede estar influenciada por los regímenes de lluvia no muy altos y menor temperatura ambiente, así como pocos vientos en la noche y patrones de circulación.

Las variaciones diarias de temperatura indican también etapas de estratificación y mezcla entre el día y la noche siendo distintas para el mes de agosto y febrero. Así, en febrero se presentan varios ciclos de

estratificación: entre las 16:20 y 1:10 se observa una estratificación más débil debido al enfriamiento del cuerpo de agua durante la noche. La siguiente etapa se inicia en la mañana y otro más marcado a partir del medio día hasta avanzada la tarde.

- En relación con la profundidad Secchi se determinó que la zona fótica se extiende hasta 1,35 m aproximadamente, y la termoclina en promedio estaría ubicada a 1m. Se podría concluir que el paso de la luz hasta esa profundidad permite el mayor calentamiento de las capas superiores de agua. Podríamos establecer además una divisoria a esta altura entre el epilimnio y el hipolimnio a nivel general de la laguna. Los niveles de turbidez en el Canal de Salida son mayores posiblemente por los patrones de circulación del agua, así como la reoxigenación podría ser mayor. A pesar de la poca profundidad que presenta la Laguna, no todo corresponde a la zona fótica lo que puede deberse a su coloración verde que interfiere en el paso de luz.

- Se debe además establecer una relación entre el comportamiento del pH respecto a la profundidad observándose una disminución del mismo a profundidades mayores que podría deberse a una mayor concentración de CO<sub>2</sub> por la reducida fotosíntesis a estas profundidades. La formación de ácido carbónico estaría causando la disminución del pH.

- Los niveles de oxígeno tienden a disminuir en horas de madrugada esto se debe a la baja productividad primaria es decir actividad fotosintética y a la degradación de materia orgánica que incrementa la demanda de oxígeno disminuyendo sus niveles principalmente a profundidades de 1 a 2 metros. Al iniciarse el día vuelven a incrementarse los niveles de oxígeno debido a la presencia de luz que permite que se realice el proceso normal de fotosíntesis.

- De acuerdo con el balance hídrico de la Laguna se estableció que el aporte que recibe de la cuenca, ríos y vertientes supera al caudal de salida, esto puede estar ocasionado por posibles infiltraciones en los acuíferos de la zona, pérdidas por evapotranspiración y evaporación, entre otros. Podría deberse además a un error de cálculo en los caudales de salida de la Laguna y al cambio climático global.

- Al observarse la relación entre los niveles limnimétricos de la Laguna y el río Napo se puede observar que al incrementar los niveles del río coincidencialmente disminuyen los de la Laguna. De acuerdo a la carta topográfica la Laguna se encuentra en un mayor nivel sobre el nivel del mar que el Río Napo por lo que podría constituirse la Laguna en un drenaje de la cuenca hacia el río, conservándose cantidades considerables de agua en la Laguna debido a su morfología y características de depósitos geológicos, así como a los ciclos de precipitación.

- Las vertientes monitoreadas se encuentran en la margen izquierda de la Laguna ubicadas en cotas más altas que su espejo de aguas. Estas posiblemente reciben el aporte de ríos como el río Pishira, Jivino, Capucuy , Itaya ,entre otros que forman parte del sistema hidrológico de la zona. (Ver Anexo 2.4) .Los parámetros físicos obtenidos durante los seis meses de monitoreo, son semejantes a aquellos que caracterizan a la Laguna por lo que se puede concluir que éstas contribuyen directamente a la Laguna e influyen en la calidad de su agua. Así también, la calidad de agua determinada en los ríos fue semejante a la de la Laguna.



**RECOMENDACIONES:**

Es necesario realizar monitoreos en los meses de septiembre y octubre a fin de completar el ciclo de resultados de este estudio.

La reinstalación de una red meteorológica en la zona es indispensable para obtener mayores datos que permitan establecer conclusiones más precisas de la climatología en relación a fenómenos como la estratificación térmica, y el balance hídrico.

La medición de caudales y monitoreo de parámetros físicos, principalmente en los ríos Pishira y Playayacu no deben hacerse solamente en un punto sino en varios tramos para determinar con mayor precisión la descarga hacia la Laguna así como la calidad final con la que sus aguas llegan a ella. Sería conveniente también, verificar los caudales de salida de la Laguna.

Se recomienda realizar estudios isotópicos en base a muestras obtenidas en las diferentes vertientes, así como en sectores representativos de la Laguna a fin de conocer la relación entre el origen de estas fuentes de agua y la de la Laguna. Se deben incluir también en estos estudios, muestras de precipitación pluvial.

Analizar la desembocadura de los canales de Yanacocha en para descartar una posible condición de reflujo.

Se deben obtener mayores registros de la profundidad Secchi a distintas horas del día y durante varios días para obtener un resultado de mayor exactitud.

A fin de determinar el balance de oxígeno disuelto en el agua y su relación con otros parámetros físicos así como el comportamiento fotosintético de CO<sub>2</sub> se recomienda realizar un monitoreo de este gas en el agua y relacionarlo con la productividad primaria.

