

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE LAS
COMUNIDADES PRODUCTORAS Y DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DE UN
ECOSISTEMA ALTOANDINO: LAGUNA AGUAS TIBIAS - PURACÉ- CAUCA.**

AMELIA ESCOBAR PAREDES

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA BIOLOGIA
POPAYAN
2.004**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE LAS
COMUNIDADES PRODUCTORAS Y DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DE UN
ECOSISTEMA ALTOANDINO: LAGUNA AGUAS TIBIAS - PURACÉ- CAUCA.**

AMELIA ESCOBAR PAREDES

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Bióloga

DIRECTOR

GERARDO I. NAUNDORF SANZ
Magíster en Ciencias - Microbiología Ambiental

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA BIOLOGIA
POPAYÁN
2.004

Nota de aceptación

Director: Mg. Gerardo Nundorf Sanz

Jurado: Mg. Hildier Zamora

Jurado: Mg. Apolinar Figueroa

Fecha de Sustentación

Popayán 24 de Septiembre 2004

DEDICATORIA

A mis padres, por brindar todos sus esfuerzos en mi formación integral, para así poder superar mis metas propuestas y avanzar más allá.

Al ser que hoy hace parte de mis días; Giovanni, por estar siempre dispuesto a brindarme su constante amor y apoyo incondicional.

A mi Director, Gerardo I Naundorf S; pues gracias a sus enseñanzas y disponibilidad fue posible llegar a la meta.

A todas esas personas, que de una u otra forma me acompañaron, a través de este largo camino de saberes, y contribuyeron para que pudiera alcanzar esta pequeña cima que hoy contemplo.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por permitir mi existencia.

A Gerardo I Naundorf. S, Director del trabajo, docente de la Universidad del Cauca, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Grupo de Recursos Hidrobiológicos y Continentales por ser clave fundamental en la realización de este trabajo, por todas sus enseñanzas, dedicación y tiempo.

A Hildier Zamora, docente de la Universidad del Cauca, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Grupo de Recursos Hidrobiológicos y Continentales, por sus valiosos aportes y consejos.

A Guillermo Vasquez, docente de la Universidad del Cauca, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Grupo de Recursos Hidrobiológicos y Continentales, por sus enseñanzas durante el énfasis.

A José Manuel Tobar, Docente de la Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

A Giovanni Ruiz. G, por su compañía y gran ayuda en cada una de las salidas de campo y sus aportes para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos Melissa, Fausto, Angélica, Olga. L y Javier; por estar siempre ahí.

A todas esas personas, que de una u otra forma me acompañaron, a través de este largo camino de saberes, y contribuyeron para que pudiera alcanzar esta pequeña cima que hoy contemplo.

A todos ellos, mil GRACIAS.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCION	
1. OBJETIVOS	
1.1. GENERAL	
1.2. ESPECIFICOS	
2. JUSTIFICACIÓN	
3. ANTECEDENTES	
4. ALCANCES	
5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE TRABAJO	
5.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	
5.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	
5.3. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	
5.3.1. Climatología	
6. METODOLOGÍA	
6.1. SITIOS DE MUESTREO	
6.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA	
6.3 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA	
6.3.1 Determinación de la productividad primaria con base en la determinación de clorofila <i>a</i> .	
6.3.2. Determinación de la composición de las comunidades primarias.	
6.3.2.1 Colecta de organismos planctónicos.	
6.3.2.2. Colecta de organismos perifíticos.	
6.3.2.3. Conteo de organismos.	
6.3.2.4. Identificación de los organismos.	

6.3.2.5. Calculo del índice de diversidad

7. **RESULTADOS OBTENIDOS**

7.1. **CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA , HÍDRICA**

7.2. **CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA**

7.2.1. Determinación de la clorofila a.

7.2.2. Índice de Estado Trófico.

7.2.3. Determinación de las comunidades productoras.

7.2.4. Índice de diversidad.

8. **CONCLUSIONES.**

9. **RECOMENDACIONES**

10. **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS CITADAS.**

ANEXO FOTOGRAFICO.

LISTA DE TABLAS

- | | Pag |
|---|------------|
| 1. Tabla 1, Parámetros Físico – Químicos del Agua | |
| 2. Tabla 2, Radiación lumínica en la columna de agua. | |
| 3. Tabla 3, Valores calculados para las clorofilas a, b, c y la biomasa en la laguna. | |
| 4. Tabla 4, Valores calculados para las clorofilas a, b, c y la biomasa en la comunidad perifítica de la laguna. | |
| 5. Tabla 5, Valores de clorofila a, b y c (mg/m^3) detectados en el florecimiento del alga roja <i>Compsopogon</i> . | |
| 6. Tabla 6, Índice de Estado Trófico calculada para la laguna. | |
| 7. Tabla 7, Valores calculados para el IET de la comunidad perifítica de la laguna. | |
| 8. Tabla 8, Lista taxonómica de las algas detectadas en la laguna. | |
| 9. Tabla 9, Conteo total de organismos productores en la laguna. | |
| 10. Tabla 10, Índice de diversidad de la comunidad ticoplanctónica de la laguna. | |

LISTA DE MAPAS

Pag

1. MAPA 1. UBICACIÓN DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA EN EL TERRITORIO COLOMBIANO
2. MAPA 2. UBICACIÓN DEL MUNICIPIO DE COCONUCO – PURACÉ EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.
3. MAPA 3. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.
4. MAPA 4. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE COCONUCO PURACÉ.

RESUMEN

Este es un estudio preliminar de tipo descriptivo de las características limnológicas de la laguna “Aguas Tibias”, ecosistema acuático originado en una fuente de aguas termales provenientes del volcán Puracé. La laguna se localiza a 02° 18' 38" Latitud Norte y 76° 30' 75" Longitud Oeste, a una altura de 2.650 m.s.n.m y al nor -occidente a 12,6 Km. del cráter del Volcán Puracé.

Se realizó la caracterización físico química de sus aguas, la determinación de las comunidades productoras y la productividad primaria del ecosistema, durante los meses de Marzo a Octubre del año 2.003. Los resultados indican un ecosistema de gran estabilidad en los valores de parámetros físico químicos analizados, pues dichos parámetros permanecieron alrededor de los mismos valores, tanto en función de espacio y tiempo de estudio. Se considera la laguna como un ecosistema en condiciones extremas o en condiciones de estrés ambiental natural, considerando los rangos para factores como pH, conductividad, alcalinidad, dureza y salinidad. No obstante, la alta estabilidad del sistema y el aporte permanente de nutrientes y energía favorecen el crecimiento de organismos productores, los cuales conforman densas comunidades, con diversas poblaciones de algas, distribuidas tanto en la columna de agua (ticoplanctónicas) como adheridas al fondo de la laguna (perifítica) como a otras algas (epifíticas). Estas comunidades forman extensas floraciones de algas, donde predominan algas verdes como *Microspora*, *Desmidium* y *Ulothrix*, con densas poblaciones de diatomeas adheridas. Estas comunidades forman un importante refugio y fuente de alimento a una gran cantidad de organismos, entre ellos, diversas especies de peces y de macroinvertebrados acuáticos en sus fases adultas y larvales.

En cuanto al índice de diversidad calculado para el ecosistema, encontramos valores que nos indican condiciones de media a alta diversidad, donde los flujos de materia y energía están controlados por las algas verdes filamentosas y las diatomeas

principalmente. Se detectaron altos valores de productividad, determinando un ecosistema en condiciones de eutrofia, que por sus orígenes naturales, se encuentra regulada.

Las particularidades del sistema exigen la realización de estudios más profundos y detallados, más aún si se considera que han sido pocas las investigaciones limnológicas sobre ecosistemas de origen volcánico de alta montaña que se han realizado, tanto en Colombia como en otros países.

GLOSARIO

ABSORBANCIA: Es la absorción de luz que produce una sustancia al ser sometida a una radiación electromagnética seleccionada a determinada longitud de onda, haciéndola pasar a través de una celda espectrofotométrica.

AFLUENTE: Sección de desembocadura de un río menor a otro o a un lago.

ANDESITICO: De origen volcánico, compuesto por rocas andesíticas las cuales son ácidas.

EUTROFICACIÓN: Proceso natural de sucesión ecológica, la cual se presenta de manera especial, cuando hay aumento de elementos como el nitrógeno y fósforo en una columna de agua.

FENOLFTALEÍNA: compuesto químico incoloro utilizado como indicador de pH el cual se torna de color rojo- violeta en presencia de sustancias alcalinas.

FICOLOÍA: Estudio de las comunidades algares

FITOPLANCTON: Comunidad de algas adaptadas a vivir en suspensión, en cuerpos de agua de movimiento preferiblemente pasivo.

FLORACIÓN: en términos de fitoplancton se denomina floración o afloración a las masas excesivas de algas este fenómeno también es conocido como Blooms.

HUMEDAD: La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. La humedad relativa se expresa como el porcentaje de la cantidad total de vapor de agua que el aire podría contener a una temperatura concreta.

OROGRÁFICO: Pertenece al conjunto de procesos de formación de las cordilleras. Más en concreto, génesis de estructuras de plegamiento y de fractura, localizados a lo largo de franjas que corresponden a la zona de convergencia de las placas.

PERIFITON: Comunidades adheridas a sustratos rocosos, vegetales u otros materiales presentes en los cuerpos de agua.

PIROCLASTOS: Fragmentos que caen en estado sólido en zonas próximas a los volcanes y que incluyen cenizas, lapilli y bombas volcánicas.

POTENCIOMÉTRICO: Métodos encaminados a determinar el potencial Hidrogeno (pH) de una sustancia y se aplican por extensión, a la determinación de otros parámetros, basándose en potenciales eléctricos.

SOBRENADANTE: Partículas que se encuentran en las primeras capas de agua.

TICOPLANCTÓNICO: Organismos parcialmente planctónicos, o sea aquellos que simplemente están posados sobre el fondo o sobre otros organismos.

INTRODUCCIÓN

Las aguas epicontinentales albergan una amplia variedad de formas de vida, tanto en las áreas de aguas abiertas como en las zonas de sedimentos. Cada ecosistema acuático posee un conjunto de organismos, agrupados en poblaciones y comunidades, cuya variedad, abundancia, distribución le son propias y dependen de la capacidad adaptativa a factores abióticos (temperatura, luz, oxígeno disuelto, concentraciones de nutrientes, entre otros.) y bióticos (depredadores, parásitos, competencia, etc.).

La comunidad ficológica se constituye en una de las más importantes, pues es la responsable de la productividad primaria en estos ecosistemas. Esta comunidad transforma la energía lumínica y los materiales, esencialmente inorgánicos como el dióxido de carbono, nitrógeno, fósforo en otras formas energéticas, con la consecuente liberación de oxígeno, contribuyendo así con la riqueza trófica de un lago y por ende, la riqueza biológica de estos ecosistemas.

Esta se distribuye en los lagos y otras masas de aguas continentales básicamente de dos maneras: formando extensas floraciones adheridas a los sedimentos u otros componentes como rocas o la vegetación, conformando así la comunidad perifítica, o presentándose de manera libre y suspendida en la masa de agua, conformando la comunidad conocida como el fitoplancton. Ambas comunidades juegan un papel esencial en el funcionamiento y evolución biológica del ecosistema. Las comunidades perifíticas y fitoplanctónicas están conformadas por una gran diversidad de algas de tamaño variable, el cual puede se puede presentar a partir de unas pocas micras a unos pocos milímetros o incluso formar densos crecimientos de varios metros de longitud; por una gran variedad formas y por poseer amplias capacidades metabólicas, que convierten a los ecosistemas acuáticos en zonas de alta productividad trófica.

Adicionalmente, factores y características ambientales de nuestros ecosistemas, tales como la localización geográfica, la climatología, la geología y las intervenciones antrópicas, hacen que los ecosistemas acuáticos presenten cierta singularidad y se conforme una gran diversidad, que no solo se refiere a formas o especies, sino que también implica múltiples interrelaciones biológicas, otorgando gran complejidad a nuestra biota.

En nuestro país, existe una gran variedad de cuerpos de agua dulce, destacándose entre ellos, los de origen volcánico, que han sido poco estudiados y por lo tanto, se desconoce su aporte a los ecosistemas regionales. La zona estudiada en el presente proyecto, la laguna “Aguas Tibias” (Coconuco –Puracé, Cauca) presenta características que la hacen singular por su origen volcánico, sometida a condiciones que permitirían clasificarla como un ecosistema forzado.

1. OBJETIVOS

La presente propuesta busca establecer las características físico químicas y biológicas de la laguna “Aguas Tibias”, localizada en el corregimiento de Coconuco, municipio de Puracé, Departamento del Cauca.

Algunas preguntas que surgen al plantear la investigación son:

- ¿Cuáles son las características físicas y químicas del agua de la laguna?
- ¿Cómo están compuestas de las comunidades productoras y los niveles de producción en dicho ecosistema acuático?
- ¿Cuáles son y como varían los niveles de productividad primaria, basada en la estimación de la clorofila *a*?

Para tales efectos, se propusieron los siguientes objetivos:

1.1. General

Adelantar el estudio limnológico preliminar de la laguna “Aguas tibias”, a partir de la determinación de la composición de las comunidades productoras, del contenido de clorofila *a* y de las características físico químicas hídricas.

1.2. Específicos

1.2.1. Establecer la composición de las comunidades productoras mediante la identificación y cuantificación de los géneros predominantes de algas planctónicas y perifíticas.

1.2.2. Determinar los niveles de productividad primaria con base en la determinación de las clorofilas.

1.2.3. Determinar las características físico químicas hídricas.

El logro de estos objetivos de estudio nos permitirá aportar al conocimiento de ecosistemas acuáticos alto andinos y avanzar en la consecución de elementos y criterios de análisis para la formulación de planes de uso y manejo racional de los ecosistemas.

2. JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas acuáticos Colombianos han sido poco estudiados y los que se encuentran son muy recientes. Se destaca la ausencia de estudios en lagunas formadas por aguas termales de origen volcánico, las cuales representan un importante recurso natural. Por esta razón, se adelantó el presente estudio, a manera de una caracterización preliminar, de una laguna de origen artificial de alta montaña, que es alimentada por aguas provenientes de manantiales asociados al volcán Puracé las cuales presentan grandes floraciones de algas, se caracteriza por su temperatura relativamente alta, constante y la elevada concentración de iones. Se pretende entonces aportar al conocimiento limnológico de este tipo de ecosistemas acuáticos, a la diversidad ficológica del país y su aporte a las características tróficas de los ecosistemas acuáticos continentales.

3. ANTECEDENTES

A diferencia de las investigaciones realizadas a nivel mundial, las cuales se encuentran profusamente mencionadas en los textos básicos clásicos de la limnología, como el de Robert Wetzel (Estados Unidos. 1983), el de Ramón Margalef (España. 1981) o el de Francisco Asís de Estévez (Brasil.1984), así como en las numerosas revistas especializadas de circulación internacional (por ejemplo: Limnología y Oceanografía y Ficología para mencionar solo las de mayor trascendencia), los estudios limnológicos, especialmente aquellos referidos a la productividad primaria y caracterización de las comunidades productoras son de reciente aparición y desarrollo en Colombia, destacándose publicaciones y trabajos inéditos realizados por investigadores, especialmente en las Universidades de Antioquia, Nacional, Javeriana y Cauca.

Es importante mencionar las investigaciones realizadas en la década de los 80's por el Grupo de Trabajo de la Universidad de Antioquia, en los embalses localizados en el Departamento de Antioquia, por ejemplo el realizado en la represa de El Peñol¹, que permitieron conocer algunos de los elementos estructurales y funcionales de ecosistemas acuáticos Colombianos e incrementaron el interés de otros investigadores, particularmente en la Universidad del Cauca. Este Grupo de Trabajo, encabezado por el Doctor Gabriel Roldán, puede considerarse como el impulsador y promotor de los estudios limnológicos en Colombia. Se destaca igualmente, las investigaciones realizadas por Donato y Duque^{2 3}, cuyos resultados comenzaron a publicarse básicamente desde los finales de la década de los 80's.

¹ ROLDAN, G., G. CORREA, T. MACHADO, L. F. VELÁSQUEZ y F. ZULUAGA. 1984. Estudio limnológico de la represa de El Peñol. Medellín, Revista Actualidades Biológicas, Vol. 13, No. 50.

² DUQUE, S. y J. C. DONATO. 1988. Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania.

³ DONATO, J.C. 1.991. Fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. Caldasia, Vol. 16 (79), 489-500.

La revisión de la documentación recopilada por el Grupo de Trabajo en Recursos Hidrobiológicos Continentales de la Universidad del Cauca, permite establecer que la gran mayoría de los trabajos se han centrado en la caracterización físico química hídrica y en la identificación y cuantificación de las comunidades de algas planctónicas y perifíticas de los ecosistemas estudiados (río, embalses y ciénagas). Son muy escasas las investigaciones en la caracterización de la productividad primaria, encontrándose algunos trabajos de Hernández y Márquez (1991)⁴ y Naundorf y colaboradores (1994)⁵.

Adicionalmente, no existen muchos trabajos en lagunas de alta montaña, resaltándose los aportes de Donato⁶ y no se pudieron detectar estudios en Colombia para ecosistemas como la que se pretende investigar, cuyo origen es de tipo volcánico, con condiciones físico químicas hídricas que podrían considerarse extremas por las altas concentraciones de iones, tal como se menciona mas adelante. Igualmente, se realizaron consultas en bases de datos bibliográficos, las cuales resultaron infructuosas en cuanto a estudios en este tipo de lagunas para la parte sur del continente Americano.

Se pretendió entonces, realizar un estudio para el área propuesta, con el fin de establecer la condición actual del ecosistema de manera preliminar, con el fin de aportar elementos para el conocimiento de este importante ecosistema de alta montaña, y que el mismo aporte información sobre el ecosistema del Macizo Colombiano.

⁴ HERNÁNDEZ, C.A. y G. E. MARQUEZ. 1991. Producción primaria en el ecosistema. Ciénaga Grande de Santa Marta, Laguna costera del caribe colombiano. Bogotá: Trianea (Act. Cient. Tecn INDERENA), 4: 385-407.

⁵ NAUNDORF, G. G. L. VÁSQUEZ y H. ZAMORA. 1994. Determinación de la productividad primaria en el embalse de La Salvajina, como un parámetro para la evaluación y seguimiento de la calidad del agua. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, Vol. 8, No. 2: 7-19.

⁶ DONATO RONDÓN, J. C. 2.001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras, No. 19.

4. ALCANCE

Contribuir al conocimiento de los ecosistemas acuáticos, lénticos, alto andinos; los cuales han sido poco estudiados en la región, más aun si se tiene en cuenta que el ecosistema en cuestión es de aguas termales.

Con los resultados de este estudio, se aportaran elementos de análisis para la formulación de planes de uso y manejo racional del ecosistema, teniendo en cuenta la identificación de los parámetros Físico – Químicos y Biológicos, especialmente los que nos permiten identificar la capacidad de porte basada en la productividad primaria del mismo y los posibles usos antrópicos.

5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE TRABAJO

5.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El municipio de Puracé– Coconuco pertenece a la zona centro del departamento del Cauca; el cual se encuentra ubicado al Suroccidente del país. Ver mapa 1.

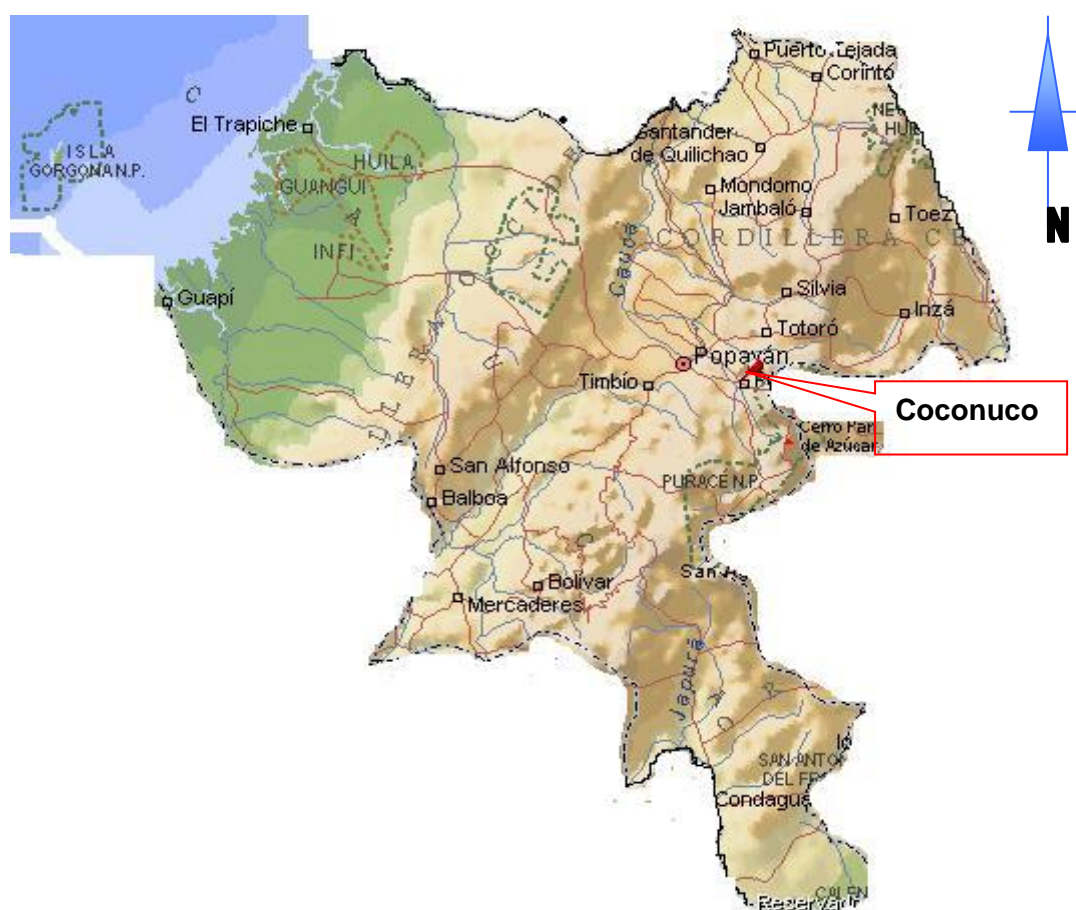
Mapa 1 Ubicación del departamento del Cauca, en el territorio Colombiano.



Fuente, Atlas Mundial Encarta; Microsoft 1996.

La cabecera municipal, Coconuco se encuentra a 26 Km. de la ciudad de Popayán, capital del departamento y sus coordenadas geográficas son 2°20'28" latitud Norte y a 76°30' 39" longitud Oeste del Meridiano de Greenwich; sus coordenadas planas son 750.339 M N y 1003.405 M E. Su extensión es de 707Km² los cuales se encuentran divididos en 540 Km² de Clima de páramo y 167 Km² de clima frío.⁷ Ver mapa 2

Mapa 2. Ubicación del municipio de Coconuco – Puracé, en el departamento del Cauca



Fuente, Atlas Mundial Encarta; Microsoft 1996.

⁷ INSTITUTO GEOGRÁFICO “AGUSTÍN CODAZZI” – IGAC.

El municipio se encuentra a 2.360 m.s.n.m, las precipitaciones anuales están entre los 1600 y los 2.500 mm³. Por pertenecer a la cordillera Central del país, nos encontramos con un territorio de relieve montañoso con accidentes orográficos pertenecientes a la serranía de los Coconucos la cual se aya ubicada en los limites con el departamento del Huila a 4.235 m.s.n.m; El volcán Puracé (4.445 m.s.n.m,; pertenece a esta serranía y proporciona fuentes termales a la región.⁸

La laguna de “Aguas Tibias” tiene su origen en una fuente de aguas termales provenientes del volcán Puracé. Se localiza a 02° 18’ 38” Latitud Norte y 76° 30’ 75” Longitud Oeste, a una altitud de 2.650 m.s.n.m y al nor-occidente a 12,6 Km. del cráter del Volcán Puracé (Ver mapa 3). Desde la ciudad de Popayán se viaja hasta el corregimiento de Coconuco (22,7 Km.), desde allí se toma la vía hacia San José de Itsnos (Huila), y se avanzan 4.6 Km. hasta el sitio conocido como “Balneario Agua Tibia” a 0.5 Km., en los predios de la hacienda La Cascada (Ver mapa 4).

La laguna hace parte de un complejo turístico y es visitada frecuentemente, aunque no está permitido el ingreso de bañistas a ella, debido a las extensas floraciones de algas, que se constituyen en un factor de riesgo para los visitantes. (Ver Anexo Fotográfico, fotografías 1 y 2)

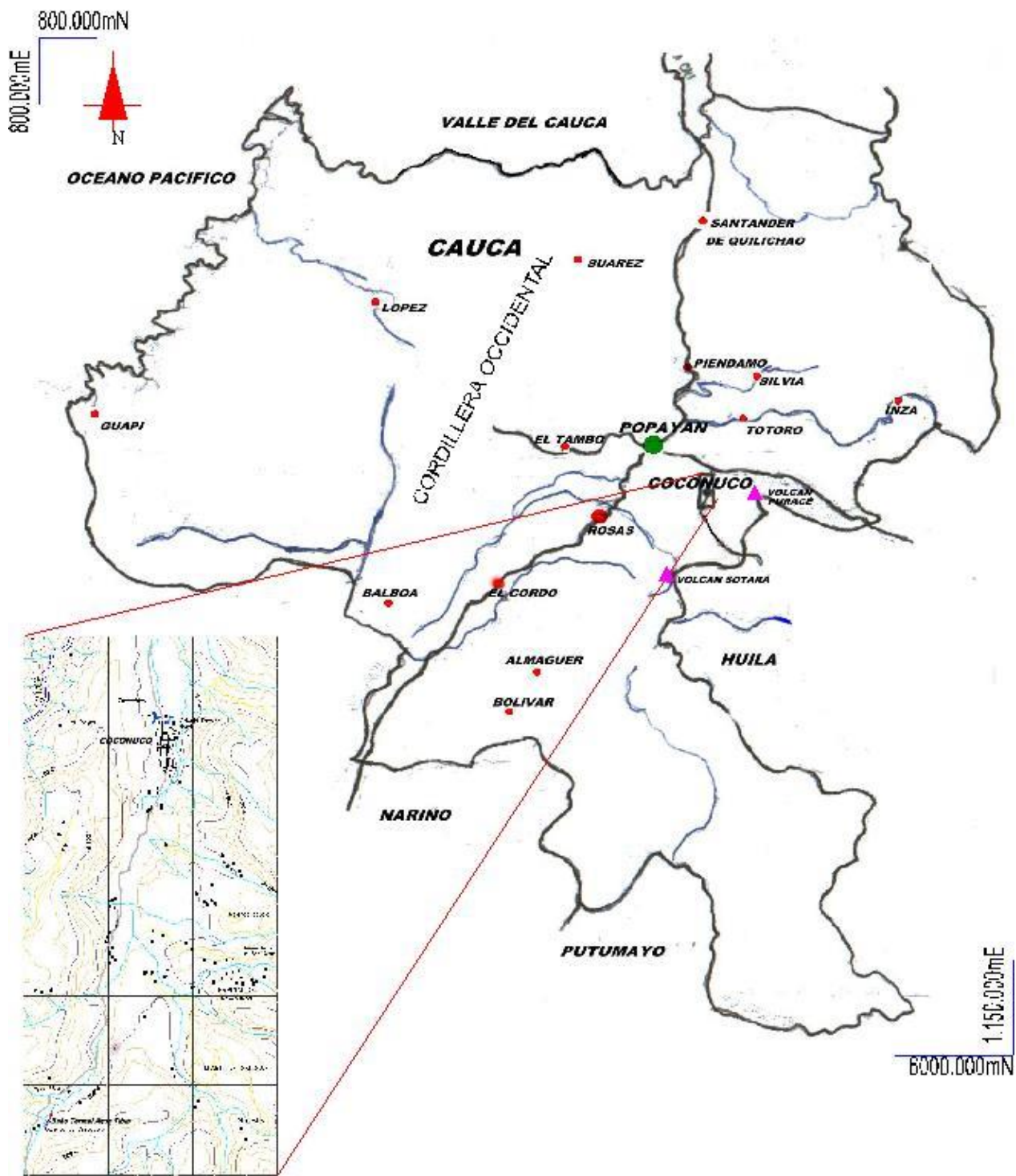
5.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

Como se indicó, la laguna es alimentada por aguas provenientes del Volcán Puracé, el cual se encuentra activo, con una elevación de 4.650 m.s.n.m, localizado a 26 Km. sudeste de la ciudad de Popayán, Departamento del Cauca, sobre la Cordillera Central.

Hace parte de la cadena volcánica de Los Coconucos, compuesta por 15 centros eruptivos recientes, alineados, siendo el volcán Puracé el más joven de ellos y ubicado

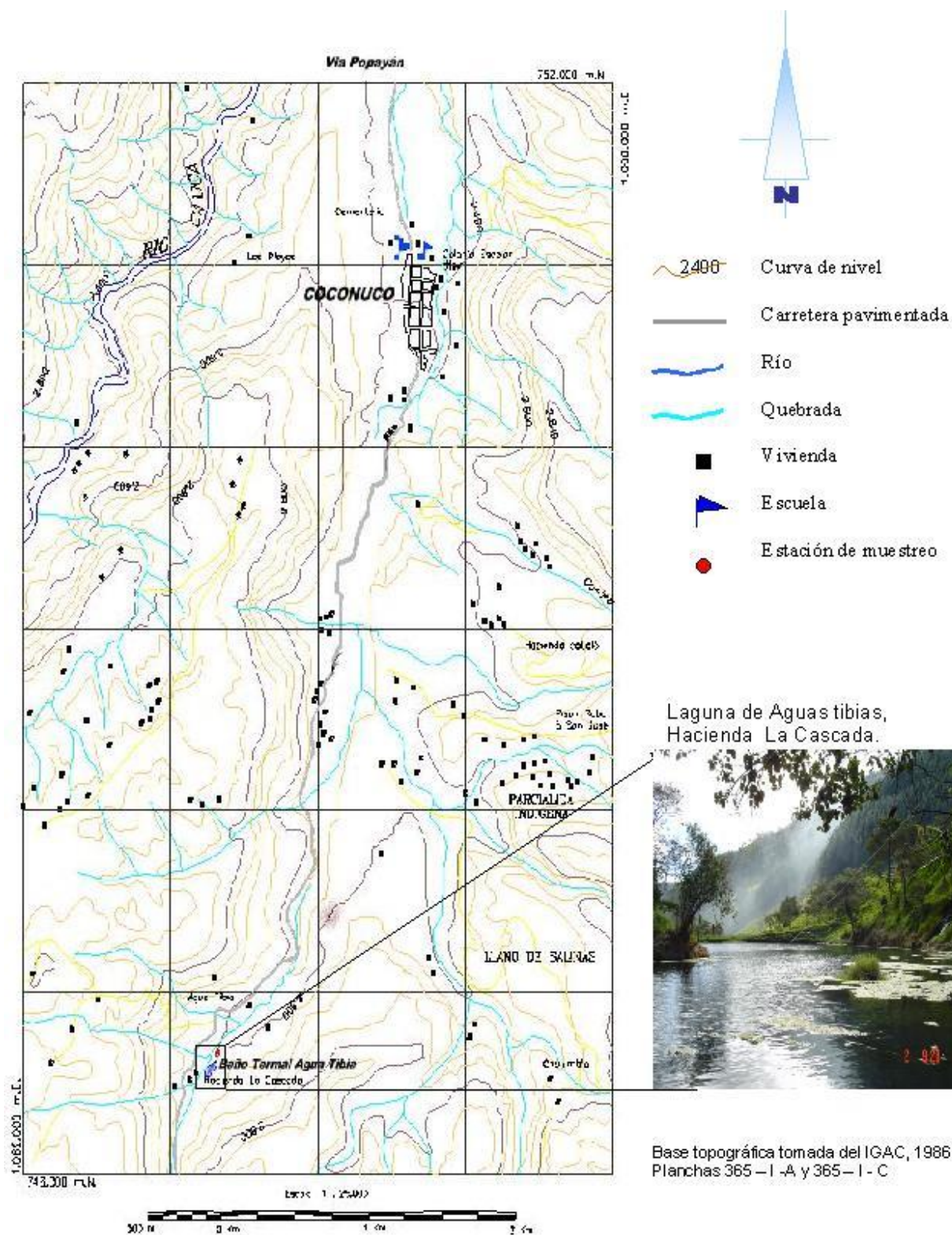
⁸ Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Puracé, CAUCA (P.O.T) 2002 - 2011

Mapa 3. Ubicación del municipio de Coconuco en el departamento del Cauca



Fuente Agustín Codazzi, Planchas 1A – 1C

Mapa 4. Ubicación de la zona de muestreo.



más al norte de la cadena. Presenta un cráter doble con una profundidad de 150 m de su cráter interno. Los productos asociados a este son lavas de composición andesítica y en su fase mas reciente, piroclastos de caída y de flujo⁹.

Actualmente el volcán Puracé se caracteriza por constante actividad fumarólica. Al rededor del volcán existe una intensa actividad de fuentes termales, con aproximadamente siete campos circundantes y 15 manantiales termales, las cuales presentan temperaturas ente los 24 y los 90 °C. Además, se presenta una continua actividad sísmica asociada al movimiento de fluidos de las paredes volcánicas. La fuente de Agua Tibia proviene de aguas profundas calentadas por un gradiente geotérmico (alta presión – alta temperatura)¹⁰.

El área del volcán se encuentra bajo vigilancia sismológica por parte del Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Mineroambiental y Nuclear –INGEOMINAS. Estudios realizados por investigadores de este Instituto indican que los manantiales asociados al volcán Puracé se caracterizan por tener una composición rica en sulfato y sulfuro y que el ecosistema se encuentra en equilibrio parcial con las rocas constitutivas del sistema volcánico¹¹. En estudios realizados por estudiantes de la Universidad del Cauca en convenio con INGEOMINAS¹², se han determinado datos como conductividad, pH, temperatura, y concentraciones de cationes (K^+ , Na^+ , Li^+ y Zn^{+2}) los cuales han permitido clasificar la laguna teniendo en cuenta la concentración de cationes, aniones, minerales no alterados y minerales en alteración; como una laguna de aguas cloruradas y sulfatadas parcialmente equilibradas.

⁹ GARZÓN, G., S.P. SALAZAR, D.Y. SERNA, L. BOBODILLA, L.E. LESMES, J.C. DIAGO Y J. MOJICA. 2002. Thermal springs at Colombian active volcanoes. INGEOMINAS, Bogotá, D.C.

¹⁰ Idem.

¹¹ Ibidem.

¹² SANCHEZ, I. y N. SAMBONÍ. 2.000. Incidencia de las concentraciones de los cationes y algunos parámetros físico químicos en aguas termales sobre la actividad volcánica del volcán Puracé, Departamento del Cauca. INGEOMINAS, Popayán.

Los estudios de Garzón (op.Cit⁹) y Colaboradores para los manantiales térmicos de la cadena volcánica de Los Coconucos, incluyendo la laguna de Agua Tibia, informan que los contenidos de sodio varían entre 76 y 290 mg/L, los de potasio entre 14 y 68 mg/L, Calcio entre 57 y 213 mg/L, magnesio entre 67 y 304 mg/L y aluminio entre 40 y 113 mg/L. Estas concentraciones determinan aguas duras y con alta conductividad. Las temperaturas fluctúan entre 24 y 46 °C, debido a la mezcla entre aguas frías y calientes facilitada por movimientos sísmicos.

5.3. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.

5.3.1 Climatología. El clima es el estado de la atmósfera de una región, registrado durante un largo período de tiempo. Se determina por la media de temperatura, precipitación, humedad e intensidad del viento. Son factores determinantes la elevación, latitud, vegetación, localización en un continente y proximidad a grandes masas de agua. En la zona del Neotropico, el clima es determinado por patrones orográficos, la altitud es un factor determinante en lo cálida o fría que puede ser una región y los factores físicos como la distribución de montañas, bosques, valles, glaciares y la pendiente, inciden sobre el clima regional o local.

La distribución del clima sobre la tierra, está determinado en buena medida por la circulación de las masa de aire; es así como el Municipio de Coconuco, se ve afectado por los fenómenos atmosféricos.

En esta zona el régimen de lluvias generalmente es bimodal¹³, con dos periodos de valores máximos y mínimos relativos, este tipo de distribución se encuentra influenciado por los desplazamientos de la Zona de Confluencia Intertropical (**ZCIT**). La (ZCIT) pasa generalmente dos veces al año por Colombia, entre los meses de Abril y Mayo cuando se desplaza hacia el norte, y entre los meses de Septiembre y Octubre cuando se dirige

¹³ Determinación de aguas. www.IDEAM.gov.co .

hacia el sur. En ambas ocasiones se producen los periodos de lluvia por tanto disminución de la radiación solar y descenso de la temperatura ambiental.

Debido al fuerte dominio que ejercen los vientos en la zona, la precipitación se ve disminuida a medida que aumenta la elevación sobre el nivel del mar. En la estación de Puracé ubicada a 2630 m.s.n.m, se registran precipitaciones de 2179mm, en Loma Redonda a 2.750 m.s.n.m de 2711.6mm y en el resguardo de Coconuco, área urbana a 2.800 m.s.n.m la precipitación es de 1813.5mm anuales (P.O.T. Op,cit).

Según el IDEAM, la distribución espacial de la precipitación media anual en la zona de Puracé- Coconuco presenta comportamientos variados que van desde los 1.200mm hasta los 2800mm. En cuanto a la distribución espacial, encontramos que se presenta una humedad relativa alta y la regularidad en las lluvias mensuales a lo largo del año.

No fue posible obtener datos de precipitación y humedad relativa específicos de la zona de estudio, por parte del IDEAM.

6. METODOLOGÍA

La limnología la podemos considerar como una ciencia subsidiaria de la ecología, referida a los estudios ambientales de los ecosistemas acuáticos epicontinentales. Tiene como característica una visión holística de estos ecosistemas, como “entidades biológicas”, es decir como si fueran autónomas o separadas, pero también como unidades interdependientes con otros sistemas, incluyendo los terrestres y su relación con las cuencas hidrográficas. Desde esta perspectiva, un estudio limnológico comprende varios aspectos: físico - química hídrica, productividad primaria, productividad secundaria, biodiversidad, interrelaciones ambientales, impacto y gestión ambiental, entre otros.

Una buena parte de los conocimientos limnológicos se han derivado del estudio de ecosistemas lacustres – lagos, lagunas, ciénagas y embalses – . Estos son el prototipo de ecosistemas acuáticos epicontinentales, los cuales admiten muchos tipos de clasificación, su origen puede ser un buen criterio para clasificarlos, ya que esto determina algunas de sus propiedades generales. Este origen influye sobre las características del ecosistema como lo son la forma y dimensiones del mismo, la calidad de las aguas (volcánicas, cásticos, salobres) y su capacidad productiva.

Dentro de la clasificación limnológica para los ecosistemas nos encontramos con un grupo en particular que es el de los ecosistemas forzados o en condiciones extremas, estos son sistemas complejos que ya no son gobernados por sus leyes internas, sino que son forzados por agentes externos. Su respuesta es modificar su funcionamiento, tratando de minimizar las consecuencias de tal tensión. Con frecuencia se hace referencia a tensión o estrés en relación con los valores extremos de ciertas variables ambientales, como lo son altas temperaturas y concentraciones de minerales no habituales.

Una reacción típica de un sistema léntico en condiciones extremas, son la sobre producción de organismos productores para tratar de digerir las descargas orgánicas a la que se ven sometidas sus aguas. Este tipo de descargas orgánicas pueden ser provenientes de la contaminación, o de estratos enriquecidos con minerales, o de fuentes termales, las cuales son ricas en compuestos sulfatados, carbónicos, clorados y en algunos casos ferrosos.

Este trabajo es un estudio preliminar, de tipo descriptivo de las características limnológicas de un ecosistema de este tipo y que se trata de una laguna alimentada por fuentes termales, la laguna "Aguas Tibias", el cual está sujeto a los parámetros existentes para la medición y clasificación de ecosistemas lénticos altoandinos; ya que no se encontró bibliografía sobre las características, comportamiento y manejo de lagunas de origen volcánico o sometidos a condiciones extremas.

Surge entonces la necesidad de realizar más estudios que nos permitan establecer parámetros o métodos para el análisis concreto de este tipo de ecosistemas.

6.1 SITIOS DE MUESTREO.

Dadas las características morfológicas y morfométricas de la laguna y su tamaño relativamente pequeño (97m largo x 30m ancho), los muestreos se realizaron en sitios diferentes escogidos al azar, integrando muestras para los análisis biológicos y físico-químico hídricos. Se consideraron muestras en áreas cercanas al afluente (sitio 1), hacia el extremo nororiental y el efluente (sitio 2), hacia el extremo sur occidental (Ver Anexo Fotográfico, fotografías 3-5). Dada la uniformidad en el fondo del ecosistema, la poca profundidad, máxima de 2m, que determina que toda la columna de agua esté iluminada, y la constancia en los datos obtenidos, no se diferenciaron las muestras entre superficie y profundidad.

El trabajo de campo se realizó entre Marzo y Octubre del año 2.003, efectuándose diez muestreos, con intervalos de veinte días entre cada uno; las condiciones climáticas tuvieron un comportamiento estable durante el periodo de estudio, de tal manera que no se diferenció un periodo de lluvias o verano.

6.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA HÍDRICA:

Se realizaron análisis físico - químicos hídricos, empleando diversos métodos estándar, colorimétricos y potenciométricos¹⁴. Para tales efectos, se tomaron muestras integradas de la columna de agua utilizando el muestreador Kemmerer, con base en las recomendaciones que propone el. Para la medición de oxígeno se empleó un oxímetro Schott Gerate CG867. En la medición del pH, se utilizó un pH-metro Schott Gerate CG727. La temperatura, la conductividad y la salinidad se determinaron con un aparato YSI 33 sct-meter. La zona fótica se estableció mediante el disco Secchi¹⁵. Para establecer las variaciones en la penetración lumínica, se utilizó un luxómetro PHYWE, modelo 07024.00

Los análisis químicos se realizaron con base en los métodos Aquamerck, Spectroquant y Aquaquant de Merck, empleando un espectrofotómetro SQ 118 de alta precisión. Los parámetros básicos analizados fueron: acidez total, alcalinidad total, dureza total, dureza carbonácea, nitrógeno amoniacal (método 147520 Spectroquant), nitratos (método 145569 Spectroquant), nitritos (método 147760 Spectroquant), fosfato (método, 14729 Spectroquant) y sulfatos. La determinación del CO₂ disuelto se realizó mediante el método estándar de titulación con hidróxido de sodio, empleando fenolftaleína como indicador.

¹⁴ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION -APHA. 1985. 15th Ed. Washington, D. C.: APHA

¹⁵ HENAO DE URIBE, A. M. 1987. El disco Secchi y el estado trófico. Medellín: Revista AINSA, No. 12, Enero/Junio.

6.3 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA:

6.3.1. Determinación de la productividad primaria con base en la determinación de la clorofila *a*.

La productividad se define como la tasa de formación de materia orgánica por unidad de volumen y tiempo. La producción es el peso de nueva materia orgánica en un período de tiempo y se refiere al incremento de biomasa observado por un período de tiempo, ajustada por las pérdidas tales como respiración, excreción, secreción, muerte y depredación. La productividad está basada en la fotosíntesis, el cual se considera como el proceso esencial del desarrollo de la vida en el planeta tierra. La productividad puede afectarse por diversos factores, entre los que puede mencionarse, la alteración de las características físicas y químicas del agua por fenómenos como la eutroficación.

La clorofila *a* es el pigmento fotosintético primario y está presente en todas las algas. La determinación de clorofila provee un estimativo de la productividad primaria de un ecosistema y puede ser utilizada además en la determinación de la calidad de aguas.

La clorofila *a* se determinó mediante el método estándar tricromático A.P.H.A. Para establecer la clorofila *a* de la comunidad fitoplanctónica, se filtraron 100 litros de agua provenientes de diversas profundidades en una red de plancton de 24 μm . El material obtenido se vertió a un recipiente plástico de 1 litro de capacidad y se preservó mediante refrigeración para su traslado al laboratorio. Para la determinar la clorofila *a* presente en la comunidad perifítica, se extrajeron de la laguna porciones de las floraciones de algas en cantidad aproximada de 5 gramos, las cuales se trasladaron refrigeradas en recipientes de plástico al laboratorio para los análisis respectivos.

Para determinarlas cantidades de clorofila proveniente de la comunidad fitoplanctónica, se realizó filtración al vacío en filtros de membrana Millipore de 47 mm de diámetro y

0.45 μm de diámetro de poro. Una vez filtrada la muestra, el filtro se colocó en tubos de centrifuga y se adicionarán 10 mL de acetona al 90%. Para la comunidad perifítica, el material fresco se resuspendió en la acetona al 90%. La extracción del pigmento se realizó dejando el material durante dos horas en el solvente. Una vez culminado este tiempo, se realizó una centrifugación para separación del material a 3.000 r.p.m. El sobrenadante obtenido se transfirió a la celda espectrofotométrica para determinar la absorbancia de la muestra a 750, 664, 647 y 630 nm.

Las concentraciones de las clorofilas *a*, *b* y *c*, expresadas en mg/L se determinaron con base en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila } a = 11.85 (e664) - 1.54 (e647) - 0.08 (e630)$$

$$\text{Clorofila } b = 21.03 (e647) - 5.43 (e664) - 2.66 (e630)$$

$$\text{Clorofila } c = 24.52 (e630) - 7.60 (e647) - 1.67 (e664)$$

Donde:

$$e664 = A664 \text{ nm} - A750 \text{ nm}$$

$$e647 = A647 \text{ nm} - A750 \text{ nm}$$

$$e630 = A630 \text{ nm} - A750 \text{ nm}$$

Una vez efectuadas las determinaciones iniciales, los valores se transforman a mg/m^3 .

Para establecer el contenido de clorofilas en la comunidad perifítica, se tomaron 10 gramos de la muestra colectada, y la muestra se proceso mediante el método reseñado anteriormente.

Con los datos obtenidos para clorofila *a*, se estimó la biomasa multiplicando el valor de la clorofila *a* por el factor 67, como se recomienda en los métodos estándar. Finalmente, se estableció el Índice del Estado Trófico (IET) según Carlson¹⁶ aplicando la ecuación:

$$\text{IET} = 10 \times 6 - \frac{2.04 - 0.68 \text{ Ln (Chl)}}{\text{Ln } 2}$$

Donde:

Chl = clorofila *a* (mg/m³)

Ln = Logaritmo natural:

El IET es un número entre 0 y 100. Se considera que un ecosistema es oligotrófico cuando el IET es menor de 40; mesotrófico si se encuentra entre 40 y 50 y eutrófico si es mayor de 50.

El valor calculado nos permitirá establecer comparaciones entre los ecosistemas estudiados.

6.3.2. Determinación de la composición de las comunidades productoras.

Es de gran interés para la ecología saber como se organizan los organismos y como cambian las especies y número de individuos en un área en particular. Cuando se establecen esas comparaciones aparecen ciertas regularidades entre las relaciones de los números de distintas especies, esto es de gran importancia en la descripción de estas comunidades.

¹⁶ CARLSON, R.E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*.

Estas relaciones, así como los cambios que ocurren al interior de una comunidad han conducido a los ecólogos a desarrollar métodos para su medición. El problema de la cuantificación se ha realizado generalmente desde dos puntos de vista: a) basados en la estructura de la comunidad y b) basados en organismos indicadores. En el primer caso, fundamentalmente se busca la abundancia numérica de cada especie en la comunidad. En este caso, se puede realizar un ordenamiento de la comunidad de acuerdo a similitudes o establecer los índices de estructura de la comunidad.

El número de especies y sus abundancias relativas se expresan en ecología como diversidad, la cual se podría definir simplemente como el estado de la variedad o diferenciación entre los miembros de una comunidad. El término se aplica generalmente a diversidad de especies, que generalmente se mide por el número de especies en una comunidad y sus abundancias relativas. Odum¹⁷ define la diversidad como la relación entre el número de especies y su valor de importancia en el ecosistema. Esta definición se acomoda fundamentalmente a explicar los índices de diversidad. El valor de importancia está dado por la abundancia, dominancia o carencia de factores tales como biomasa, productividad, número de individuos, etc.

Las comunidades biológicas usualmente contienen pocas especies con muchos individuos y muchas especies con pocos individuos. Esta relación se puede representar gráficamente de una manera fácil originando la curva normal de estructura de la comunidad. Las variaciones en dicha curva permiten la identificación rápida de los cambios que se producen en los ecosistemas y es de gran ayuda en los estudios ecológicos y limnológicos.

El presente trabajo pretende establecer la composición de las comunidades productoras a partir de la identificación y cuantificación de los organismos, a nivel de género. Para tales efectos se desarrollaron las siguientes actividades:

¹⁷ ODUM, E. P. 1985. Fundamentos de Ecología. México: Editorial Interamericana.

6.3.2.1. Colecta de organismos planctónicos.

Para tales efectos, se filtraron 100 litros de muestra de agua de la laguna tomados a diversas profundidades y sitios, empleando una red de plancton arrojadiza de 24 μm .

El material colectado se resuspendió en proporción 1:1 con solución de Transeau o solución 6:3:1. Las muestras se rotularon y trasladaron al laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca para su identificación, cuantificación y registro fotográfico.

6.3.2.2. Colecta de organismos perifíticos.

Se establecieron parcelas de 1 m^2 , de las cuales se extrajo todo el crecimiento de algas contenido en esa área. El material obtenido se preservó en solución de Transeau y se traslado al laboratorio para posterior identificación y cuantificación.

6.3.2.3. Conteo de organismos.

Para el conteo de los organismos, se empleó el método estándar de los transectos o gota de Lackey. Para tal efecto, 0.1 mL de la muestra se transfirió a un porta objetos y se cubrió con un cubreobjetos de área determinada. Se contaron los organismos en 80 campos de observación diferentes, establecidos mediante cuatro líneas de observación y en 20 campos microscópicos por cada línea.

El cálculo final de los organismos por mililitro se hizo con base en la fórmula:

$$\text{Organismos/mL} = \frac{C \times A}{A_s \times S \times V}$$

Donde:

C = Número de organismos contados

S = Número de líneas contadas

V = Volumen de la muestra bajo el cubre objetos, en mL

A_t = Area del cubre objetos, en mm

A_s = Area de cada línea de observación

6.3.2.4. Identificación de los organismos.

La identificación se hizo hasta el nivel de género empleando diversas claves taxonómicas ^{18 19 20 21 22 23 24 25 26} las cuales han sido desarrolladas por investigadores en otros países y regiones y que se han venido aplicando en Colombia y el departamento del Cauca en diversos estudios con buenos resultados.

6.3.2.5. Cálculo del índice de Diversidad: Con la información sobre los géneros presentes y el número de individuos por género para la comunidad fitoplanctónica, se calculó el índice de diversidad, con base en la fórmula propuesta por Shannon-Weaver (1963):

¹⁸ BICUDO, C.E. y R.M. Bicudo. 1970. Algas de aguas continentais brasileiras. Fundação Brasileira para o desenvolvimento de Ensino de Ciencias, Sao Paulo.

¹⁹ BLANCO, L. y SANCHEZ, L. 1984. Contribución al estudio taxonómico de las diatomeas del Orinoco medio, Bajo Caroni y algunas lagunas de inundación (Venezuela). San Félix: Fundación La Salle de Ciencias Naturales

²⁰ HINO, K. y J. TUNDISI. 1984. Atlas de algas da represa do Broa. Sao Carlos: Universidade Federal de Sao Carlos

²¹ MORGAN SMITH, G. 1920. Wisconsin Geological and Natural History Survey. Bulletin No. 57.

²² NEEDHAM, J. G. y P. R. Needham. 1982. Guía para el estudio de los seres de las aguas dulces. Barcelona: Editorial Reverté, S. A

²³ PRESCOTT, G.W. 1984. How to know the freshwater algae. 7th Ed. Wm C. Brown Company Publishers, Dubuque, IW, USA

²⁴ RAMIREZ, J.J. 2000. Fitoplancton de agua dulce. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. ⁷ TELL, G. y V. CONFORTI. 1986. Bibliotheca Phycologica: Euglenophytas pigmentadas de la Argentina. Stuttgart: J. Cramer.

²⁵ TELL, G. y V. CONFORTI. 1986. Bibliotheca Phycologica: Euglenophytas pigmentadas de la Argentina. Stuttgart: J. Cramer.

²⁶ BOL, H. and M. Wayne. 1985. Introdúccthión to the algae. 2nd Ed. Prentie-Hall Inc. Englewoods Cliffs, N.J

$$ID = - \sum (n_i/N) * \ln(n_i/N)$$

Donde:

ID = Índice de diversidad

n_i = Número de organismos contados por género

N = Número total de organismos contados

Ln = Logaritmo natural

El índice de diversidad derivado mediante esta fórmula, es un número entre 0 y 5, el cual se interpreta de la siguiente manera:

0.0- 0.9 Baja diversidad

1.0 - 2.9 Mediana diversidad

3.0 - 5.0 Alta diversidad

7. RESULTADOS OBTENIDOS

7.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA HÍDRICA

La tabla 1 muestra los valores obtenidos para los diversos parámetros físicos y químicos analizados. Se observa un ecosistema con una gran estabilidad en los diversos factores analizados a lo largo de los muestreos realizados.

Los resultados obtenidos indican condiciones limnológicas muy particulares del ecosistema, con valores contrastantes con la ubicación geográfica y altitudinal del sistema. Se destacan los valores de la temperatura del agua, 27 - 27,5 °C, permaneciendo constante a lo largo del tiempo de estudio, los cuales son altos, considerando que se trata de un ecosistema alto andino, localizado a 2.600 m.s.n.m. Este resultado se explica por la procedencia volcánica del agua.

La conductividad se presentó con valores que oscilaron entre 790 y 900 $\mu\text{mhos/cm}$, debido a la alta concentración de iones provenientes de los acuíferos volcánicos. Esta concentración de iones determina consecuentemente, la salinidad detectada en el sistema, la cual osciló entre 0,1 y 0,4 %. Los datos obtenidos son concordantes con los estudios realizados por Garzón y colaboradores (2.002 Op,cit), los cuales reportan altas concentraciones de cloruros, sodio, potasio, calcio y magnesio en la laguna.

El oxígeno disuelto presenta valores relativamente altos para la zona de estudio, pero los resultados pueden explicarse en la actividad fotosintética de las extensas floraciones de algas observadas en la laguna, además de la aireación que se presenta por efectos de la disposición del afluente y los vientos prácticamente permanentes en la zona, que ocasionan movimientos y circulaciones en la columna de agua.

En cuanto al pH se detectaron aguas de tendencia alcalina, con valores que oscilan entre las 8,0 y 8,6 unidades de pH. Los valores de gas carbónico disuelto oscilaron entre 5,0 y 8,7 mg/l. Recordemos que el CO₂ reacciona con el agua formando ácido carbónico, el cual se disocia en sus formas iónicas de carbonato y bicarbonato, dependiendo del pH y la temperatura del sistema. Dado que el pH de la laguna permaneció alrededor de 8,3 unidades pH, la forma principal del ión que se encuentra es HCO₃⁻, lo que facilita su reacción con otros iones presentes en el agua. Consecuentemente, los valores de alcalinidad 533 mgCaCO₃/L y de dureza total 101.551 mgCaCO₃/L son altos, indicando aguas duras. Como era de esperarse, la determinación de acidez arrojó valores de cero.

En cuanto al nitrógeno amoniacal, los análisis arrojaron valores de por debajo de los estándares detectados por el método utilizado en todos los muestreos. Teóricamente, habría de esperarse algunas cantidades de esta forma de nitrógeno, máxime si consideramos la abundancia de algas perifíticas y la riqueza trófica del sistema. Dadas las características de pH del agua y precisamente el gran florecimiento algal, este compuesto es sometido a una rápida recirculación por parte de la comunidad.

Los valores promedio de nitritos oscilaron entre 0,038 y 0.05 mg/L, los cuales se consideran en el rango normal para esta forma de nitrógeno. Los nitritos son rápidamente oxidados y rara vez se acumulan en los ecosistemas acuáticos, excepto cuando se presenta contaminación orgánica. Los nitratos presentaron valores promedio 1,49 mg/L. Los resultados obtenidos para el amonio y los nitratos, se asemejan a los de otros estudios realizados para zonas templadas específicamente, en los cuales se demostró que a medida que aumenta la capacidad productiva del ecosistema, la cual se refleja entre otros aspectos en floraciones abundante de algas, estos compuestos se reducen severamente en la porción trofogenica del sistema debido a la asimilación fotosintética de los mismos²⁷.

²⁷ WETZEL, R. 1983. Limnology. 2nd Edition. Saunders College Publishing. Philadelphia.

En cuanto a los fosfatos, los valores promedio oscilaron entre 0,96 y 1,4 mg/l, los cuales se consideran típicos para ecosistemas eutroficados con base en la clasificación propuesta por Wetzel (1.983, Op,cit). Esta concentración de fósforo permite el crecimiento abundante de algas, tal como se observa en el ecosistema estudiado.

Los valores promedio de sulfatos, que es la forma predominante de azufre disuelto en aguas y que se origina en la liberación de este elemento desde los sedimentos y las rocas y materiales presentes de la cuenca de drenaje, fueron de 75,6 mg/L para el sitio 1(zona del afluente) y 50,6 mg/l para el sitio 2(zona de efluente). Estos valores se consideran altos para ecosistemas acuáticos, pues los rangos usuales oscilan entre 5 y 30 mg/L, con un promedio de 10 mg/l (Wetzel, Op,cit). Pero teniendo en cuenta la naturaleza volcánica de las aguas se podría decir que estos valores son normales, (cabe mencionar que no existen parámetros para clasificar las cantidades de sulfatos presentes en aguas termales). Para este parámetro se observaron diferencias importantes entre los dos sitios referencia de muestreo. El valor promedio encontrado en la el sitio 1 pudo deberse al arrastre de los vientos que en todos los muestreos apuntaba asía esa zona y disminución observada en el sitio 2 (zona del efluente) puede explicarse parcialmente por el desagüe de la laguna, que arrastra este tipo de compuestos fuera del ecosistema.

Tabla 1. Valores obtenidos para los parámetros físico químicos hídricos en la laguna "Aguas Tibias".

Sitio 1 (Afluente)											
PARAMETROS	3/03/03	29/03/03	12/04/03	26/04/03	17/05/03	7/06/03	21/06/03	2/08/03	4/09/03	18/10/03	Promedio
Temperatura Ambiente (C°)	17	15	14	18	17	17	17	17	17	16	16.5
Transparencia (Disco Secchi) (Metros)	2.1	1.9	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.15	1.9	2.05
Salinidad (%)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.35	0.1	0.22
Conductividad (µmhos/cm)	900	800	800	900	820	900	900	800	810	810	844.00
Temperatura (C°)	27.5	27.5	27	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27	27.40
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8.7	8	8	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.8	6	8.30
Gas Carbónico Disuelto (mg/L)	5.5	7.5	7.5	5.5	5	5.5	5.5	5	5	7.5	5.95
pH (unidades)	8	8.2	8.3	8.2	8.4	8.2	8.2	8.5	8.4	8.1	8.25
Alcalinidad (mg CaCO3/L)	500	580	580	500	530	500	500	530	530	580	533.00
Acidez (mg CaCO3/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Dureza Carbonacea (mg CaCO3/L)	44.98	43.25	43.25	44.98	51.9	44.98	43.25	51.9	51.9	46.71	46.71
Dureza Total (mg CaCO3/L)	100.34	100.34	100.34	100.34	103.8	100.34	100.34	103.8	103.8	102.07	101.55
Amonio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Nitritos (mg/L)	0	0.18	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.04
Nitratos (mg/L)	2.1	0	0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1	0	1.49
Fósforos (mg/L)	2	0.2	0.3	2	2	2	2	2	2	0.2	1.47
Sulfatos (mg/L)	-	-	-	94.1	78.9	63.7	65.3	63.9	97.8	65.7	75.63

Sitio 2 (Efluente)											
PARAMETROS	8/03/03	29/03/03	12/04/03	26/04/03	17/05/03	7/06/03	21/06/03	2/08/03	4/09/03	18/10/03	Promedio
Transparencia (Disco Secchi) (Metros)	2	2	2	2	2	2	2	2	2.1	2	2.01
Salinidad (%)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.1	0.22
Conductividad (µmhos/cm)	880	790	790	880	820	880	880	810	810	800	834.00
Temperatura (C°)	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27.00
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8.7	7.4	7.8	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.8	5.5	8.17
Gas Carbónico Disuelto (mg/L)	4.5	7.5	7.5	5.5	5	4.5	4.5	5	5	7.5	5.65
pH (unidades)	8.3	8.3	8.3	8.2	8.6	8.3	8.3	8.6	8.6	8.3	8.38
Alcalinidad (mg CaCO3/L)	620	540	540	500	350	620	620	350	350	550	504.00
Acidez (mg CaCO3/L)	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.01
Dureza Carbonacea (mg CaCO3/L)	38.06	43.25	43.25	38.06	34.6	38.06	39.79	34.6	34.6	46.71	39.10
Dureza Total (mg CaCO3/L)	107.26	107.26	103.8	100.34	95.15	107.26	103.8	95.15	96.88	108.99	102.59
Amonio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Nitritos (mg/L)	0	0.18	0.17	0	0	0	0	0	0	0.15	0.05
Nitratos (mg/L)	2.2	0	0	2.1	2.1	2.2	2.2	2	2.1	0	1.49
Fósforos (mg/L)	1	0.2	0.2	2	2	1	1	1	1	0.2	0.96
Sulfatos (mg/L)	-	-	-	66.8	36.6	42.9	39.7	39.9	66.8	61.7	50.63

(-) Datos de sulfatos no tomados.

Tabla 2. Variaciones de la penetración lumínica, expresados en lux (x 100K), en relación con la profundidad en la laguna "Aguas Tibias"

PROFUNDIDAD	3/03/03	29/03/03	12/04/03	26/04/03	17/05/03	7/06/03	21/06/03	2/08/03	4/09/03	18/10/03	Promedio
Sitio 1 (Afluente)											
Superficie	18	9	8	18	18	12	18	20	18	10	14.9
1 metro	8	8	7	8	8	8	8	10	8	8	8.1
1,5 metros	5	5.1	4.9	5.4	5	5	5	6	5	5.1	5.15
2 metros	2	2	2	2.5	2	2	3	4	2	1.5	2.3
Sitio 2 (Desagüe)											
Superficie	20	18	17	22	20	20	20	20	20	18	19.5
1 metro	12	6.3	6.3	8	12	12	12	12	12	6.3	9.89
1,5 metros	6	2.4	2.4	4	6	6	6	6	6	2.4	4.72
2 metros	2	1	1	2.5	2.5	4	3.5	3	4	1	2.45

Finalmente, los valores de transparencia obtenidas gracias a la medición con el disco Secchi indican que la zona fótica se extiende a la totalidad de la columna de agua. No obstante, a un metro de profundidad existe una disminución cercana al 50% de la penetración lumínica y en la máxima profundidad de la laguna, la luz se ha reducido a un 12 a 15% del total de luz incidente (ver tabla 2). Este fenómeno se explica en las floraciones de algas, que impiden el paso de la luz plenamente, especialmente para el extremo sur occidental donde existe la mayor acumulación de algas debido al arrastre de los vientos predominantes en el sector.

En términos generales, se observa una gran estabilidad en los valores para los diversos parámetros físico - químicos estudiados, con registros completamente diferentes a los de otros ecosistemas lénticos de la zona de estudio. Los rangos encontrados para factores como la conductividad, alcalinidad, dureza y salinidad hacen pensar en un ecosistema en condiciones extremas. Sin embargo la estabilidad en la temperatura, la cual es alta para la zona de estudio, el pH, los altos contenidos de oxígeno y gas carbónico disuelto y la presencia de numerosos iones, favorecen el crecimiento de densas poblaciones de algas y una alta capacidad productiva al ecosistema.

7.2. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA

7.2.1. Determinación de la clorofila *a*.

La tabla 3 muestra los valores detectados para las clorofilas *a*, *b* y *c* en la laguna "Aguas Tibias".

Tabla 3. Valores calculados para las clorofilas *a*, *b* y *c* y la biomasa en la laguna “Aguas tibias”.

Fechas	Clorofilas					
	Sitio 1 (afluente)			Sitio 2 (efluente)		
	<i>a</i> mg/m ³	<i>b</i> mg/m ³	<i>c</i> mg/m ³	<i>a</i> mg/m ³	<i>b</i> mg/m ³	<i>c</i> mg/m ³
03/03/2003	440	160	30	540	280	380
29/03/2003	470	120	30	460	110	510
12/04/2003	600	110	40	540	280	370
26/04/2003	700	0	300	500	110	390
17/05/2003	600	360	380	700	150	200
07/06/2003	600	80	250	720	230	520
21/06/2003	860	0	340	600	360	380
02/08/2003	700	50	0	430	240	410
04/09/2003	600	370	380	670	150	200
18/10/2003	600	70	370	830	250	340
Promedio	620	130	190	600	220	370
Biomasa	41.540			40.200		

Para el sitio 1 (zona de afluente) de muestreo, los valores de clorofila *a* oscilaron entre 440 y 860 mg/m³, con un promedio de 620 mg/m³. Para la clorofila *b* se calculó un promedio de 130 mg/m³ (0 – 370 mg/m³), y para la clorofila *c* se calculó un promedio de 190 mg/m³ (0 – 380 mg/m³). Para el sitio 2 (zona efluente) de muestreo, los valores de clorofila *a* oscilaron entre 430 y 830 mg/m³, con un promedio de 600 mg/m³. Para la clorofila *b* se calculó un promedio de 220 mg/m³ (110 – 360 mg/m³), mientras que para la clorofila *c* se calculó en promedio de 370 mg/m³ (200 – 380 mg/m³).

De acuerdo con los contenidos de clorofila a detectados, la laguna se clasifica como un sistema eutrófico con base en las clasificaciones propuestas por Wetzel (1983 Op,cit), Walmsley²⁸ (1.984) y Margalef²⁹ (1.983).

La clorofila a fue el pigmento que se mostró con mayor volumen en la laguna, aspecto concordante con las amplias floraciones de algas detectadas, las cuales están conformadas por largos filamentos de algas verdes (Chlorophytas), tales como *Microspora*, *Oedogonium* y *Desmidium* entre otros (Ver Anexo Fotográfico, fotografías 6-8). Le sigue en contenido la clorofila c, la cual es más abundante en algas como las diatomeas (Chrysophytas), las cuales constituyen en el segundo grupo de algas más abundantes en el ecosistema y que en la mayoría de los casos, se encontraron como algas epifíticas, aunque era frecuente encontrarlas en la fase planctónica (algas ticoplanctónicas) (Ver Anexo Fotográfico, fotografías 9,10).

Como se indicó en la metodología, para las comunidades de algas perifíticas, correspondiente a las grandes floraciones detectadas en el ecosistema, se realizó un procedimiento adicional, para establecer el contenido de clorofilas en porciones de estas floraciones. La tabla 4 muestra los valores calculados para las clorofilas a, b y c, expresados en mg/m³, de la comunidad perifítica observada en la laguna.

²⁸ WALMSLEY, R.D. 1.984. Un sistema de clasificación del estado trófico en función de la clorofila a para embalses sudafricanos. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 13, No. 1:97-104.

²⁹ MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona.

Tabla 4. Valores calculados para las clorofilas *a*, *b* y *c* y la biomasa en la comunidad perifítica de la laguna “Aguas Tibias”.

Sitio 1	04-Sep		29-Sep		20-Oct		Promedio	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	Fresco	Seco	Fresco	Seco
<i>a</i>	22510	20510	22270	20520	22110	13920	22296,67	18316,67
<i>b</i>	8120	27480	6520	27740	8570	35620	7736,67	30280,00
<i>c</i>	3830	1580	4040	13340	3770	1520	3880,00	5480,00
Biomasa	1508170	1374170	1492090	1374840	1481370	932640	1493876,67	1227216,67

Sitio 2	04-Sep		29-Sep		20-Oct		Promedio	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	Fresco	Seco	Fresco	Seco
<i>a</i>	19980	20520	21080	20660	22270	14570	21110,00	18583,33
<i>b</i>	6740	27740	7010	25370	6600	29660	6783,33	27590,00
<i>c</i>	3040	13340	4700	16550	3300	21530	3680,00	17140,00
Biomasa	1508170		1492090		1481370		1414370,00	1245083,333

Para el sitio 1 (zona afluente), la clorofila *a* del material en fresco, varió entre 22.570 y 22.110 mg/m³, con un promedio de 22.296,67 mg/m³. La biomasa se calculó en 1.493.876,67 mg/m³. Para el material seco, se obtuvo un promedio de 18.316,67 mg/m³, con valores que oscilaron entre los 20.510 y 13.920 mg/m³. La biomasa se calculó en 1.227.216,67 mg/m³.

Para el sitio 2 (zona efluente), la clorofila *a* del material en fresco, varió entre 19.980' y 22.270 mg/m³, con un promedio de 21.110 mg/m³. La biomasa se calculó en 1.414.370 mg/m³. Para el material seco, se obtuvo un promedio de 18.583,33 mg/m³, con valores que oscilaron entre los 14.570 y 20.660 mg/m³. La biomasa se calculó en 1.245.083,33 mg/m³.

Los valores obtenidos son altos y los contenidos de las diferentes clorofilas corresponden con el tipo de algas observadas en las floraciones. Llama la atención el

incremento de la clorofila *b* cuando el material se procesa en seco, mientras que para las otras clorofilas los valores calculados son menores.

En el trabajo de campo se detectó que en algunas partes de la laguna se presentaba un crecimiento algas de características diferentes a las otras floraciones observadas. Esta comunidad era de menor tamaño, de disposición arbórea regularmente distribuida, su color aparente era verde grisáceo opaco y estaba separada de las otras floraciones observadas. Analizada esta comunidad, se encontró que corresponde al crecimiento del alga roja *Compsopogon*. (Ver Anexo Fotográfico, fotografías 11 –13) Para esta forma de crecimiento, o comunidad detectada, se realizó un análisis de clorofilas, encontrándose los valores indicados en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de clorofilas *a*, *b* y *c* (mg/m³) detectados en el florecimiento del alga roja *Compsopogon*

Clorofilas	04-Sep		29-Sep		20-Oct		Promedio	
	Peso Fresco	Peso Seco	Peso Fresco	Peso Seco	Peso Fresco	Peso Seco	Peso Fresco	Peso Seco
<i>a</i>	19980	20520	21080	20660	22270	14570	21110,00	18583,33
<i>b</i>	6740	27740	7010	25370	6600	29660	6783,33	27590,00
<i>c</i>	3040	13340	4700	16550	3300	21530	3680,00	17140,00
Biomasa	1338660	1374840	1412360	1384220	1492090	976190	1414370	1245083,33

Los valores estimados son igualmente altos y similares a los encontrados en la otra comunidad periférica analizada, y están en concordancia con las características eutróficas del ecosistema. Se presentó igualmente, el mismo fenómeno observado con la clorofila *b*.

7.2.2. Índice de Estado Trófico.

La tabla 6 muestra los valores calculados para el índice de estado trófico propuesto por Carlson (1977, Op,cit).

Tabla 6. Índice de Estado Trófico calculado para la laguna “Aguas Tibias”.

Fechas	IET Sitio 1	IET Sitio 2
	Zona afluyente	Zona efluente
3/03/03	90.28	92.29
29/03/03	90.93	90.72
12/04/03	93.32	92.29
26/04/03	94.84	91.54
17/05/03	93.32	94.84
7/06/03	93.32	95.11
21/06/03	96.86	93.32
2/08/03	94.84	90.06
4/09/03	93.32	94.41
18/10/03	93.32	96.51
Promedio	93.60	93.31

Como puede apreciarse, el Índice de Estado trófico en el sitio 1(zona de afluyente) oscila entre los 90.28 y los 96.86 puntos, con un promedio de 93.6, mientras que para el sitio 2(zona de efluente) oscila entre 90.06 y 96.51, con un promedio de 93.31. Dado que el índice se calculó con base en los contenidos de clorofila *a*, los cuales son altos, consecuentemente, los valores obtenidos para el índice son altos y por lo tanto se confirma la condición de eutrofia del ecosistema.

Igualmente, los valores calculados para el IET de la comunidad perifítica son altos (ver tabla 7), ratificando las condiciones de eutrofia de la laguna.

Tabla 7, Valores calculados para el IET en la laguna “Aguas tibias”

IET sitio 1	70.15	69.24	70.04	69.24	69.97	65.43
Zona afluente						
IET sitio 2	68.98	69.24	69.51	69.31	70.04	65.88
Zona efluente						

Las condiciones de eutrofización del sistema se pueden explicar esencialmente por tres aspectos. En primer lugar, la totalidad de la columna de agua está iluminada, por lo tanto las posibilidades fotosintéticas son altas y permiten una alta productividad.

En segundo lugar, el sistema tiene un aporte importante y continuo de nutrientes, especialmente iones, que permiten mantener grandes poblaciones de organismos. Adicionalmente.

En tercer lugar, la gran estabilidad de los valores encontrados para los parámetros físicos y químicos estudiados. Tal como se mencionó anteriormente, las variaciones en los diversos factores abióticos fueron mínimas cuando se presentaron, lo que garantiza a las comunidades biológicas, mejores condiciones para su desarrollo y permanencia.

7.2.3. Determinación de las comunidades productoras.

La laguna “Aguas Tibias” se caracteriza por una gran diversidad de algas, que conforman densas poblaciones, las cuales se distribuyen tanto en la columna de agua (planctónicas) como adheridas al fondo de la laguna (perifítica), formando extensas floraciones de algas, que sirven de refugio y alimento a una gran cantidad de

organismos, destacándose el pez “gupy” (*Poecilia spp*) así como macroinvertebrados acuáticos (gasterópodos, coleópteros, ortópteros, odónatos, hirudíneos, entre otros) en sus fases adultas y larvales (Ver Anexo Fotográfico, fotografías 14 –23).

En las siguientes tablas se muestran los organismos colectados en la red planctónica de arrastre, los cuales son fundamentalmente organismos meroplanctónicos o ticoplanctónicos, liberados desde las densas floraciones observadas a lo largo de la masa de agua, también el calculo del índice de diversidad.

Tabla 8. Taxa de las comunidades algares detectadas en la laguna “Aguas Tibias”

División	Familia	Género	Cantidad Total
CHRYSOPHYTA			
	Fragilariaceae	<i>Synedra</i>	284
	Sphaeridiothricaceae	<i>Sthichochrysis</i>	231
PYRRHOPHYTA			
	Ceratiaceae	<i>Cerratium</i>	592
CHRYSOPHITA			
	Naviculaceae		

Continuación de la tabla 8. Taxa de las comunidades algares detectadas
en la laguna "Aguas Tibias"

DIVISION	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD TOTAL
		<i>Pinnularia</i>	392
		<i>Pleurosigma</i>	194
		<i>Diatomea s.i</i>	278
	Fragilariaceae		
		<i>Fragilaria</i>	225
		<i>Tabellaria</i>	145
	Nitzchiaceae		
		<i>Nitzchia</i>	301
COLOROPHYTA			
	Desmidiaceae		
		<i>Desmidium</i>	197
		<i>Actinotaenium</i>	319
		<i>Hyaloteca</i>	379
	Microsporaceae		
		<i>Microspora</i>	197
	Scenedesmaceae		
		<i>Scenedesmus</i>	248
	Ulotrichaceae		
		<i>Ulothrix</i>	106
CYANOPHYTA			
	Oscillatoriaceae		
		<i>Oscillatoria</i>	176
	Rivulariaceae		
		<i>Rivularia</i>	155
	Choococcaceae		
		<i>Merismopedia</i>	155

EUGLENOPHYTA

Euglenacea

				<i>Phacus</i>	370
				<i>Cystis</i>	167
Totales	6	14	20		5111

En la tabla 9 se presentan los resultados de los conteos realizados por el método indicado para todos y cada uno de los muestreos.

Tabla 9. total de organismos productores en la laguna "Aguas Tibias".

	Muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Familia	Género	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Fragilariaceae	<i>Synedra ulna</i>	23	26	31	24	35	30	32	25	28	30	284
Sphaeriodothricaceae	<i>Stichochysis</i>	26	19	24	15	28	24	30	18	29	18	231
Ceratiaceae	<i>Cerratium</i>	63	59	72	38	54	32	64	70	69	71	592
Naviculaceae	<i>Pinnularia gibba</i>	37	35	38	40	41	36	42	39	38	46	392
	<i>Pleurosigma a</i>	17	14	22	19	21	16	25	21	17	22	194
	<i>Diatomea s. i.</i>	24	22	20	26	29	28	51	25	23	30	278
Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	15	18	14	22	19	30	46	32	15	14	225
	<i>Tabellaria</i>	10	13	18	11	13	18	10	15	20	17	145
Nitzchiaceae	<i>Nitzchia</i>	36	30	38	25	34	20	32	29	34	23	301
Desmidiaceae	<i>Desmidium</i>	17	16	19	20	21	18	15	21	32	18	197
	<i>Actinotaenium</i>	22	26	30	41	43	39	23	34	26	35	319
	<i>Hyalotheca</i>	35	40	38	43	30	37	39	38	42	37	379
Microsporaceae	<i>Microspora</i>	17	16	19	20	21	18	15	21	32	18	197
Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	24	28	20	27	25	23	30	27	23	21	248
Ulotrichaceae	<i>Ulothrix</i>	13	12	9	11	8	9	12	8	11	13	106
Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	18	10	21	15	17	20	14	23	18	20	176
Rivulariaceae	<i>Rivularia</i>	13	15	20	17	16	10	14	18	12	20	155
Choococcaceae	<i>Merismopedia</i>	14	17	18	15	20	12	13	20	10	16	155
Euglenacea	<i>Phacus caudatus</i>	36	33	35	39	37	40	38	41	36	35	370
	<i>Cystis</i>	140	180	12	22	13	19	21	15	13	20	167
	Totales	474	467	518	490	525	479	56	54	528	524	5111

Para los organismos ticoplanctónicos, los conteos en los muestreos realizados oscilaron entre 467 y 566 organismos por mililitro, para un total de 5111 org/ml. El género *Cerratium* presentó el mayor número de organismos, con 592 cel/ml, mientras que el género *Tabellaria*, fue el género de menor número de células por ml, con 145. No obstante, es necesario destacar que esta comunidad ticoplanctónica, como lo indica la definición, corresponde a fragmentos de las comunidades perifíticas detectadas, donde abundan en grandes cantidades organismos filamentosos como *Microspora* y *Desmidium*, que pueden tener varios cientos de células por filamentos. Adicionalmente, las diatomeas, que mostraron una aparente alta abundancia, se presentaron esencialmente como organismos epifíticos, adheridos a los largos filamentos de las algas verdes, especialmente *Microspora*. (Ver Anexo Fotográfico, fotografías 24 - 37).

Los resultados obtenidos indican una baja concentración de células libres o ticoplanctónicas, concordante con las características y color aparente del agua en zonas donde no se presentaban las floraciones algales.

En cuanto a la comunidad perifítica, como se ha indicado reiteradamente en el presente estudio, la laguna presenta extensas floraciones algales, conformados por diversos tipos de algas filamentosas, destacándose las algas verdes *Microspora*, *Ulothrix* y *Desmidium*. A estas algas se encuentran asociadas una gran cantidad y variedad de Diatomeas como organismos epifíticos, así como otras algas no adheridas, conformando una población rica y diversa, con altos potenciales de interrelaciones biológicas y alta productividad. Al realizar colectas de esta comunidad por el método de los transectos en diferentes puntos de la laguna, se obtuvieron hasta cinco kilos de algas por metro cuadrado, en peso fresco. Cuando este material se escurre y seca, se obtiene aproximadamente un kilo de un material áspero al tacto, de consistencia pastosa, fácilmente acumulable y removible del ecosistema.

Con el fin de establecer la cantidad de organismos presentes en las floraciones, 2 mg del material colectado se resuspendieron en 1 ml de agua destilada y se procedió a contar el número de filamentos por campo y el número de células por filamento, utilizando un microscopio óptico Nikon con un diámetro de campo de 180 μm para el objetivo 10x. Los cálculos indican que existen aproximadamente $1,5 \times 10^9$ filamentos por m^2 y que en cada filamento se encuentran en promedio 80 células. Para el género *Compsopogon*, que forma floraciones separadas del resto de la comunidad, la cantidad de material biológico se estimó en $0,554 \times 10^9$ filamentos por m^2 , con un promedio de 10 células por filamento.

Estas cifras representan una enorme cantidad de material biológico con alta capacidad trofогénica, concordante con las características de eutrofización observadas para el ecosistema.

7.2.4. Índice de Diversidad.

La tabla 10 presenta los resultados obtenidos en el cálculo del índice de diversidad Shannon– Weaver.

Tabla 10. Índices de diversidad de Shannon– Weaver. Para la comunidad ticoplanctónica de la laguna “Aguas tibias”. Durante los 10 muestreos realizados.

Muestreo	ID 1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID T
Género											
<i>Synedra ulna</i>	0.15	0.16	0.17	0.15	0.18	0.17	0.16	0.14	0.16	0.16	1.60
<i>Stichochysis</i>	0.16	0.13	0.14	0.11	0.16	0.15	0.16	0.11	0.16	0.12	1.40
<i>Cerratum</i>	0.27	0.26	0.27	0.20	0.23	0.18	0.25	0.26	0.27	0.27	2.46
<i>Pinnularia gibba</i>	0.20	0.19	0.19	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.21	1.95
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0.12	0.11	0.13	0.13	0.13	0.11	0.14	0.13	0.11	0.13	1.24
<i>Diatomea s. i.</i>	0.15	0.14	0.13	0.16	0.16	0.17	0.22	0.14	0.14	0.16	1.57
<i>Fragilaria</i>	0.11	0.13	0.10	0.14	0.12	0.17	0.20	0.17	0.10	0.10	1.34
<i>Tabellaria</i>	0.08	0.10	0.12	0.09	0.09	0.12	0.07	0.10	0.12	0.11	1.00
<i>Nitzschia</i>	0.20	0.18	0.19	0.15	0.18	0.13	0.16	0.16	0.18	0.14	1.67
<i>Desmidium</i>	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	0.10	0.13	0.17	0.12	1.26
<i>Actinotaenium</i>	0.14	0.16	0.16	0.21	0.20	0.20	0.13	0.17	0.15	0.18	170

Continuación Tabla 10. Índices de diversidad de Shannon– Weaver. Para la comunidad ticoplanctónica de la laguna “Aguas tibias”. Durante los 10 muestreos realizados.

Muestreo	ID 1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID T
Género											
<i>Hyalotheca</i>	0.19	0.21	0.19	0.21	0.16	0.20	0.18	0.19	0.20	0.19	1.92
<i>Microspora</i>	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	0.10	0.13	0.17	0.12	1.26
<i>Scenedesmus</i>	0.15	0.17	0.13	0.16	0.14	0.15	0.16	0.15	0.14	0.13	1.48
<i>Ulothrix</i>	0.10	0.09	0.07	0.09	0.06	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.79
<i>Oscillatoria</i>	0.12	0.08	0.13	0.11	0.11	0.13	0.09	0.13	0.12	0.12	1.14
<i>Rivularia</i>	0.10	0.11	0.13	0.12	0.11	0.08	0.09	0.11	0.09	0.12	1.06
<i>Merismopedia</i>	0.10	0.12	0.12	0.11	0.12	0.09	0.09	0.12	0.08	0.11	1.06
<i>Phacus caudatus</i>	0.20	0.19	0.18	0.20	0.19	0.21	0.18	0.20	0.18	0.18	1.91
<i>Cystis</i>	0.10	0.13	0.09	0.14	0.09	0.13	0.12	0.10	0.09	0.12	1.11
Totales	2.88	2.89	2.88	2.91	2.90	2.92	2.87	2.89	2.88	2.89	2.91

El índice de diversidad de Shannon– Weaver global estimado es de 2.91, con valores que oscilaron entre 2,87 y 2,92, indicando que el ecosistema presenta una mediana a alta diversidad de especies productoras ticoplanctónicas. El género con menor número de individuos fue *Ulothrix* con un ID de (0.79), mientras que *Cerratum* arrojó el mayor valor calculado de (2.46). No obstante las abundantes floraciones, que están fuertemente dominadas por algas verdes filamentosas y gran cantidad de diatomeas epifíticas, lo que determina el índice de diversidad calculado.

Integrando los resultados obtenidos en el presente estudio, y a manera de resumen, la laguna “Aguas tibias” es un ecosistema de particular condiciones limnológicas, caracterizado por una gran estabilidad en los factores abióticos estudiados y con valores no esperados para algunos de los parámetros en comparación con otros ecosistemas estudiados en la región, tales como la alta temperatura considerando la localización altitudinal, el pH de tendencia alcalina, la dureza y la alta conductividad, aspectos explicables en el hecho de que el aporte de aguas se hace desde un manantial de origen volcánico y que permiten pensar en un ecosistema en condiciones extremas o sometido a estrés ambiental de origen natural.

Estas condiciones físico químicas han contribuido para que se desarrollen extensas floraciones algales, donde predominan algas verdes filamentosas y diatomeas. Las condiciones observadas provocan la realización de estudios más detallados y profundos, que permitan establecer las relaciones entre los diversos parámetros físicos y químicos, sus variaciones espacio temporales y las características estructurales y funcionales de las comunidades productoras detectadas.

8. CONCLUSIONES

Con base en los resultados del presente estudio de naturaleza descriptivo, se puede concluir los siguientes aspectos:

- Los análisis indican una gran estabilidad en los valores para los diversos parámetros físicos y químicos analizados. Los cuales permanecieron alrededor de los mismos valores, tanto en función de el espacio y el tiempo durante estudio.
- Los registros obtenidos difieren notablemente de los de otros ecosistemas lénticos de la zona de estudio, en contraposición a la localización geográfica y altitudinal de la zona. Se explica este fenómeno en el origen volcánico de las aguas, las cuales provienen de manantiales térmicos asociados al volcán Puracé.
- Se propone definir la laguna como un ecosistema Ecosistema forzado en condiciones extremas o en condiciones de estrés ambiental natural, considerando los rangos para factores como conductividad, alcalinidad, dureza y salinidad.
- No obstante los valores altos en las características físicas y químicas hídricas, la alta estabilidad del sistema y el aporte permanente de nutrientes y energía, favorecen el crecimiento de densas poblaciones de algas, conformando densas comunidades perifíticas, que liberan a la columna de agua organismos productores, los cuales se definen como ticoplanctónicos.
- Gracias a la estabilidad del sistema y las condiciones particulares tanto en los parámetros físico químicos como biológicos hídricos, se presentan altos valores de productividad del medio, determinando un ecosistema en condiciones de eutrofía por sus orígenes naturales, y que gracias a la intervención antrópica evita la colmatación de la misma.

- La clorofila a osciló entre los 600 y los 620 mg/m³, lo que determina una biomasa entre los 40.200 y los 41.540 mg/m³, valores que corresponden a sistemas eutroficados. Con base en estos valores detectados, el cálculo del índice de estado trófico arroja valores consecuentemente altos, por encima de los 93 puntos.
- Los organismos productores conforman densas comunidades, con diversas poblaciones de algas, las cuales se distribuyen tanto en la columna de agua (ticoplanctónicas) como adheridas al fondo de la laguna (perifítica) como a otras algas (epifíticas). Estas comunidades se distribuyen formando extensas floraciones de algas, donde predominan algas verdes como *Microspora*, *Desmidium* y *Ulothrix*, con densas poblaciones de diatomeas adheridas. Se encontraron organismos pertenecientes a 6 divisiones, 14 familias y 20 géneros.
- La comunidad algal detectada forma un importante refugio y fuente de alimento a una gran cantidad de organismos, entre ellos, diversas especies de peces y de macroinvertebrados acuáticos en sus fases adultas y larvales. Por lo tanto, la laguna es un eslabón biológico importante para las condiciones ecológicas de la zona, especialmente para el ecosistema lótico donde desembocan las aguas de la laguna.
- El índice de diversidad de Shannon– Weaver calculado para el ecosistema, indica condiciones de media a alta diversidad, donde los flujos de materia y energía están controlados por las algas verdes filamentosas y las diatomeas principalmente.
- Las particularidades del sistema exigen la realización de estudios más profundos y detallados, más aun si se considera que las investigaciones limnológicas sobre ecosistemas de origen volcánico de alta montaña han sido poco estudiados, tanto en Colombia como en otros países.

9. RECOMENDACIONES

- Es importante tener en cuenta que no existen referencias específicas para este tipo de estudios; se plantea entonces adelantar una investigación que permita establecer parámetros que faciliten la caracterización de este tipo de ecosistemas.
- Esta zona presenta una gran cantidad de incógnitas por resolver, aportando así material para nuevos estudios en la misma.
- Sería muy interesante realizar muestreos nocturnos, para ver el comportamiento de los parámetros físico - químicos y biológicos de la laguna.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS CITADAS

1. ROLDAN, G., G. CORREA, T. MACHADO, L. F. VELÁSQUEZ y F. ZULUAGA. 1984. Estudio limnológico de la represa de El Peñol. Medellín, Revista Actualidades Biológicas, Vol. 13, No. 50.
2. DUQUE, S. y J. C. DONATO. 1988. Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania.
3. DONATO, J.C. 1.991. Fitoplancton y aspectos físico y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. Caldasia, Vol. 16 (79), 489-500.
4. HERNÁNDEZ, C.A. y MARQUEZ, G.E. 1991. Producción primaria en el ecosistema. Ciénaga Grande de Santa Marta, Laguna costera del caribe colombiano. Bogotá: Trianea (Act. Cient. Tecn INDERENA), 4: 385-407.
5. NAUNDORF, G. G. L. VÁSQUEZ y H. ZAMORA. 1994. Determinación de la productividad primaria en el embalse de La Salvajina, como un parámetro para la evaluación y seguimiento de la calidad del agua. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, Vol. 8, No. 2: 7-19.
6. DONATO RONDÓN, J. C. 2.001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución. Academia Colombiana de Ciencias exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras, No. 19.
7. INSTITUTO GEOGRAFICO “AGUSTIN CODAZZI” – IGAC.

8. Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Puracé, CAUCA (P.O.T) 2002 – 2011
9. 10. 11. GARZÓN,G.,S.P. SALAZAR, D.Y.SERNA, L. BOBODILLA, L.E. LESMES, J.C. DIAGO Y J. MOJICA. 2002. Thermal springs at Colombian active volcanoes. INGEOMINAS, Bogotá, D.C.
12. SANCHEZ, I. y N. SAMBONÍ. 2.000. Incidencia de las concentraciones de los cationes y algunos parámetros físico químicos en aguas termales sobre la actividad volcánica del volcán Puracé, Departamento del Cauca. INGEOMINAS, Popayán.
13. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION -APHA. 1985. 15th Ed. Washington, D. C.: APHA.
14. IDEAM. Determinación de aguas. www.ideam.gov.co
15. HENAO DE URIBE, A.M. 1987. El disco Secchi y el estado trófico. Medellín: Revista AINSA, No. 12, Enero/ Junio.
16. CARLSON, R.E., 1977. Atrophic state index for lakes. Limnology and Oceanography.
17. INSTITUTO GEOGRÁFICO “AGUSTÍN CODAZZI” –IGAC. Cartografía del área de Puracé, planchas 1A – 1C. IGAC, Popayán.
18. BICUDO, C.E. y R.M. Bicudo. 1970. Algas de aguas continentais brasileiras. Fundação Brasileira para o desenvolvimento de Ensino de Ciencias, Sao Paulo.
19. BLANCO, L. y SANCHEZ, L. 1984. Contribución al estudio taxonómico de las Diatomeas del Orinoco medio, Bajo Caroni y algunas lagunas de inundación (Venezuela). San Félix: Fundación La Salle de Ciencias Naturales

20. BOLD, H. and M. Wayne. 1985. Introduction to the algae. 2nd Ed. Prentice-Hall Inc. Englewoods Cliffs, N.J
21. HINO, K. y J. TUNDISI. 1984. Atlas de algas da represa do Broa. Sao Carlos: Universidade Federal de Sao Carlos
22. MORGAN SMITH, G. 1920. Wisconsin Geological and Natural History Survey. Bulletin No. 57.
23. NEEDHAM, J. G. y P. R. Needham. 1982. Guía para el estudio de los seres de las aguas dulces. Barcelona: Editorial Reverté, S. A
24. PRESCOTT, G.W. 1984. How to know the freshwater algae. 7th Ed. Wm C. Brown Company Publishers, Dubuque, IW, USA
25. RAMIREZ, J.J. 2000. Fitoplancton de agua dulce. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.
26. TELL, G. y V. CONFORTI. 1986. Bibliotheca Fhycologica: Euglenophytas pigmentadas de la Argentina. Stuttgart: J. Cramer.
27. WETZEL, R. 1.983. Limnología. 2nd Edition. Saunders College Publishing. Philadelphia.
28. MARGALEF, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, S. A. Barcelona.
29. WALMSLEY, R.D. 1.984. Un sistema de clasificación del estado trófico en función de la clorofila a para embalses sudafricanos. Journal of Environmental Quality, Vol. 13, No. 1:97-104.