

**CARACTERIZACIÓN LIMNOLÓGICA DE LA LAGUNA LA BOLSA Y DE SU
PRINCIPAL AFLUENTE Y EFLUENTE, MUNICIPIO DE CUMBAL,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**LEONARDO SADOC BRAVO URBANO
FRANCISCO JAVIER ERAZO BENAVIDES**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS
PROGRAMA DE BIOLOGIA
SAN JUAN DE PASTO**

2003

**CARACTERIZACIÓN LIMNOLÓGICA DE LA LAGUNA LA BOLSA Y DE SU
PRINCIPAL AFLUENTE Y EFLUENTE, MUNICIPIO DE CUMBAL,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**LEONARDO SADOB BRAVO URBANO
FRANCISCO JAVIER ERAZO BENAVIDES**

Trabajo de grado para optar el título de
Biólogo con énfasis en Ecología

Asesor
GUILLERMO CASTILLO BELALCAZAR
Especialista en Ecología

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIA NATURALES Y MATEMATICAS
PROGRAMA DE BIOLOGIA
SAN JUAN DE PASTO
2003**

Nota de aceptación

Guillermo Castillo Belalcázar

Ariel Gómez

Jaime Rodríguez

Pasto, Diciembre 10 de 2003

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1° del Acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

DEDICATORIA

A Dios por guiar mi vida y por haber permitido alcanzar una nueva meta en el transcurso de mi formación profesional.

A mis padres Gustavo Bravo, Judith Urbano y a mi tía mamá Custodia Bravo “Q.E.P.D” por su amor y su apoyo desinteresado e incondicional.

A mis hermanos Gustavo, María Esther y Nancy Judith por su constante apoyo y colaboración.

A mi esposa Piedad Gómez quien junto con mis hijos, Mauricio y Santiago se convirtieron en mi mayor fuente de inspiración y fortaleza para cumplir con el desarrollo de este proyecto de investigación.

LEONARDO SADOC BRAVO URBANO

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en el camino correcto y permitir alcanzar esta meta.

A Elvia Benavides y Francisco Erazo, mis padres, por su amor y comprensión.

A Eduardo, Liliana, Maria Elena y Amanda Erazo Benavides, mis hermanos, por su colaboración y apoyo incondicional.

A Liseth, David, Carolina, Santiago, Angelita y Alejandra, mis sobrinos, por quienes luche para que este trabajo culminara felizmente.

FRANCISCO JAVIER ERAZO BENAVIDES

AGRADECIMIENTOS

Expresamos los más sinceros agradecimientos a:

El Cabildo del Gran Cumbal, por su apoyo incondicional en el desarrollo del trabajo.

Guillermo Castillo, profesor de tiempo completo del programa de Biología, por su asesoría incondicional.

A las comunidades indígenas de los alrededores de la laguna, por su colaboración en el reconocimiento del área de estudio, así como también en la participación en cierta parte de la logística indispensable para la investigación.

A todas y cada una de las personas que influyeron para que este trabajo tuviera un feliz término.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. OBJETIVOS	25
1.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1 GENERALIDADES	26
2.2 CUERPOS DE AGUA LENTICOS	27
2.3 ESTUDIOS EN AGUAS LENTICAS DE ALTA MONTAÑA TROPICAL	29
2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA	33
2.4.1 Temperatura	33
2.4.2 Transparencia	33
2.4.3 Color	34

2.4.4	Turbiedad	34
2.5	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA	35
2.5.1	pH	35
2.5.2	Oxígeno disuelto	35
2.5.3	Dióxido de carbono	36
2.5.4	Alcalinidad	36
2.5.5	Conductividad eléctrica	37
2.5.6	Nitrógeno y sus compuestos	37
2.5.6.1	Amonio	38
2.5.6.2	Nitritos	38
2.5.6.3	Nitratos	39
2.5.7	DBO	39
2.5.8	DQO	39
2.5.9	Sólidos totales	40
2.5.10	Sólidos suspendidos	40

2.5.11 Dureza total	40
2.5.12 Calcio y magnesio	41
2.5.13 Cloruros	42
2.5.14 Sulfatos	42
2.5.15 Fosfatos	43
2.6 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DEL AGUA	44
2.7 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS	45
2.8 INDICADORES ECOLÓGICOS	45
2.8.1 Diversidad	46
2.8.2 Similitud	48
2.8.3 Enfoque biótico	48
3. METODOLOGÍA	49
3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	49
3.2 TRABAJO DE CAMPO Y TRABAJO DE LABORATORIO	55
3.2.1 Estaciones de muestreo	55

3.2.2	Parámetros físico – químicos	56
3.2.3	Análisis bacteriológico del agua	58
3.2.4	Macroinvertebrados acuáticos	58
3.2.4.1	Análisis estadístico	59
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS	60
4.1.1	Temperatura	60
4.1.2	Turbiedad, transparencia y color	63
4.1.3	pH, alcalinidad y CO₂	65
4.1.4	Oxígeno disuelto	67
4.1.5	DBO₅ y DQO	69
4.1.6	Conductividad eléctrica y sólidos totales	74
4.1.7	Amonio, nitritos y nitratos	76
4.1.8	Fosfatos	82
4.1.9	Calcio y magnesio	84

4.1.10 Cloruros	88
4.1.11 Sulfatos	90
4.2 COLIFORMES TOTALES Y FECALES	92
4.3 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DEL PRINCIPAL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA LAGUNA	93
4.3.1 Diversidad y abundancia	93
4.3.2 Similitud	96
4.3.3 Índice biótico BMWP	98
4.3.4 Macroinvertebrados acuáticos y su relación con los parámetros físico – químicos	101
4.3.4.1 Macroinvertebrados de la quebrada Capote (afluente)	102
4.3.4.2 Macroinvertebrados del río Cuacé (efluente)	104
5. CONCLUSIONES	106
6. RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	116

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Métodos utilizados en la medición de los parámetros físico – químicos	57
Tabla 2. Índices de diversidad del principal afluente y efluente	94
Tabla 3. Índices de similitud del principal afluente y efluente	97
Tabla 4. Puntajes asignados para las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos según el método BMWP adaptado para Colombia (Roldán 1988 y Zamora 1999)	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Laguna La Bolsa	50
Figura 2. Localización geográfica de la laguna La Bolsa	52
Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo	55
Figura 4. Variación de la temperatura en los tres sitios de muestreo	62
Figura 5. Variación de oxígeno disuelto en los tres sitios de muestreo	68
Figura 6. Variación DBO ₅ , DQO quebrada Capote	71
Figura 7. Variación DBO ₅ , DQO laguna La Bolsa	72
Figura 8. Variación DBO ₅ , DQO río Cuacé	73
Figura 9. Variación de los compuestos nitrogenados en la quebrada Capote	77
Figura 10. Variación de los compuestos nitrogenados en la laguna La Bolsa	78
Figura 11. Variación de los compuestos nitrogenados en el río Cuacé	79
Figura 12. Variación de fosfatos en los tres sitios de muestreo	83
Figura 13. Variación de calcio y magnesio en la quebrada Capote	85
Figura 14. Variación de calcio y magnesio en la laguna La Bolsa	86
Figura 15. Variación de calcio y magnesio en el río Cuacé	87
Figura 16. Variación de cloruros en los tres sitios de muestreo	89
Figura 17. Variación de sulfatos en los tres sitios de muestreo	91
Figura 18. Abundancia absoluta de macroinvertebrados quebrada Capote (afluente).	95
Figura 19. Abundancia absoluta de macroinvertebrados del río Cuacé (efluente).	96

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resultados de los parámetros físico – químicos y microbiológicos de la quebrada Capote (afluente) en periodo de baja y alta precipitación.	117
Anexo B. Resultados de los parámetros físico – químicos y microbiológicos de la laguna La Bolsa en periodo de baja y alta precipitación.	118
Anexo C. Resultados de los parámetros físico – químicos y microbiológicos del río Cuacé en periodo de baja y alta precipitación.	119
Anexo D. Algunos criterios de calidad admisibles para los valores normales en las aguas (Decreto 1594/84)	120
Anexo E. Valores normales de algunos parámetros físico – químicos de aguas naturales consideradas para lagos oligotróficos	121
Anexo F. Climadiograma 2002 laguna La Bolsa	122
Anexo G. Composición de las comunidades de macroinvertebrados	123
Anexo H. Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados quebrada Capote	124
Anexo I. Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados río Cuacé	125

Anexo J. Clases, valores y características para las aguas clasificadas mediante el índice BMWP para Colombia.	126
Anexo K. Clases de calidad del agua, valores BMWP/Col., significado y colores para representaciones cartográficas.	127
Anexo L. Lista de fotografías de los macroinvertebrados acuáticos.	128

GLOSARIO

AFLUENTE: arroyo o río que desemboca bien en otro principal o en un lago o laguna.

AGUA POTABLE: es aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

AGUA SEGURA: es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

BATIMETRIA: estudio de los fondos de lagos, lagunas o mares y su distribución de los animales y plantas en sus distintas capas y zonas.

BIODEGRADACIÓN: de las sustancias que pueden ser transformadas en otras químicamente más sencillas.

COLMATACIÓN: rellenar una cuenca o depresión por arrastre de materiales sedimentarios.

EFLUENTE: arroyo o río que sale de un cuerpo de agua mayor.

EUTRÓFICO, CA: de las aguas en general, y especialmente de lagos y aguas potámicas, ricas en materia orgánica y en nutrientes, normalmente templadas, que pueden sustentar una amplia población de organismos planctónicos.

FÓTICO, CA: zona superficial del agua en sus diferentes formas en la que penetra la suficiente luz para que se pueda verificar la fotosíntesis.

GEOMORFOLOGÍA: ciencia que estudia el relieve terrestre y su evolución.

HIDRODINÁMICA: movimiento de los fluidos sometidos a la acción de fuerzas.

LENTICO, CA: de las aguas quietas y cerradas.

LIMNOLOGÍA: ciencia que trata las investigaciones del medio lacustre en lo que se refiere tanto a las condiciones físicas y químicas del entorno como las relaciones trofocodinámicas de las poblaciones que viven en el mismo.

LOTICO, CA: de las aguas que presentan corriente.

OLIGOTRÓFICO, CA: de las aguas pobres en materia orgánica y nutrientes, que sólo pueden soportar una población relativamente pequeña de organismos planctónicos.

PRODUCTIVIDAD: capacidad o grado de producción por unidad de trabajo, presente en un sistema terrestre o acuático.

TROFICO: relativo a la nutrición.

TROPICO: cada uno de los círculos menores de la esfera terrestre, paralelos al ecuador, de 23° 27' de latitud norte, para el trópico de Cáncer, y de 23° 27' de latitud sur para el trópico de Capricornio.

TURBERA: formación de turba, de grandes dimensiones, constituida por musgos esfagnales carbonizados y otros vegetales acompañantes. Se originaron sobre bosques encharcados en el periodo periglacial.

RESUMEN

La laguna La Bolsa y su principal afluente y efluente se ubican en la zona más meridional de la cordillera de los Andes, al sur del Departamento de Nariño, su altitud es de 3424 m.s.n.m. y constituye la principal fuente de abastecimiento de agua potable para el municipio de Cumbal. Actualmente, la deforestación, erosión del suelo, expansión del sector agrícola y ganadero, junto con el crecimiento de la población asentada en los alrededores de la laguna amenazan por degradar este ecosistema.

Se establecieron 3 sitios de estudio; afluente principal (quebrada Capote), laguna La Bolsa, y su efluente principal. (río Cuacé) donde se analizaron algunos parámetros físico – químicos y bacteriológicos, incluyendo un parámetro biológico para los sectores lóticos. Se realizan 4 muestreos con intervalos de un mes, coincidiendo con épocas de baja y alta precipitación local entre los meses de septiembre a diciembre de 2002.

Los resultados indican que la mayoría de los parámetros físico – químicos corresponden a aguas oligotróficas de alta montaña tropical y que constituyen un buen criterio para aguas de consumo humano. La baja temperatura del agua no estratifica térmicamente a la laguna clasificándola así como polimíctica fría. Se presentan altos contenidos de oxígeno disuelto, pH alrededor de la neutralidad y poca cantidad de materia orgánica reflejada en los bajos valores de DBO₅ y DQO. La escasa cobertura vegetal de la zona pudo incidir en el incremento de la conductividad y sólidos totales en el agua. Además se infiere posibles signos de baja productividad por efecto de los niveles de alcalinidad, calcio y magnesio o por la baja concentración de nutrientes. (nitrógeno y fosfatos)

Los macroinvertebrados acuáticos presentan baja diversidad y alta dominancia de algunos grupos que se relaciona con la ubicación y las exigentes condiciones ecológicas de la zona. El calculo del índice BMWP indica alteraciones en la calidad del agua pese a la buena condición natural de la misma y aunque la presencia de algunas especies indicadoras de

cierta contaminación permitieron detectar cualquier alteración en tiempo pasado, el dominio de organismos propios de aguas limpias infiere que este método de evaluación de calidad puede no ser definitivo.

ABSTRACT

The lagoon The Bag and their main one flowing and effluente is located in the most southern area in the mountain range of you Walk them, to the south of the Department of Nariño, its altitude is of 3424 m.s.n.m. and it constitutes the main source of supply of drinkable water for the municipality of Cumbal. At the moment, the deforestation, erosion of the floor, expansion of the agricultural and cattle sector, together with the population's growth seated in the surroundings of the lagoon threatens to degrade this ecosystem.

3 study places settled down; flowing main (broken Cape), lagoon The Bag, and their main effluente. (I laugh Cuacé) where some parameters physique were analyzed—chemical and bacteriological, including a biological parameter for the sectors lótics. They are carried out 4 samplings with intervals of one month, coinciding with times of low and high local precipitation among the months of September to December of 2002.

The results indicate that most of the parameters physique—chemists correspond to waters oligotróficas of high tropical mountain and that they constitute a good approach for waters of human consumption. The drop temperature of the water doesn't stratify to the lagoon thermally classifying it as well as cold polimíctica. High contents of dissolved oxygen are presented, pH around the neutrality and little quantity of organic matter reflected in the first floor values of DBO5 and DQO. The scarce vegetable covering of the area could impact in the increment of the conductivity and total solids in the water. It is also inferred possible signs of low productivity by effect of the levels of alkalinity, calcium and magnesium or for the drop concentration of nutritious. (nitrogen and phosphates)

The aquatic macroinvertebrados presents low diversity and high dominancia of some groups that he/she is related with the location and the demanding ecological conditions of the area. He calculates of the index BMWP it indicates alterations in the quality of the

water in spite of the good natural condition of the same one and although the presence of some indicative species of certain contamination allowed to detect any alteration in last time, the domain of organisms characteristic of clean waters infers that this method of evaluation of quality cannot be definitive.

INTRODUCCIÓN

Roldán (1), define a la limnología como el estudio de las aguas continentales o epicontinentales, sus características físico – químicas y biológicas, las fuerzas y los procesos que mantienen su integridad, así como su relación entre el medio abiótico y las comunidades que en el viven.

Los análisis de los parámetros físico – químicos, son importantes para establecimiento de las condiciones y calidad del agua, ellos por si solos nos muestran las condiciones de vida de un ambiente aunque pueden ser complementados con estudios biológicos que ratifican esta situación.

Actualmente los seres vivos enfrentan las graves consecuencias de la escasez de agua y la contaminación de la misma, ya sea por aportes naturales proporcionados por las lluvias y la naturaleza geoquímica del terreno, o por la adición de sustancias extrañas originadas por las actividades antrópicas.

Pese a esta situación, la ecología de lagos y lagunas de alta montaña tropical está relegada a un segundo plano a pesar de que la mayoría de estos sistemas se ubican en zonas de reserva natural y constituyen depósitos de aguas de consumo. Al respecto cabe mencionar a la laguna la Bolsa junto con su principal afluente y efluente que forma un sistema hidrológico que provee de agua a gran parte del municipio de Cumbal representando innumerables beneficios económicos, sociales y ambientales para los habitantes que precisa de sus servicios.

(1) ROLDAN, Gabriel. Manual de limnología : Guía teórico práctica. Medellín : Universidad de Antioquia, 1987, p. 1

En este trabajo se da a conocer cualquier alteración que pueda cambiar el estado natural de este ecosistema, para tal fin se evalúan los parámetros físicos y químicos más importantes, así como algunas características biológicas en sus sistemas loticos que determinen el grado de calidad de sus aguas. Se ubican tres sitios de estudio en donde se toma muestras durante cuatro meses que abarcan las épocas de mayor y menor precipitación local, se evalúa los parámetros estudiados y se da recomendaciones que ayuden en el sostenimiento y aprovechamiento adecuado del recurso hídrico.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterización limnológica de la laguna La Bolsa y su principal afluente y efluente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros físicos – químicos básicos de la laguna La Bolsa.
- Analizar los parámetros físico – químicos y biológicos del principal afluente y efluente de la laguna.
- Determinar la presencia de macroinvertebrados acuáticos en el afluente y efluente indicando su abundancia y diversidad.
- Definir la calidad del agua del principal afluente y efluente con índices bióticos y su relación con los parámetros físico químicos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

Las cantidades relativamente pequeñas de agua dulce corresponden a ríos, lagos, y lagunas que son ecosistemas muy importantes por ser hábitat de diferentes especies, fuente de suministro de agua potable, centros de recreación, y cultivo de organismos acuáticos. Pese a esta situación la cantidad del agua ha disminuido progresivamente por efectos de su desperdicio y contaminación lo que ha indicado un manejo inadecuado del recurso hídrico.

Marín (2), indica que en nuestro país existen cerca de 1600 cuerpos de agua identificados como lagunas, lagos y embalses, los cuales contienen importantes reservas de agua utilizables con un volumen total aproximado de 26.300 millones de metros cúbicos. El 97.5 % cubren superficies menores de una hectárea y poseen una profundidad reducida; sin embargo, están estudiados los más grandes, particularmente los ubicados en la región Andina.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (3), en Nariño existen un total de 34 lagunas, con un volumen de 1.760.999 miles de metros cúbicos y tres embalses con un volumen de 20.953 miles de metros cúbicos.

(2) MARÍN, Rodrigo. Estadística sobre el recurso agua en Colombia. 2 ed. Bogotá : Arte.1992, p. 50.

(3) INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. El medio ambiente en Colombia. Bogotá : IDEAM. 1998, p. 103.

Roldán (4), afirma que desde el punto de vista ecológico, los sistemas acuáticos se conciben como conjuntos de subsistemas al interior de los cuales se desarrollan procesos biológicos y relaciones ecológicas que integrados entre sí y con el medio externo determinan el comportamiento total del ecosistema. Todo ecosistema acuático está conformado por factores bióticos y abióticos. Dentro de los primeros están las plantas, los animales y los microorganismos (hongos y bacterias, principalmente); dentro de los segundos están, la temperatura, los nutrientes, el pH, los gases disueltos, la alcalinidad, entre otros.

Según Wetzel (5), los análisis de la dinámica de los sistemas vivientes acuáticos requiere una profunda comprensión de la fisiología y bioquímica de los organismos, integrada en un conocimiento de los parámetros ambientales y las variables físico – químicas que los pueden afectar, con lo que se ejerce un control funcional de estos recursos.

El cuidar y preservar ecosistemas acuáticos superficiales, catalogados como los más frágiles y a la vez los que reciben el mayor impacto ambiental debido a su manejo inadecuado y a la falta de una planificación; se ha convertido en una prioridad para lo cual es necesario el estudio y determinación del estado actual de este tipo de ecosistemas.

2.2 CUERPOS DE AGUA LÉNTICOS

Roldán (6), denomina a los sistemas acuáticos lénticos, aquellos en los cuales sus aguas están quietas y cerradas. Por definición, un *lago* es una extensión de agua rodeada de tierra por todas partes que alcanzan o rebasan cierta profundidad mínima; *laguna*, es algo similar, pero más pequeña.

(4) ROLDAN, Op. cit., p. 4

(5) WETZEL, Robert. Limnología. Barcelona : Omega. 1981, p. 4.

(6) ROLDAN, Op. cit., p. 5 - 7

El mismo autor indica que todos los lagos y lagunas tienen su origen en fenómenos geológicos. Debido a la conformación física, todos los lagos tienden necesariamente a acumular sedimentos; por tanto, estos pasan por una etapa de juventud, madurez, envejecimiento y muerte cuando se llenan totalmente de sedimentos.

Wetzel (7), afirma que la geomorfología de un lago determina la naturaleza de su drenaje, la entrada de nutrientes, y el volumen de agua que penetra en él con relación a su tasa de renovación. Así mismo, esta característica se refleja perfectamente en los acontecimientos físicos, químicos y biológicos, que juegan un papel importante en el control del metabolismo del lago, teniendo en cuenta las características climatológicas de su localización. Estos modelos rigen la distribución de los gases disueltos, nutrientes y organismos.

Donato (8) divide a los sistemas acuáticos de alta montaña tropical en dos grupos: El primero lo constituyen los lagos y lagunas situados en el piso térmico del modelado glacial heredado, localizado entre los 3000 y 3800 m.s.n.m. Debido a que el hombre causa una continua intervención en estas zonas ya sea por las actividades agrícolas, ganaderas y de deforestación, el agua de estos sistemas presenta un deterioro que acelera la colmatación y la eutroficación, consecuencia del proceso de colonización social de la montaña andina.

El segundo está constituido por los lagos y lagunas situados entre 3800 a 4600 m en el piso periglacial. Estos son reservorios de agua de consumo y sus cuencas sólo registran actividades como la ganadería extensiva. Se considera que esta actividad es una de las causas principales de los procesos de colmatación debido a la remoción de turberas y al pisoteo de ganado. En general las masas de agua son muy oligotróficas.

(7) WETZEL, Op. cit., p. 15

(8) DONATO, John. Fitoplancton de los lagos Andinos del norte de Sudamérica : Composición y factores de distribución. Bogotá : Guadalupe, 2001, p. 8–9.

2.3 ESTUDIOS EN AGUAS LENTICAS DE ALTA MONTAÑA TROPICAL

Roldán ⁽⁹⁾, considera que los estudios de lagos, lagunas y ciénagas a pesar de ser ecosistemas muy abundantes en Colombia, sus reportes aun son muy escasos. Da a conocer los primeros trabajos de Alvarado y Pinilla (1977), donde realizaron un estudio del zooplancton del lago de la Tota, a Flores (1978) que efectuó también un estudio en el mismo lago en relación con su eutroficación, calidad bacteriológica y composición planctónica, y a Ramírez y Machado (1982), donde analizaron la influencia de la precipitación y los ortofosfatos sobre el fitoplancton de la represa la Fe.

Pinilla ⁽¹⁰⁾, publica un estudio sobre la estructura de la comunidad planctónica de pequeños lagos artificiales en la microcuenca de la quebrada La Playa (Caldas y Boyacá); aquí se tuvo en cuenta las características físico – químicas del agua y la estructura y función de sus comunidades fito y zooplanctónicas. Las comunidades biológicas analizadas mostraron una complejidad reducida que se reflejó en sus bajas diversidades y abundancias de organismos, a causa de su fuerte estrés ecológico, tamaño de los reservorios y su reciente construcción que no ha permitido la maduración y aprovechamiento de estos ecosistemas.

(9) ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología Neotropical. Medellín : Universidad de Antioquía. 1992, p. 44 – 46

(10) PINILLA, Gabriel. Síntesis de la ecología de pequeños lagos. En : Memorias del Seminario Taller sobre Investigaciones limnológicas recientes en ecosistemas acuáticos. Santa Fé de Bogotá : COLCIENCIAS y Universidad Jorge Tadeo Lozano. 1994, p. 130 – 160.

El mismo autor determinó una síntesis de la ecología de los pequeños lagos artificiales y su modelación matemática en la microcuenca de la quebrada La Playa (Caldas y Boyacá). Aquí todas las comunidades estudiadas indicaron condiciones de oligo a mesotróficas, lo cual coincidió con las determinaciones del estado trófico mediante el uso de parámetros físico – químicos. En general estos sistemas dieron a conocer que fueron poco eficientes en el manejo de flujos energéticos debido a su reducida complejidad estructural. No obstante el agua almacenada presentó buenas características físico – químicas y biológicas para las actividades de riego y drenaje, razón por la cual se modelaron matemáticamente los cambios en la cantidad de agua acopiada a lo largo del año.

Donato, Gonzáles, y Rodríguez (11), realizaron un minucioso estudio ecológico de dos sistemas acuáticos de páramo, referentes a la laguna de Chingaza y el Embalse de Chuza; este estudio se basó principalmente en una caracterización limnológica enfatizada en sus parámetros físicos – químicos y fitoplanctónicos que determinaron su grado de colmatación y contaminación ambiental.

Publicaciones más actuales han sido realizadas por Donato (12), Mediante un estudio extensivo e intensivo en lagos de los Andes de Colombia donde se determinó la variabilidad regional, y la variación horizontal y temporal del fitoplancton. Este trabajo surgió como una necesidad de conocer y entender los procesos que se presentan al interior de los lagos de páramo como son la productividad, biomasa, estado trófico, ciclo de nutrientes, variables integradas al cambio climático y bioquímica del sistema lacustre.

(11) DONATO, Jhon; GONZALES, Luz Estela, y RODRIGUEZ, Claudia. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Santa Fé de Bogotá : Guadalupe. 1996 p. 70 – 72.

(12) DONATO, Op. cit., p. 134 – 138.

Para el Departamento de Nariño, se tiene los estudios realizados por Navas, Ortiz, y Solarte (13), con su aporte introductorio a la limnología del lago Guamués que propone ante todo la determinación de los factores físico – químicos; estos análisis demostraron que las aguas naturales superficiales del lago se encuentran dentro de las concentraciones normales según lo establecido por las normas del Standar Methods, así como también las condiciones de oligotrofia, y una determinación taxonómica del fito y zooplancton demasiado generalizada que no sobrepasó el nivel de familia y subfamilia.

Posteriormente, Buchelli (14), publicó un estudio sobre la limnología del lago Guamués y sus posibilidades para el desarrollo de la acuicultura, durante un periodo de un año, seleccionando cinco sitios de muestreo cercanos a las orillas del lago. Para el mismo tiempo Rengifo (15) analizó sus parámetros físicos, químicos y biológicos para dos épocas, una de verano y otra de invierno, evaluando la densidad de plancton, concluyendo, que por el alto grado de transparencia la producción de fito y zooplancton es bastante baja y que por lo tanto no es un lago adecuado para el cultivo de peces herbívoros, aunque podría serlo para el cultivo de salmónidos en jaula.

(13) NAVAS, Luis; ORTIZ, Gabriel, y SOLARTE, María Elena. Introducción al estudio limnológico del Lago Guamués. En : Revista actas biológicas. Pasto : Universidad de Nariño. 1988. P. 127 – 139.

(14) BUCHELLI, Libardo. Limnología del Lago Guamués y sus posibilidades para la acuicultura. Tesis de promoción. Pasto : Universidad de Nariño. Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados y Relaciones Internacionales. 1992 p. 1 – 3.

(15) RENGIFO, Soraya. Análisis físico – químico y biológico del lago Guamués. Tesis especialización ecología. Pasto : Universidad de Nariño. Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados y Relaciones Internacionales. 1992. p. 105.

Córdoba, Guzmán, y Rosales (16), contribuyeron con la caracterización limnológica de la Laguna Negra, que analizó los principales agentes físicos – químicos y biológicos que definieron la calidad del agua, así como también se elaboró la cartografía básica de la microcuenca que sirvió para establecer los parámetros morfométricos de la laguna.

García, Mora, y Rodríguez (17), aportaron nuevamente con estudios referentes a la evaluación de parámetros físico – químicos como indicadores del grado de eutroficación del lago Guamués. Los resultados demostraron que las concentraciones de los parámetros evaluados continúan dentro de los valores normales para aguas de lagos oligotróficos.

Respecto a la laguna La Bolsa, es muy poco lo que se conoce a excepción de algunos estudios realizado por Donato (18), donde demostró que en esta laguna la distribución de fitoplancton puede darse gradualmente o cuando se presenta el periodo de menos lluvias, entonces las Nostocoficeas dan paso a las Clorococcales y cuando hay una homogeneidad térmica, Criptófitos, Dinófitos y Euglenofitos, pueden representar importante presencia en la capa fótica sin indicar dominancia respecto a toda la comunidad de fitoplancton del lago.

(16) CÓRDOBA, Carlos; GUZMÁN, Luis, y ROSALES, Guillermo. Caracterización limnológica de la Laguna Negra. Pasto, 1995. Tesis de grado. Especialización en Ecología : Universidad de Nariño. Escuela de Post– grado. P. 112- 114

(17) GARCÍA, Roberto; MORA, Amanda, y RODRÍGUEZ, Hugo. Evaluación de parámetros físico – químicos como indicadores del grado de eutroficación del Lago Guamués. Pasto, 2001. Tesis Ingeniero en Producción Acuícola : Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. p. 79– 80.

(18) DONATO, Op. cit., p. 114 – 116

De la misma manera los resultados indicaron que las Diatomeas no tienen una respuesta anual y por tanto, se confinaron a profundidades intermedias y altas, constituyéndose probablemente en un componente accidental, entonces se vio una estabilidad en la composición del fitoplancton, donde la segregación vertical en las variables ambientales, la estabilidad o constancia térmica de la masa de agua, la secuencia entre el periodo de lluvias y el de menos lluvias, fueron los aspectos que determinaron la distribución fitoplanctónica del lago.

2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA

2.4.1 Temperatura. Según Castro (19), la temperatura y la cantidad de calor en el agua son reguladores de la actividad fisiológica y de las velocidades de reacción química en general. La temperatura se relaciona con la solubilidad de los gases y las variaciones de densidad, la hidrodinámica, la estratificación e incluso con las variaciones de toxicidad de una sustancia.

Roldán (20), expresa que en los lagos de alta montaña en regiones ecuatoriales no se presenta la estratificación debido a que la temperatura es más o menos uniforme durante todo el año, y muy poca variación de la misma de la superficie al fondo.

2.4.2 Transparencia. Está muy relacionada con la turbidez y el color, nos indica la profundidad a que penetra la luz y determina el límite de la fotosíntesis.

(19) CASTRO, María Elena. Estudio de la polución de aguas continentales. Popayán : Universidad del Cauca. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 1995, p. 26.

(20) ROLDAN, Op. cit., p. 218

Para Cole (21), la transparencia Secchi se expresa como la profundidad en metros y es la mitad de la distancia recorrida por la luz, hasta el disco y su regreso al ojo del observador. Multiplicando la transparencia por un valor de 2.7 (constante de Pool y Atkins).

Roldán (22) da a conocer que los lagos oligotróficos poseen transparencias que varían entre 10.0 y 20.0 m. Existen datos hasta de 40 m. como es el caso de los lagos Crater y Tahoe en los Estados Unidos; el lago Cristal en Wisconsin, uno de los más claros, ha presentado un promedio de transparencias de 15 m. En el trópico, lagos de altas montañas formados por origen volcánico o por glaciaciones, presentan transparencias similares a las del lago cristal.

2.4.3 Color. El color en el agua depende de la luz dispersa y reflejada así como también del color de las propias partículas.

Roldán (23), considera que desde el punto de vista limnológico, el color verdadero (llamado a veces color específico del agua), depende de las sustancias en solución. Por otro lado el color aparente, es el resultado de la acción de la luz sobre las partículas suspendidas, naturaleza del fondo o reflexión del cielo.

2.4.4 Turbiedad. Es un término que se usa para describir el grado de opacidad del agua producida por las partículas en suspensión que interfieren en el paso de luz a través del agua y en consecuencia regula sus procesos biológicos.

(21) COLE, Gerald. Manual de Limnología. Montevideo : Hemisferio sur. 1988, p. 180 - 182.

(22) ROLDAN, Op. cit., p. 201.

(23) Ibid., p. 203.

Rodier (24), afirma que la turbiedad en el agua puede causarla partículas de arcilla, limo, detritos orgánicos, descarga de agua residual, desechos industriales o la presencia de numerosos microorganismos.

2.5 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA

2.5.1 pH. Mide el grado de acidez o basicidad de una muestra de agua.

Las variaciones del pH según Margalef (25), provienen de los procesos naturales, pero también son ocasionados por la interacción de los procesos antrópicos (deposición seca de óxidos de Nitrógeno y Azufre, la lluvia ácida, los efluentes de las minas de hierro y carbón principalmente y el agua proveniente de las actividades agrícolas e industriales). Los valores normales en las aguas varían entre 6.9 y 7.3 que dependen de la geoquímica de los suelos, de las aguas de lavado, y de la dinámica física y química del bióxido de carbono, el ácido carbónico y bicarbonatos.

2.5.2 Oxígeno disuelto. Es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos.

(24) RODIER, J. Análisis de las aguas : Aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar. Barcelona : Omega. 1981, p. 66.

(25) MARGALEF, Ramón. Limnología. Barcelona : Omega. 1983, p. 58.

Roldán (26), define que las fuentes principales de oxígeno en los lagos son el aire y el producido por fotosíntesis. En los lagos profundos la producción de oxígeno por fotosíntesis está restringida solamente en la zona **eufótica**. En el litoral, el oxígeno es producido parcialmente por la vegetación enraizada. En los trópicos, la cantidad de oxígeno permanece más o menos constante durante todo el año; donde algunos factores tales como la eutroficación (artificial o natural) pueden alterar la concentración de este elemento.

2.5.3 Dióxido de carbono. De acuerdo con Vallentyne (27), el CO₂ en el agua actúa como un “buffer” contra los cambios rápidos de acidez y alcalinidad, regulando los procesos biológicos en las comunidades acuáticas.

Para Roldán (28), la cantidad de CO₂ presente se ve regulado por la actividad fotosintética en un cuerpo de agua, es decir, por su producción primaria. Este parámetro se incrementa por la descomposición de materia orgánica, por la respiración de las truchas y otros animales acuáticos existentes, por la respiración de las plantas acuáticas y por el agua lluvia que lo arrastra consigo desde la atmósfera. Los valores normales para lagos y lagunas de alta montaña varían entre 1.0 y 4.0 mg/l.

2.5.4 Alcalinidad. Cole (29), indica que este parámetro se expresa en mg/l. de carbonato de calcio (CaCO₃), indicando la concentración de iones procedentes de bicarbonatos o carbonatos presentes en el agua determinando la capacidad para neutralizar ácidos para regular el pH.

(26) ROLDAN, Gabriel. Manual de Limnología. Guía teórico práctica. Medellín : Universidad de Antioquía. 1987, p. 34.

(27) VALLENTYNE, John. Introducción a la limnología. Barcelona : Omega. 1978, p. 102.

(28) ROLDAN, Op. cit., p. 226.

(29) COLE, Op. cit., p. 263.

Según Roldán (30), aguas con valores de alcalinidad menores de 24 mg. de CaCO_3/l , tienen una baja capacidad reguladora y por consiguiente son susceptibles de alterar su pH por la deposición ácida de la atmósfera, así por ejemplo, en la mayoría de los ecosistemas neotropicales presentan valores reales entre 10 y 60 mg/l.

2.5.5 Conductividad eléctrica. Margalef (31), determina que este parámetro mide el flujo de los electrones a través del agua, donde acciones como la corriente eléctrica aumenta la presencia de electrones, siendo la primera manifestación visual de un enriquecimiento de iones en el agua la aparición de auges de fitoplancton (aguas verdosas, amarillentas).

Según Rodier (32), los intervalos de conductividad eléctrica de las aguas superficiales varían de 10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero pueden exceder los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ especialmente en aguas contaminadas que reciben una gran cantidad de escorrentía. La conductividad está relacionada con las zonas de contaminación alrededor de una descarga de un afluente y su seguimiento puede ser utilizado para estimar la extensión de la influencia de las aguas de escorrentía; los valores asumidos por esta variable determinan su uso potencial debido a que la influencia de las actividades domésticas e industriales modifican los valores naturales, produciendo cambios en la capacidad del uso del agua y en la viabilidad de los recursos hidrobiológicos.

2.5.6 Nitrógeno y sus compuestos. La importancia principal del nitrógeno en el agua descansa en el hecho de que es uno de los elementos más importantes para la productividad primaria.

(30) ROLDAN, Op. cit., p. 257.

(31) MARGALEF, Op. cit., p. 41 - 45

(32) RODIER, Op. cit., p. 39

Wetzel (33), indica que en el ciclo del nitrógeno el NH_3 es luego atacado por ciertas bacterias para formar iones nitrato (NO_2); luego por reducción se forman iones amonio y nitrito (NH_3 , NO_3). Finalmente, el nitrógeno retorna a la atmósfera cuando las bacterias desnitrificantes convierten el nitrato en nitrógeno atmosférico.

2.5.6.1 Amonio. Para Wetzel (34), el amonio es el producto de la descomposición de la materia orgánica realizada por las bacterias heterótrofas, a partir de los compuestos orgánicos nitrogenados. El amonio se distribuye en un lago de una forma variable dependiendo del nivel de productividad, y de la cantidad de polución debida a la materia orgánica.

Según Roldán (35), para aguas oligotróficas los valores están entre 0.1 y 0.2 mg/l., concentraciones superiores a 0.25 mg/l. de amonio, afectan el crecimiento de los peces y valores superiores a 0.5 mg/l. se consideran letales.

2.5.6.2 Nitritos. Roldán (36), indica que se forman por la acción de las bacterias nitrificadoras como las nitrosomas y por la oxidación de amoniaco o reducción de nitratos. El nitrito (NO_2), se halla en concentraciones menores de 0.1 mg/l. en aguas oxigenadas, aguas con concentraciones superiores a 0.3 mg/l. no son recomendables para usos varios, ya que su presencia en el agua indica contaminación por materia orgánica.

(33) WETZEL, Roberth. Limnología. Barcelona : Omega. 1981, p. 298

(34) Ibid., p. 288.

(35) ROLDAN, Op. cit., p. 310.

(36) Ibid., p. 310

2.5.6.3 Nitratos. Para Wheaton (37), es el paso final en el ciclo del nitrógeno donde por oxidación se pasa de nitrito a nitratos por acción de las bacterias *nitrobacter sp.*, siendo esta la forma de nitrógeno inorgánico preferido por la mayoría de las plantas.

2.5.7 DBO (demanda biológica de oxígeno). Vallentyne (38), afirma que la DBO se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

Para Rodier (39), una DBO de una ppm. es característica de agua casi pura y una pureza dudosa cuanto llega a 5 ppm. Las aguas residuales municipales sin tratar, pueden presentar una gama de 100 a 400 ppm. de DBO. Aguas de hasta 20 mg/l. de DBO son aptas para consumo humano.

2.5.8 DQO (demanda química de oxígeno). Según Vallentyne (40), la DQO siempre es mayor que la DBO, por que es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológica y las condiciones oxidantes son más severas.

Para Margalef (41), la prueba de DQO, es la medida de carga orgánica presente en una muestra. En general, todos los compuestos orgánicos pueden ser oxidados hasta CO₂ por agentes oxidantes de naturaleza química. Por tanto, es un parámetro muy utilizado para determinar la calidad de aguas.

(37) WHEATON, Frederick. Acuicultura : Diseño y construcción de sistemas. México, Editores A C T. 1982, p. 156.

(38) VALLENTINE, Op. cit., p. 188.

(39) RODIER, Op. cit., p. 52

(40) VALLENTINE, Op. cit., p. 190– 191

(41) MARGALEF, Op. cit., p. 266

Se ha establecido una fórmula que relacione la DBO₅ con la DQO para indicar el porcentaje de contenido orgánico susceptible de oxidarse en cinco días. Si la relación se aproxima al 80 % indica que la mayor parte de la materia orgánica es biodegradable rápidamente.

$$\frac{\text{DBO}_5}{\text{DQO}} \times 100$$

2.5.9 Sólidos totales. Wetzel (42), establece que es un parámetro útil para conocer las relaciones edáficas y la productividad en un cuerpo de agua e indica la concentración total de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales.

Para Rodier (43), los sólidos totales corresponden a la suma de los sólidos disueltos, los suspendidos y los sedimentables; su incremento exagerado afecta notablemente la biota presente en el agua y además, influyen en la transparencia y color de la misma.

2.5.10 Sólidos suspendidos. Están formados por una amplia variedad de materiales finamente divididos y suspendidos en el cuerpo del agua que inciden directamente sobre la turbiedad.

Según Margalef (44), su valor se incrementa por la acción de la erosión hídrica que arrastra materiales inorgánicos y orgánicos. También contribuye el aporte de micelas arcillosas, limosas y orgánicas.

2.5.11 Dureza total. Es el contenido total de las sales disueltas de calcio y magnesio, así como también de la presencia de otros cationes divalentes como el hierro o el manganeso.

(42) WETZEL, Op. cit., p. 46 - 47.

(43) RODIER, Op. cit., p. 111.

(44) MARGALEF, Op. cit., p. 281.

Bernabé (45), establece que los lagos que contienen rocas solubles, los carbonatos y bicarbonatos aumentan, el pH puede ser superior a 8.0 y la productividad se incrementa considerablemente; esta agua se conocen como duras. Por su parte, lagos formados en regiones con rocas poco solubles, contienen baja cantidad de carbonatos y bicarbonatos; el pH de estos lagos es por lo regular neutro o un poco por debajo de 7.0 y su productividad es baja. Lagos de esta naturaleza se conocen como de aguas blandas.

2.5.12 Calcio y Magnesio. Para el IDEAM (46), son los cationes más abundantes de las aguas dulces. La actividad química de estos dos elementos es similar, en particular en la formación de sales de carbonato, y ambos pueden ser factores limitantes de los procesos biológicos de los ecosistemas acuáticos. Su incremento puede darse por acción disolvente del agua sobre las calizas, yesos, feldespatos y dolomitas.

Según Ohle, (1934) citado por Roldán (47), aguas poco productivas son aquellas que poseen menos de 10 mg/l. de calcio; aguas medianamente productivas las que poseen valores entre 10 y 25 mg/l. y aguas muy productivas las que poseen valores superiores a los 25 mg/l.

Para Roldán (48), el magnesio constituye el núcleo de la molécula de clorofila, de ahí la importancia que tiene para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos. La concentración natural del magnesio en las aguas puede llegar a más de 100 mg/l, dependiendo del tipo de roca. Aunque el magnesio se usa en muchos procesos industriales estos contribuyen relativamente poco al contenido total de magnesio en las aguas superficiales.

(45) BERNABE, Gerard. Bases biológicas y ecológicas de la acuicultura. Zaragoza : Acribia. 1996, p. 40.

(46) IDEAM, Op. cit., p. 200.

(47) ROLDAN, Op. cit., p. 280.

(48) Ibid., p. 280.

2.5.13 Cloruros. Son uno de los aniones más importantes en el agua, y su origen está íntimamente ligado a las condiciones edáficas.

Según el IDEAM (49), actualmente el aporte de los desechos metabólicos de la población truchícola o la contaminación por la actividad humana, constituyen una fuente importante de incremento de cloruros en el agua; sin embargo, las aguas superficiales en nuestro medio son bajas en cloruros de 1.0 a 5.0 mg/l., aunque aguas subterráneas incrementan a menudo este anión.

Para Roldán (50), los cloruros son los principales responsables de la salinidad en el agua. En las aguas dulces, la diversidad de especies está inversamente correlacionada con la salinidad y por lo tanto, a mayor porcentaje de cloruros, menor diversidad.

2.5.14 Sulfatos. Según Roldán (51), la forma más común de encontrar el azufre en el agua es como sulfato (SO_4^{2-}), éste entra en el agua a través de la lluvia y por disolución de rocas que contengan compuestos relacionados con este ión.

Para el Ministerio de Salud (52), los sulfatos en las aguas naturales varían de 2 a 80 mg/l, aunque pueden alcanzar valores de hasta 1000 mg/l en las zonas muy próximas a las descargas industriales o en regiones áridas en donde existen minerales de sulfato como el yeso.

(49) IDEAM, Op. cit., p. 168.

(50) ROLDAN, Op. cit., p. 287.

(51) Ibid., p. 283.

(52) COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1594 de 1984 : Usos del agua y residuos líquidos. p. 70.

Roldán ⁽⁵³⁾, afirma que los sulfuros se encuentran en las aguas subterráneas como producto de la descomposición de minerales y gases volcánicos. En las aguas superficiales provienen de procesos anaeróbicos en los que las bacterias actúan sobre sustancias orgánicas en sedimentos profundos de ecosistemas lénticos. Concentraciones bajas suelen ser normales en aguas quietas y provienen de la descomposición de materia vegetal y animal, pero concentraciones altas son indicativas de vertimientos de aguas domésticas o industriales. Lagos con menos de 5 mg/l. son ultraoligotróficos; de 5 a 10 mg/l. son oligomesotróficos.

2.5.15 El fósforo. Margalef ⁽⁵⁴⁾, indica que ecológicamente hablando, el fósforo se considera a menudo como el factor más crítico en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos que junto con el nitrógeno son los principales determinantes de la productividad de un lago.

La concentración de fósforo según Roldan ⁽⁵⁵⁾ permite a las plantas asimilar más nitrógeno antes que el fósforo se agote. Así, si hay suficiente fósforo, altas concentraciones de nitratos llevarán a un florecimiento algal. Niveles de 0.08 a 0.10 mg./l. de ortofosfatos pueden activar florecimientos periódicos de algas. Normalmente se prevendrá la eutroficación a largo plazo si los niveles de fósforos totales y ortofosfatos están en los rangos de 0.05 mg./l y 0.5 mg/l, respectivamente. Valores más altos indican que son ecosistemas muy intervenidos por el hombre o eutrofificados.

(53) ROLDAN, Op. cit., p. 283.

(54) MARGALEF, Op. cit., p. 319.

(55) ROLDAN, Op. cit., p. 313

2.6 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DEL AGUA

Estos análisis se han basado principalmente por el interés en los aspectos sanitarios. Por tanto, es necesario un análisis bacteriológico del agua para determinar su adaptabilidad al consumo humano, así como para controlar la eficacia de los métodos de potabilización.

Para Rodier (56), la colimetría, designa los métodos bacteriológicos que permiten investigar y contar los coliformes de una muestra de agua, importantes porque definen el estado higiénico de la misma; para tal fin es preciso hallar el número de gérmenes saprófitos o de colonias de bacterias procedentes del intestino humano como posibles indicadoras de contaminación fecal.

La identificación de coliformes según Rheinheimer (57) reagrupa un cierto número de especies bacterianas pertenecientes a la familia de las Enterobacteriaceae, este tipo de bacterias que se caracterizan por fermentar la lactosa con producción de gas y ácido (CO_2 y H_2S), se desarrollan en el intestino del hombre y de los animales homotermos y pueden multiplicarse en aguas residuales y superficiales.

Según Rodier (58) los coliformes son interesantes porque un gran número de estos microorganismos viven en materiales fecales y son resistentes a los gérmenes antisépticos, principalmente al cloro y a sus derivados. Así pues, el examen bacteriológico del agua refleja el estado actual de ella, pudiendo variar con mucha rapidez, sobre todo si se trata de ríos y lagos con asentamientos humanos en sus alrededores que puedan alterar de alguna manera la verdadera calidad del agua.

(56) RODIER, Op. cit., p. 685 – 690.

(57) RHEINHEIMER, Op. cit., p. 80.

(58) RODIER, Op. cit., p. 687.

2.7 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Roldán, Posada, y Gutiérrez (59), definen a los “macroinvertebrados” como aquellos organismos acuáticos que se pueden ver a simple vista; normalmente poseen un tamaño mayor de 0.5 mm. Dentro de estos se encuentran poríferos, hidrozooos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gastrópodos y bivalvos. Estos organismos viven sobre el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre su superficie y además pueden ser indicadores de calidad del agua.

2.8 INDICADORES ECOLÓGICOS

Del castillo (60), señala que dentro de la limnología estos indicadores juegan un papel importante por determinar la frecuencia de un organismo en un ambiente, y bajo ciertas condiciones autoecológicas y sinecológicas, permite al investigador hacer inferencias sobre las condiciones ambientales del medio en que se encuentra.

(59) ROLDAN, Gabriel; POSADA, José, y GUTIERREZ, Carlos. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de piedras blancas. Bogotá : Guadalupe, 2001, p. 37.

(60) DEL CASTILLO, Benjamín. Indicadores biológicos de los afluentes del lago Guamés. Pasto, 1993. Trabajo de grado especialización en ecología. Universidad de Nariño. Escuela de Post – grado. p 45 - 46.

Roldán ⁽⁶¹⁾, considera que un organismo es un buen indicador de calidad de agua, cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los cuales comparten el mismo hábitat. Igualmente, un buen indicador es aquel que es abundante y que tiene amplia distribución geográfica. Así por ejemplo, en ríos de alta montaña, de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominante de efemerópteros, tricópteros y plecopteros; pero también se espera encontrar en menor proporciones, odonatos, hemípteros, dípteros, neuropteros, y otros grupos menores.

Por el contrario, en aguas que están siendo contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, chironomidos y ciertos moluscos; pero ocasionalmente, pueden encontrarse algunos pocos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias. En situaciones intermedias, en aguas que comienzan a mostrar síntomas de contaminación, o por el contrario que comienzan a recuperarse, es común encontrar poblaciones dominantes de turbelarios, hirudineos, ciertos moluscos (*Lymnaeidae* y *Physidae*), *chironomidae* y oligoquetos, mezclados en menor proporción con ciertos efemerópteros y tricópteros.

2.8.1 Diversidad. El término diversidad según Cole ⁽⁶²⁾, tiene dos componentes principales: riqueza específica, que se refiere al número de especies en una muestra, comunidad o hábitat, y equitabilidad o la uniformidad con la que los individuos están distribuidos entre las especies.

(61) ROLDAN, Op. cit., p. 418– 419.

(62) COLE, Op. cit., p. 85.

Para la cuantificación de la diversidad Roldán ⁽⁶³⁾, da a conocer diferentes índices que difieren entre sí en los supuestos referentes a la abundancia relativa de las especies, a la susceptibilidad a diferentes tipos de cambios de la estructura de la comunidad y al grado de independencia respecto al tamaño de la muestra.

Los diferentes índices de diversidad de especies reflejan no solamente la distribución de estas, sino también la importancia de cada especie en la comunidad. En el estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos se han utilizado una gran variedad de índices que tratan de cuantificar matemáticamente las características de una comunidad, quedando implícitas las nociones de madurez, equilibrio y estabilidad del ecosistema; entre los más destacados esta la función de Shannon – Wiener. Este índice refleja igualdad, mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad, mayor es el valor, independientemente del tamaño de la muestra resultando una buena medida de la diversidad ecológica.

Se tiene también, el índice de Margalef usualmente llamado de riqueza. Según Moreno ⁽⁶⁴⁾, este índice transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Suponiendo entonces que existe una relación funcional entre el número de especies y número total de individuos.

Existen otros índices de diversidad como el de Simpson o el de Berger – Parker, los cuales se basan en la dominancia, representando parámetros inversos a la uniformidad o equidad de la comunidad y por tanto, toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies.

(63) ROLDAN, Gabriel. Manual de limnología : Guía teórico práctica. Medellín : Universidad de Antioquía, 1987, p. 59 – 60.

(64) MORENO, Claudia. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza : SEA. 2001, p. 26 – 41.

2.8.2 Similitud. Es el sistema más fácil para medir cuan similares son una serie de comunidades en términos de composición de especies o en términos de abundancia.

Según Moreno (65), los índices más usados para determinar la similitud entre especies son el índice de Jaccard y el de Sorenson, que permiten establecer la similitud entre las comunidades presentes en dos estaciones. No tienen en cuenta las abundancias de las especies sino tan solo su presencia o ausencia. Estos índices están diseñados para ser igual a 1 en casos de similaridad completa e igual a 0 en comunidades sin especies en común.

2.8.3 Enfoque Biótico. Roldán (66), indica que este método incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad, combinando una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cualitativa sobre la sensibilidad ecológica de taxones de individuos en una expresión numérica simple.

Para su cálculo se considera entonces el método BMWP, que evalúa la calidad del agua usando los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Este método solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia / ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. La suma de los puntajes de todas las familias da el valor BMWP.

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT, deriva del puntaje total BMWP dividido por el número de los taxa; este es un índice particularmente valioso para la evaluación de un sitio objeto de estudio. Sus valores van de 0 a 10; así pues, si existe un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación.

(65) MORENO, Op. cit., 50 – 52.

(66) ROLDAN, Gabriel. Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. Art. Universidad de Antioquia. Departamento de Biología. Grolan@matemáticas.udea.edu.co. p. 20 – 32

3. METODOLOGÍA

3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el extremo sur oeste de Colombia se encuentra el Departamento de Nariño, el cual se ha convertido en un sinónimo de agua, por ofrecer un paisaje Andino enclavado en las altas montañas que guardan con recelo las lagunas, en cuyos alrededores se destacan bosques con una exuberante vegetación de frailejones *Espeletia picnophyla*, helechos *Blechnum loxense*, motilones *Hyeronima macrocarpa*, arrayanes *myrcia sp.* etc. así como otras especies autóctonas de gran utilización para los habitantes de la región.

Según el plan de desarrollo de Cumbal ⁽⁶⁷⁾, este municipio se localiza al pie del volcán (4768 m.s.n.m.) que lleva su mismo nombre. Tiene una localización astronómica al sur occidente del Departamento de Nariño, bajo las coordenadas de 0°, 55´ de latitud norte y 77°, 48´ de longitud oeste. Su altura sobre el nivel del mar es de 3032 m., y una temperatura promedio anual de 11 °C. La mayor parte del territorio tiene montañas altas y escarpadas a excepción de extensas áreas planas como la que sirve de ubicación a la población urbana.

El municipio de Cumbal se conforma por 8 veredas, entre ellas la vereda Tasmag, de cuya región se derivan 8 sectores y entre estos el sector La Laguna en donde se encuentra el área de estudio.

(67) ALCALDÍA MUNICIPAL DE CUMBAL. Plan de Desarrollo del Municipio de Cumbal, 1998, p. 15 – 18.

El sector de medio ambiente (68), indica que la laguna La Bolsa es de formación volcánico – glacial ubicada en la zona más meridional de la cordillera de los Andes al sur del Departamento de Nariño, más específicamente al pie del Volcán Cumbal, a 8 km del sector urbano. Su altitud es de 3424 m.s.n.m., con una ubicación geográfica de 77° 58' W y 1° 07' N. Esta laguna se caracteriza por su paisaje natural, por ser navegable y por su atractivo turístico. Sus aguas son heladas y presenta una coloración ligeramente oscura. El clima es frío con temperaturas que oscilan entre 0 °C y 10 °C, durante el día; y en la noche se registran temperaturas bajo 0 °C.

Figura 1. Laguna La Bolsa



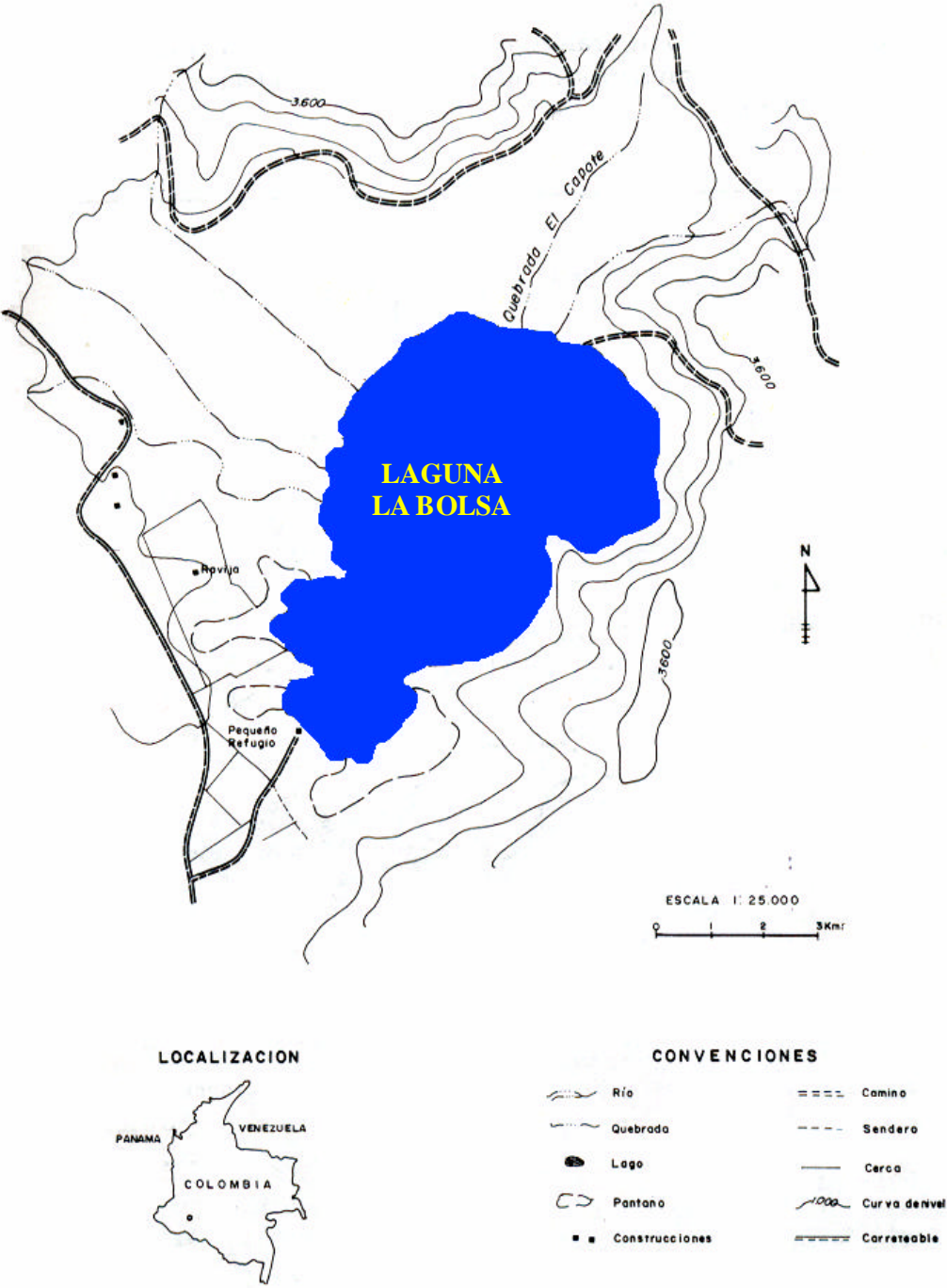
(68) ALCALDÍA MUNICIPAL DE CUMBAL. Cumbal Ayer, Hoy y Siempre : Sector medio ambiente. 1998, p. 25 – 26.

Donato ⁽⁶⁹⁾, describe a esta laguna como de forma subcircular, (Figura 2) con un alargamiento hacia el suroeste que coincide con el río Cuacé, su único efluente. Este sector se caracteriza porque las actividades agrícolas, ganaderas y piscícolas han conducido a tasas substanciales de deforestación lo cual ha influido directamente en la disminución del caudal del río que dependiendo de la época climatológica este puede variar de 100 a 180 l./s.

Hacia el oeste, está limitada por una amplia zona pantanosa y de turbera restos de un antiguo valle aluvial y glacial. Esto coincide con las suaves pendientes y la progresión lenta en la profundidad sobre aquella área. El sector oriental esta limitado por una morrena lateral alargada en sentido NE – SO, lo que determina que en este sector las pendientes son medianamente altas, permitiendo un gradiente rápido a las áreas de mayor profundidad. En la dirección norte, se localiza un valle aluvial actual que está alimentado por la quebrada Capote, su principal afluente con un caudal que varía aproximadamente entre los 80 a 120 l./s. dependiendo de la época climática, sin embargo, su mínimo declive hace que sus aguas en temporada seca se mantengan casi sin corriente. Actualmente, este tributario presenta problemas ambientales que ha degradado su cuenca debido principalmente a las quemas excesivas del páramo y a que el hombre en este sector utiliza parte de sus aguas para cultivo de truchas.

(69) DONATO, Op. cit., p. 70– 71

Figura 2. Localización geográfica de la laguna La Bolsa



LOCALIZACION



CONVENCIONES

- Río
- Quebrada
- Lago
- Pantano
- Construcciones
- Camino
- Sendero
- Cerca
- Curva de nivel
- Carretable

Los suelos que rodean este sector según el IGAC (70) son de tipos diferentes. Así, sobre las laderas se presentan dos tipos de suelos: *Typic cryandept* y los *Dystric cryandept*. Los primeros se sitúan entre los 3300 y 3500 m de altitud; su material parental está constituido por capas de cenizas sobre arenas volcánicas. Químicamente, son suelos ácidos, con una alta capacidad de intercambio catiónico, bajos en bases, altos en materia orgánica, bajos en fósforo disponible, y retención alta en fosfatos. El suelo *Dystric cryandept*, es más común en la franja por encima de los 3400 m. de altitud, son suelos morfológicamente similares a los anteriores. Químicamente son también parecidos pero tienen mayor nivel de fósforo disponible.

Otros tipos de suelos que se sitúan en los rebordes de la laguna, corresponden a los *Typic cryofibris* y *Hystic andaquept*. Ambos presentan reacción fuerte a muy fuertemente ácida, capacidad catiónica de cambio alta, baja saturación de bases, muy bajos en calcio, magnesio y potasio, altos en materia orgánica y bajo fósforo aprovechable. Sin embargo, el primero se localiza en los sitios más próximos al lago, son suelos poco drenados, encharcables, muy superficiales y orgánicos. El suelo *Hystic andaquept* se localiza en sectores próximos a las laderas. Este tipo de suelos derivan de cenizas y de materiales orgánicos, pobremente drenados. El material mineral está constituido por cenizas o arenas volcánicas muy poco alteradas.

(70) INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio general de suelos del sur – oriente del Departamento de Nariño.: Subdirección agrícola. Bogotá : IGAC, 1989, p. 88 – 92.

Rangel y Garzón (71), indican que la vegetación de las zonas aledañas a la laguna y al volcán Cumbal, consiste en matorrales dominados por *Diplostegium schultzei* y *D. Floribundum* (Asteraceae), junto con *Hypericum laricifolium* (Hypericaceae), *Blechnum loxense* (Polypodiaceae) y *Miconia salicifolia* (Melastomataceae). Es característico en los alrededores de la laguna la presencia de un pajonal – frailejonal de *Calamagrostis efusa* y *Espeletia pycnophylla* con un estrato arbustivo en donde también se encuentran *Blechnum loxense*, *Pentacalia andicola* (Asteraceae) y *Castilleja fissifolia*.

Es importante tener en cuenta que entre los municipios de Cumbal y Guachucal se ha tomado como límite de jurisdicción a la laguna La Bolsa, de la cual la mitad del lado occidente le pertenece a este municipio y de la mitad del lado oriente le es perteneciente al municipio de Guachucal. Observando a simple vista que la parte que le corresponde a Cumbal está prácticamente colonizada por cultivos, que en su mayoría son siembras de papa y otra considerable proporción destinada al pastoreo de ganado, lo que hace evidente la degradación de buena parte de este territorio. Solo una mínima proporción que se ubica en inmediaciones de los límites con el municipio de Guachucal, presenta vegetación propia de páramo.

Herrera (72), concluye que actualmente las zonas cercanas a la laguna presentan una gran actividad en cuanto a suelos laborables se refiere. Un 15 % está destinado al cultivo de papa y cebolla, y 10 % para pastos. Y aunque la población de estos sectores solo alcanza un 8 % que se distribuyen en veredas aledañas, el deterioro a consecuencia de su colonización y el desempeño de actividades socio económicas de tipo ganadera, agrícola, turística e incluso extracción de productos minerales, han contribuido al deterioro generalizado del páramo.

(71) RANGEL, Orlando y GARZON, A. Volcanes del Altiplano Nariñense : En diversidad biótica. Bogotá : Guadalupe, 1996, p. 139 – 142.

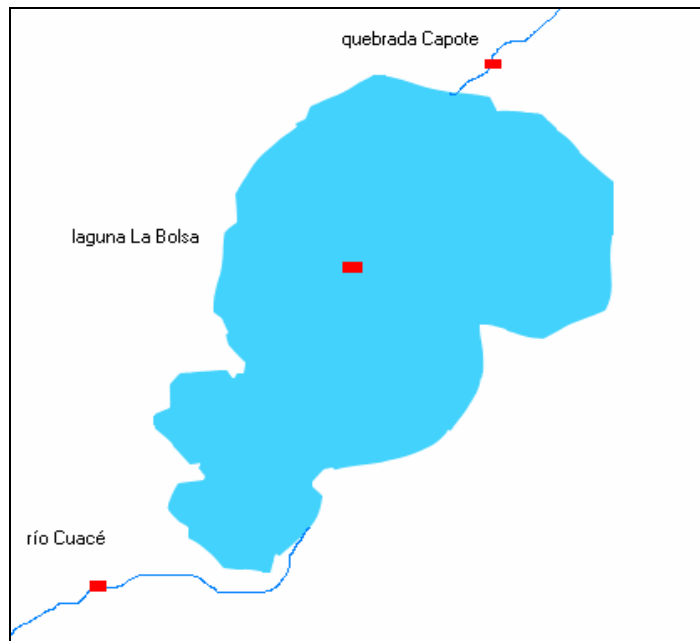
(72) HERRERA, Adriana. Plan de manejo ambiental de ecosistemas frágiles de páramo, vereda Tasmag, sector la Laguna. Pasto, 2000. Trabajo de grado Geógrafo : Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Humanas. Programa de Geografía Aplicada. p. 96 – 97.

3.2 TRABAJO DE CAMPO Y TRABAJO DE LABORATORIO

3.2.1 Estaciones de muestreo. Se escogieron 3 estaciones de muestreo correspondientes a:

- Zona de entrada o punto de desembocadura del principal afluente quebrada Capote..
- Parte central de la laguna La Bolsa.
- Zona de salida o de desembocadura de la laguna hacia el río Cuacé. (efluente)

Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo



En cada estación se tomaron parámetros físico – químicos y microbiológicos, (coliformes totales y fecales) y los biológicos consistentes a macroinvertebrados acuáticos se realizaron en el afluente y efluente principal. Los muestreos se realizaron desde el mes de septiembre hasta el mes de diciembre de 2002 con intervalos de aproximadamente un mes, dos en

época de baja precipitación (septiembre y octubre) y dos en época de alta precipitación (noviembre y diciembre)

3.2.2 Parámetros físico – químicos. Para el presente estudio se adoptaron técnicas de muestreo y análisis de aguas aplicables a lagos naturales y tributarios como selección de sitios de muestreo más representativos, técnicas de conservación de muestras y de su posterior análisis en laboratorio para su evaluación y valoración según las normas NTC – ISO ICONTEC, norma ISO 5667 (1996).

Algunos parámetros se midieron in situ como la temperatura, donde se utilizó un termómetro corriente, la transparencia mediante el disco Secchi, el CO₂ con el método de la fenolftaleína, el pH con un pH – metro de campo digital, y el oxígeno disuelto donde se aplicó el método Winkler. Para el análisis de los otros parámetros se hizo necesario la toma y preservación de las muestras de agua en cada zona por separado en botellas plásticas con capacidad de dos litros, debidamente etiquetadas y selladas, las cuales se transportaron hasta el laboratorio de aguas de la Universidad de Nariño a temperaturas de 4 °C mediante la utilización de neveras portátiles de icopor con el fin de conservar sus características naturales.

A nivel de laboratorio se utilizó los Métodos Estandar (APHA, 1998) que fueron aplicados en la determinación de los siguientes parámetros: Color, turbiedad, alcalinidad, conductividad, nitrógeno y sus compuestos (amonio, nitritos y nitratos), DBO₅, DQO, sólidos totales (disueltos y suspendidos), dureza total, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, y fosfatos. Tabla 1

Para todos y cada uno de los parámetros físico – químicos se expuso criterios de calidad y niveles de aceptabilidad para el agua según el ministerio de salud en su decreto 1594 de 1984 y el 475 de 1998; así como también los valores admisibles para lagos oligotróficos de alta montaña tropical citados por Roldán (1992).

Tabla 1. Métodos utilizados en la medición de los parámetros físico – químicos

Parámetro	Método
Color	Colorímetro
Turbiedad	Turbidímetro
Alcalinidad	Volumétrico
Conductividad Eléctrica	Conductímetro
Amonio	Espectofotómetro
Nitritos	Espectofotómetro
Nitratos	Espectofotómetro
DBO₅	Incubación en cinco días
DQO	Oxidación con dicromato de potasio
Sólidos totales	Gravimétrico
Sólidos suspendidos	HINJOFF
Dureza total	Volumétrico
Calcio y Magnesio	Volumétrico
Cloruros	Volumétrico
Sulfatos	Espectofotómetro
Fosfatos	Espectofotómetro

Fuente APHA, 1998.

3.2.3 Análisis bacteriológico del agua. En los tres sitios de estudio establecidos se tomaron muestras de agua, (100 ml.) en recipientes previamente esterilizados y rotulados. Las muestras se cubrieron con papel aluminio para reducir cualquier riesgo de contaminación accidental y luego se preservaron con hielo en neveras portátiles de icopor. Posteriormente se transportaron al laboratorio de aguas de la Universidad de Nariño en el menor tiempo posible (máximo 4 horas) donde se determinó la presencia tanto de coliformes totales como fecales aplicando el método de filtración de membrana, metodología recomendada por la APHA (1998). Los resultados se analizaron mediante las normas técnicas de agua potable expedidas en el Decreto 475 de 1998.

3.2.4 Macroinvertebrados acuáticos. Normalmente los parámetros físico – químicos nos indican el estado del agua en el momento de hacer su medición, sin embargo, debido a que estas determinaciones no son definitivas, se complementaron con estudios biológicos que evaluaron con mayor exactitud la calidad del agua en los sistemas lóticos. Se ubicó entonces una zona próxima a la desembocadura del principal afluente (quebrada Capote) y del principal efluente (río Cuacé) donde se eligió los sitios más representativos para facilitar el muestreo de esta clase de organismos.

Para la captura de macroinvertebrados, se empleó la red de Surber la cual consiste de un marco metálico de 900 cm² al cual está unida una red de forma cónica y de tejido muy fino. (menor de 0.5 mm) El marco metálico se colocó sobre el fondo, en contra de la corriente, y se removió con la mano los diferentes sustratos presentes (piedras, arena, vegetación). Los diferentes organismos removidos que quedaron atrapados en la red, fueron lavados, y el material se colocó en frascos de boca ancha con capacidad aproximada de un litro.

Con este método se realizó en cada salida 9 muestreos al azar equivalentes a un área de 1 m². En cada zona se trabajo un área total de 4 m² distribuidos al zar a lo largo de aproximadamente 200 m., haciendo 2 recolecciones en época de baja precipitación y 2 en alta precipitación.

Las muestras se preservaron en alcohol al 70 % para luego ser transportadas hasta el laboratorio de entomología de la Universidad de Nariño donde se utilizó un estereoscopio para la separación, clasificación y conteo de los diferentes organismos. La identificación taxonómica se hizo hasta género y en algunos hasta familia, siguiendo principalmente las claves de Edmonson, (1959), Roldán, (1988), Borrór, (1971), Needhan y Needhan, (1982), Amat et. al., (1999), incluyendo el apoyo logístico del laboratorio.

Los diferentes grupos de macroinvertebrados se colectaron en frascos pequeños, de 10 ml. fijados en alcohol al 70 %, debidamente etiquetados con un rótulo que contiene los datos más importantes a saber: Lugar de colecta, taxonomía, y número de especímenes. La colección fue fotografiada e incluida en los anexos de este trabajo; así como también, se conservó como referencia para posteriores investigaciones.

3.2.4.1 Análisis estadístico. El procesamiento de los datos de macroinvertebrados se realizó mediante el programa estadístico Bio dap (Ecological Diversity and Its Measurement) programer: Gordon Thomas. Resource conservation. Fundy National Park. Alma New Bruswick. Canada. Disponible en el correo electrónico <http://web.minambiente.gov.co/biogeo/menu/herramientas/softwar.html>, programa en el cual se introdujo los datos necesarios para obtener los diferentes índices de diversidad (Shannon, Simpson, Margalef y Berger – Parker) y de similitud (Jaccard y Sorenson).

Por otro lado se empleó el enfoque biótico representado en el método BMWP, indispensable para evaluar biológicamente la calidad y el estado ecológico del agua del afluente y efluente. Para tal fin solo fue necesario representar los organismos encontrados a nivel de familia. Sobre el inventario realizado se asignó el puntaje correspondiente a cada familia de acuerdo con el carácter de bioindicador y mediante la sumatoria se obtuvo el valor del índice BMWP que a su vez fue asociado con el valor conocido como ASPT indispensable para definir la calidad del agua en cuestión.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los anexos A, B, y C, se reportan los datos correspondientes a los valores de los parámetros físico – químicos y bacteriológicos del agua tomados en los tres sitios de muestreo (afluente principal, laguna y efluente principal). Para evaluar los resultados se presenta un climadiograma (anexo F) de la región que indica la variación del régimen pluviométrico del año 2002, en el cual se tuvo en cuenta una época de baja precipitación (septiembre y octubre) y una de alta precipitación. (noviembre y diciembre). En el anexo D se consigna algunos rangos de parámetros físicos y químicos establecidos para lagos oligotróficos y en el anexo E se presentan los criterios de calidad admisibles para aguas de consumo humano.

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

4.1.1 Temperatura. El promedio de la temperatura del agua del afluente en época de baja precipitación fue de 8.85 °C, señalando una leve disminución de 1.45 °C con respecto a la época de alta precipitación; al parecer estos valores son normales y que van acorde con las condiciones del medio, así pues, es factible que este tributario desde su nacimiento y a lo largo de su recorrido, mantenga una baja temperatura de sus aguas, lo cual puede relacionarse con su característica lítica y su ubicación por encima de los 3400 m.s.n.m., donde los rangos de temperatura ambiental están entre 6 y 12 °C.

En la laguna, el promedio de la temperatura del agua en época de baja precipitación fue de 12.15 °C, indicando una disminución de 0.15 °C en época de mayor precipitación. A pesar de la mínima diferencia con respecto a la variación de lluvias, los datos indicaron un incremento de la temperatura en el agua con respecto al afluente, valores normales considerando el estado léntico de la laguna y sus características morfométricas, lo cual influye sobre la tasa de entrada y salida del agua, tiempo de retención de la misma y por ende mayor la capacidad del agua para retener calor.

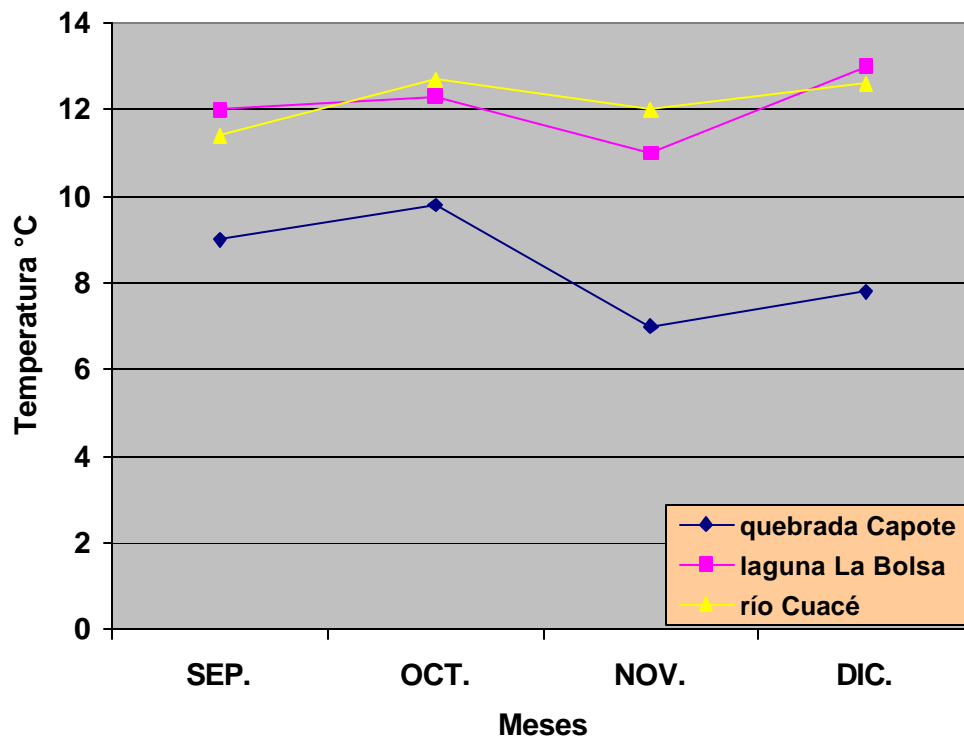
En el efluente el promedio de la temperatura del agua fue de 12.05 °C en temporada de menor precipitación y de 12.3 °C en temporada de mayor precipitación. Si bien se observa unos datos casi uniformes, la relación de esta temperatura con respecto a la laguna, se ajusta con los encontrados en el efluente, de tal forma que el agua que sale mantiene la condición térmica de la laguna, lo cual puede señalar un control en el mantenimiento térmico del ecosistema; se espera entonces una mayor capacidad en la disolución de oxígeno y una buena regulación de los parámetros físico – químicos que pueden incidir en el normal desarrollo de las comunidades bióticas.

De manera general la temperatura del agua de los tres sitios de muestreo (Figura 4) varía dentro de un estrecho margen observando una uniformidad de datos que se muestran fiables dadas las condiciones ambientales y naturales de la zona. Por tal razón los resultados se encuentran dentro de los valores registrados para lagos oligotróficos de alta montaña tropical los cuales normalmente están entre 6.0 y 12.0 °C., por consiguiente, esta laguna se clasificó como polimíctica fría ya que nunca se estratifica térmicamente.

Lo anterior puede relacionarse con las mediciones echas por Ducharme (73), en el lago la Tota, Colombia, localizado a 3015 m.s.n.m., durante dos años consecutivos, que muestran una casi total homotermia, semejante a lo encontrado en este estudio por la uniformidad de los datos tanto en época de baja como alta precipitación.

(73) DUCHARME, A. Estudio físico – químico y biológico del lago de La Tota. Bogotá, 1975. Revisión bibliográfica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. p. 123.

Figura 4. Variación de la temperatura en los tres sitios de muestreo



4.1.2 Turbiedad, transparencia, y color. Se trató a estos conceptos conjuntamente, ya que la turbiedad define el grado de opacidad donde el tipo de materiales que contribuyen a la turbiedad son los responsables del color del agua y por consiguiente la concentración de las sustancias determinan su transparencia que puede limitar la transmisión de la luz en ella. Por tanto, estos aspectos en combinación pueden regular los procesos biológicos, representar una idea cualitativa de la productividad o deducir algunas propiedades químicas del agua.

El promedio más alto de turbiedad se obtuvo en el efluente en época de mayor precipitación con un valor de 15 unidades de turbiedad Jackson (UTJ) debido a que la mayor cantidad de lluvias propició un leve arrastre de materiales por lixiviación y escorrentía. Por el contrario, el valor mínimo 9.74 UTJ encontrado en la laguna en época de baja precipitación, se debió al proceso de decantación de las partículas dado por la geomorfología del terreno o una escasa corriente y ausencia de vientos en el momento de tomar la muestra.

Aunque los datos anteriores son normales para aguas naturales y no representan amenaza para la salud, el Decreto 475/98, Art. 7 determina que los valores de turbiedad superan el rango establecido para uso de agua potable, los cuales deben ser menores de 5 UTJ, sin embargo, las variaciones de este parámetro es más tenido en cuenta para efectos estéticos que se producen visualmente.

En cuanto a la transparencia el promedio para la laguna fue de 8.15 m en el periodo de baja precipitación y de 7.65 m en alta precipitación. Si bien la diferencia respecto al aumento de lluvias es de 50 cm, los datos son inferiores para lagos oligotróficos, posiblemente por la mayor cantidad de sólidos totales y por la característica geofísica del terreno, sin embargo, esta medición pudo depender de nuestra agudeza visual, sombras en el agua, condición climática y corrientes en la laguna provocadas naturalmente o por agitación del agua producida por el motor de la canoa, que hicieron que el disco Secchi no se sumergiera verticalmente, lo que dificultó su medición.

De acuerdo a Roldán ⁽⁷⁴⁾, los lagos oligotróficos poseen por lo general, transparencias que varían entre 10 y 20 m. Así, las lagunas de la Tota y la Cocha en Colombia, presentan transparencias de 11 y 13 m respectivamente debido a que estas zonas no se someten por lo regular a altas precipitaciones que propicien un mayor arrastre de sedimentos con lo que el grosor de la capa fótica se ve poco alterada. Estas consideraciones no fueron tenidas en cuenta en las partes lóxicas y por tanto, para medir la transparencia tanto en el afluente como en el efluente, no fue necesario la utilización del disco Shecchi, ya que en estas zonas el fondo se observó a simple vista.

Centrándose en la relación de los tres parámetros en discusión se asumió que la turbiedad depende de la opacidad del agua, la transmisión de la luz de la transparencia, y por consiguiente el color depende entonces de esta luz dispersa y reflejada así como del color sus propias partículas.

Los valores de color indicaron que las condiciones climáticas no inciden significativamente en este parámetro y por tanto, los máximos registros de 21 unidades de platino cobalto (UPtCo) y 24 UPtCo encontrados en el afluente y el efluente respectivamente, se debieron posiblemente a algún arrastre de materia orgánica disuelta, material vegetal flotante, sólidos en suspensión y partículas de arcilla o clorofila.

(74) ROLDAN, Op. cit., p. 201

De echo los resultados están dentro del rango normal de 75 UPtCo, que es el máximo admisible para consumo humano y doméstico, indicando que los valores se aproximan mucho al ideal de 15 – 20 UPtCo según el Decreto 1594/84, Art. 38. Aunque se dan estos valores más como de efectos estéticos que como sanitarios, hay ocasiones en las cuales el color en el agua puede indicar una situación particular. Así por ejemplo, el color aparente de la laguna a simple vista es verdoso, esta característica física del agua se puede relacionar con lo expuesto por Roldán (75), quien indica que por lo regular lagos poco productivos u oligotróficos, tienen colores con tendencia a tonos azulados o verdosos posiblemente por presentar abundante roca cálcica en su formación.

4.1.3 pH, alcalinidad y CO₂. Como el pH está íntimamente involucrado con los cambios de acidez, basicidad y alcalinidad, es conveniente discutir sobre estos parámetros conjuntamente.

El promedio de pH para el afluente en época de baja precipitación fue de 6.7, y de 6.78 en la época de alta precipitación. En la laguna su valor fue de 7.16 en temporada de baja precipitación y 7.41 en alta precipitación y en el efluente de 6.79 y de 6.66 para los dos temporadas respectivamente.

Los resultados indicaron que el pH se acercó a la neutralidad en las tres estaciones de muestreo y aunque la cantidad e incidencia de las lluvias pudo alterar de alguna manera los resultados de pH en el agua, se asumió que en estas zonas no existen alteraciones naturales o antrópicas que propicien una fluctuación de este parámetro. Esta condición puede relacionarse con la geoquímica de estos suelos y con la dinámica física y química del dióxido de carbono, el ácido carbónico, carbonatos y bicarbonatos, con lo que se presume que existe un predominio del sistema carbónico como CO₂ libre, teniendo en cuenta que estos valores no se alejaron del pH neutro.

(75) Ibid., p. 202.

Según Roldán (76), los valores de pH para lagos oligotróficos deben estar en los rangos de 6.5 a 7.5 para considerarlos como tal. Por otro lado en la destinación para consumo humano y doméstico el valor de pH puede oscilar de 5 a 9. (Decreto 1594/84, Art. 38)

La alcalinidad registró un máximo valor de 40.55 mg/l. en el efluente y un mínimo de 18.95 mg/l. presente en el afluente, con lo que se asume que para los tres sitios de muestreo en época de baja y alta precipitación los valores se ajustan al rango establecido para lagos oligotróficos de alta montaña tropical los cuales según Roldán (77) van de 10.0 a 60.0 mg/l.

Si bien la alcalinidad en estas aguas es baja, existe una buena capacidad reguladora con lo que el pH no se halla alterado, la mayor parte entonces correspondió a bicarbonatos por cuanto el pH fue menor de 7.5; de echo se deduce que los valores pueden estar de acuerdo con la naturaleza de los suelos y con la escasa presencia de rocas calcáreas que pudieren aportar iones alcalino – terreos.

Por su parte, los registros de CO₂ durante el estudio indicaron un máximo valor para la laguna de 3.4 mg/l. y un mínimo de 2.4 mg/l.. En el afluente de 4.05 mg/l y 3.4 mg/l. y en el efluente de 3.7 mg/l. y 3.2 mg/l. de CO₂, lo que indica que este parámetro mostró valores casi estables con un promedio de 3.3 mg/l. lo cual llevo a relacionar estos datos con lo dicho por Cole (78), quien afirma que un cuerpo de agua oligotrófico posee menos de 4.4 mg/l de CO₂, si es muy oligotrófico, su rango varía de 0 a 3 mg/l, y si es muy eutrófico su rango puede variar entre 0 y 10 mg/l.

(76) Ibid., p. 258.

(77) Ibid., p. 265.

(78) COLE, Op. cit., p. 158 - 159.

La anterior consideración llevo a definir que el agua de acuerdo al CO₂ es de característica oligotrófica, indicando que puede existir un adecuado balance en el metabolismo global de este ecosistema y de echo la relación pH, alcalinidad y CO₂ , es posiblemente la más importante para entender su funcionamiento natural.

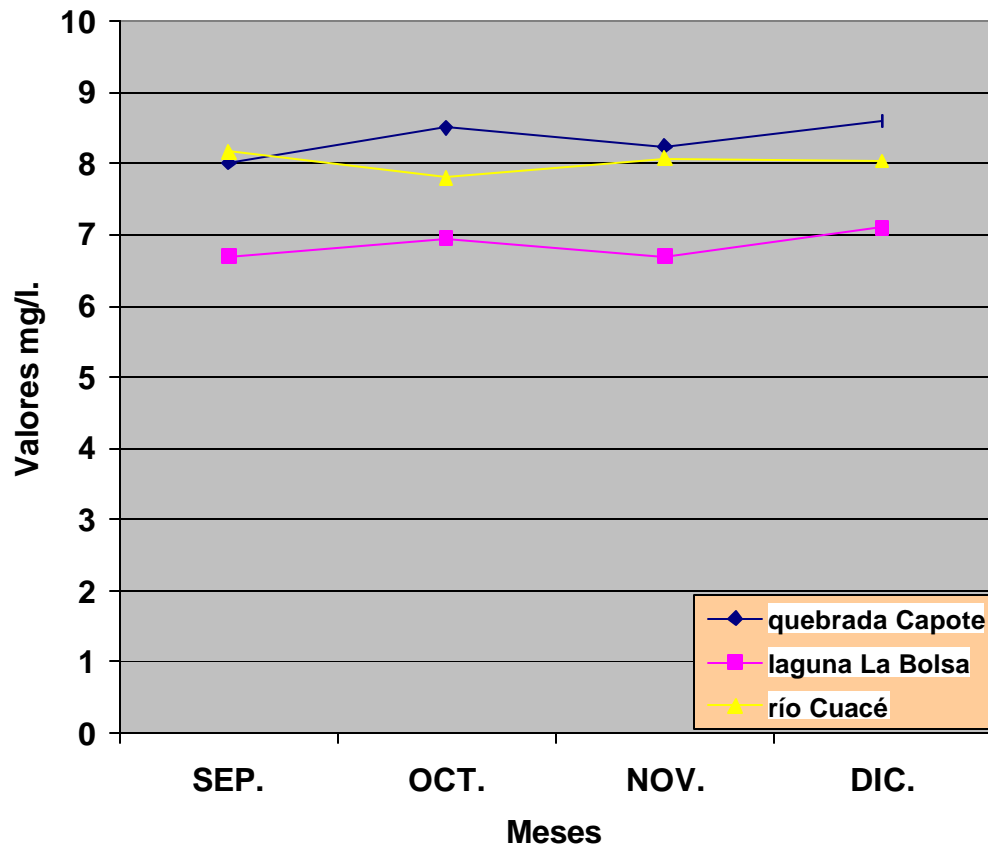
4.1.4 Oxígeno disuelto. En el estudio el valor promedio del oxigeno disuelto para la época de baja precipitación fue de 8.25 mg/l. para el afluente, 6.82 mg/l. en la laguna, y de 7.98 mg/l. para el efluente, señalando un incremento en la época de alta precipitación de 0.17, 0.08, 0.07 mg/l. en iguales estaciones de muestreo. La mínima variación de oxígeno disuelto se debió posiblemente al aumento de las lluvias que provocó la disminución de la temperatura en el agua.

Wetzel (79), indica que la proporción en la utilización de oxígeno con respecto a su síntesis permiten una evaluación efectiva del metabolismo del lago y que la importancia de este gas en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos, radica en que su difusión se lleva a cabo por el fenómeno de la fotosíntesis, presión atmosférica, temperatura y altura sobre el nivel del mar e incluso por la actividad biológica.

Los resultados indicaron que los niveles de oxígeno disuelto tanto en el afluente como en el efluente son mayores con relación a los registrados en la laguna (Figura 5). Estas variaciones se deben principalmente a que son sistemas de corriente que facilita la mayor disolución de oxígeno donde la presencia de rocas permiten cierta turbulencia y por tanto mayor oxigenación del agua. Por su parte la menor concentración de oxígeno en la laguna con respecto a los sistemas lóticos se debió a sus características hidrodinámicas influenciada por la batimetría y al incremento de la temperatura del agua de la superficie al exponerse mayor tiempo a la radiación solar.

(79) WETZEL, Op. cit., p. 113.

Figura 5. Variación de oxígeno disuelto en los tres sitios de muestreo



Según Cole (80), en el trópico las variaciones de temperatura, intensidad lumínica y el foto periodo son muy estrechas lo cual hace que no cambien drásticamente los valores de oxígeno disuelto a lo largo del año y por ende el promedio de oxígeno de toda la zona de estudio se encuentran dentro de los valores normales que se reportan para lagos oligotróficos los cuales están entre 6.0 y 8.0 mg/l.

Los valores encontrados indican que no existen grandes procesos de deterioro del recurso hídrico provocados naturalmente o por actividades humanas, se espera entonces poca materia orgánica o minerales oxidables que requieran oxígeno para su degradación.

4.1.5 DBO₅ y DQO. Estas pruebas permitieron en el momento de tomar las muestras conocer la cantidad de materia orgánica presente en el agua determinando así el grado de contaminación de la misma y las restricciones para su utilización.

El valor promedio de DBO₅ en temporada de baja precipitación fue de 7.7 mg/l. en el afluente, 6.95 mg/l. en la laguna y 8.6 mg/l. en el efluente, donde el incremento de las lluvias, señaló una disminución de 1.4, 1.1, y 5.2 mg/l. en los mismos sitios de muestreo. Aunque la mayor reducción con respecto al periodo de lluvias la presentó el efluente, es habitual que el aumento de los niveles y caudales en el agua provoque la dilución de la poca materia orgánica que se pudo acumular en los diferentes sustratos.

(80) COLE, Op. cit., p. 189.

Con estos resultados se tubo en cuenta si la calidad del agua es propicia para consumo humano; se considera entonces como excelente sí su DBO₅ está entre 0.15 y 1.5 mg/l; es agua potable si el valor llega a 2.5 mg/l, considerándose buena, aunque no perfecta hasta 20 mg/l, donde puede ser utilizada directamente; valores mayores implica hacer un tratamiento antes de su distribución. (Decreto 1594/84)

Por tal motivo se asume que estas aguas pueden utilizarse directamente para consumo humano, indicando que se necesita una mínima cantidad de oxígeno para la estabilidad de la poca materia orgánica proveniente del ciclo natural de descomposición de la biota o del arrastre de sedimentos que generalmente tienen sustancias fácilmente oxidables.

La DQO por su parte que incluye la materia orgánica biodegradable y aquella resistente al ataque biológico; es siempre mayor que la DBO (Figuras 6, 7 y 8). Se obtuvo valores promedios de 9.85 en el afluente, 9.15 en la laguna, y de 12.4 mg/l. en el efluente para la época de baja precipitación, correspondiente a un porcentaje de biodegradación de 78.2, 76, y 69.3 % respectivamente.

Para la época de alta precipitación los valores de DQO fueron de 11.24 en el afluente, 9.8 en la laguna y 5.5 mg/l. en el efluente, con un porcentaje de biodegradación de 56, 60, y 62 % respectivamente para los tres sitios de muestreo.

Los resultados determinaron la existencia de pocas especies químicas susceptibles de ser oxidadas, y aunque el aumento de las lluvias provocó una reducción del porcentaje de biodegradación posiblemente por el arrastre de organismos responsables de la actividad biológica en condiciones naturales, los porcentajes están cerca del 80%, señalando que la mayor parte de la materia orgánica es biodegradable rápidamente, por tanto, no se denotan problemas de contaminación orgánica en el agua, de ahí la estabilidad de los niveles de oxígeno encontrados y con ello mínimos impactos en las comunidades bióticas que se puedan presentar.

Figura 6. Variación DBO5 y DQO en la quebrada Capote

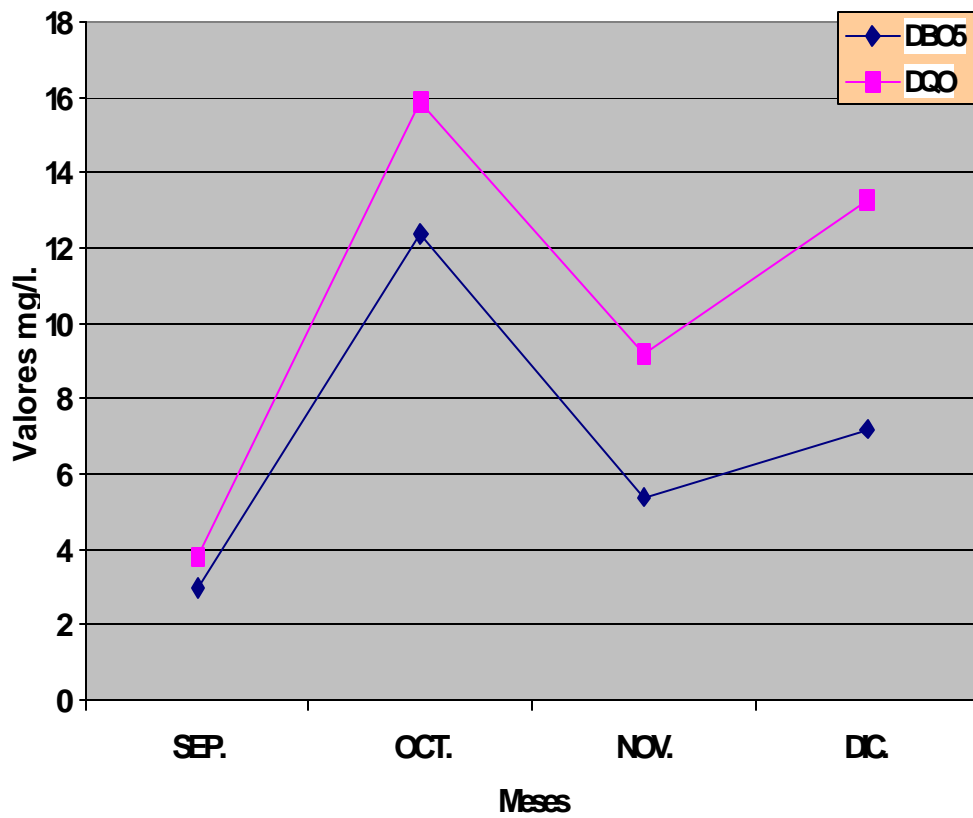


Figura 7. Variación DBO5 y DQO en la laguna La Bolsa

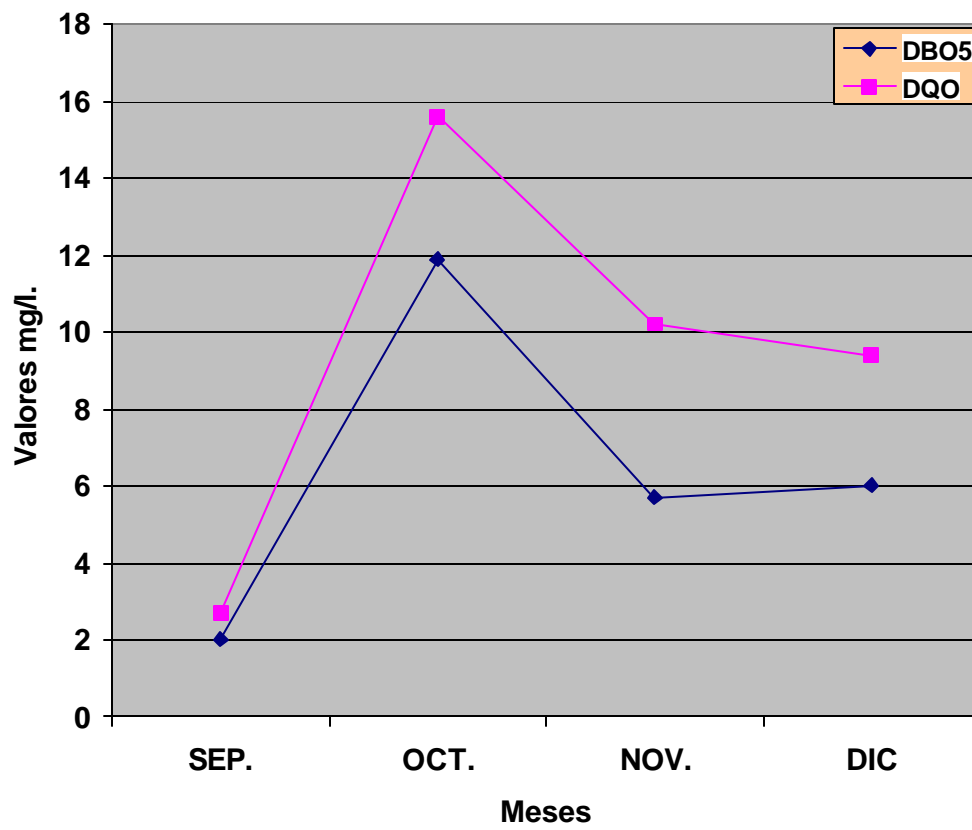
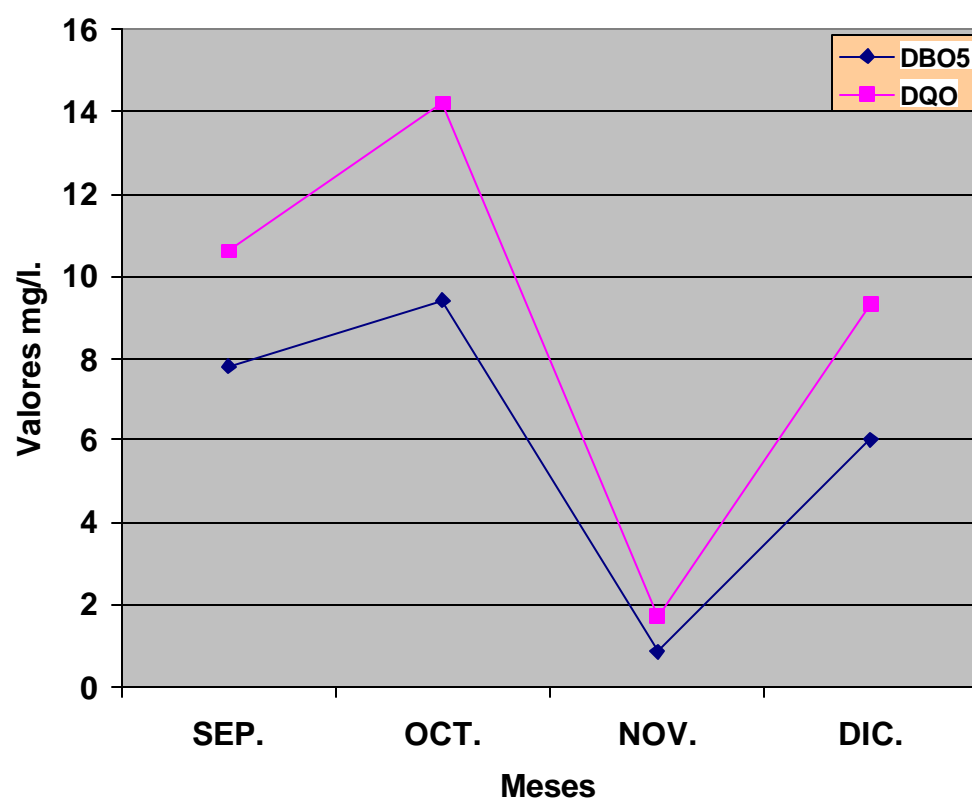


Figura 8. Variación DBO5 y DQO en el río Cuacé



4.1.6 Conductividad y sólidos totales. Roldán (81), afirma que conociendo la conductividad se puede determinar los sólidos totales, por la capacidad que tiene una solución de conducir una corriente eléctrica en función de la concentración de iones en ella presentes.

El promedio de conductividad en época de baja precipitación en el afluente fue de 49.6, 79.5 en la laguna y de 80.45 micro-Siemens/centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}.$) en el efluente. Señalando un aumento con respecto al periodo de mayor precipitación de 28.05, 1.7 y de 1.4 $\mu\text{S}/\text{cm}.$, en iguales sitios de muestreo. Los resultados no corresponden a lagos oligotróficos de alta montaña tropical según lo reportado por Roldán (82), cuyos valores deben oscilar de 20.0 a 50.0 $\mu\text{S}/\text{cm}.$

Aunque en los trópicos, los valores de conductividad están más relacionados con la naturaleza geoquímica del terreno y su concentración varía principalmente con las épocas de lluvia o de sequía y con su estado trófico, en los estudios realizados por Donato (83), donde compara algunos parámetros físico – químico de lagos Andinos del norte de Sudamérica, indica que la conductividad para la mayoría de los lagos con similares características ecológicas son comparativamente bajas (menores de 45 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) con respecto a las encontradas en este estudio.

(81) ROLDAN, Op. cit., p. 272.

(82) Ibid., p. 275.

(83) DONATO, Op. cit., p. 179..

Se asume entonces que aspectos como la precipitación y escorrentía, deterioro del páramo, la escasa cobertura vegetal que provoca un mayor arrastre del terreno, algunas actividades domésticas o agrícolas, la morfometría de la laguna o su naturaleza geoquímica, son los aspectos que influyeron en gran parte con el alto valor de conductividad.

Sin embargo, la expedición de normas técnicas de agua potable emanadas por el Decreto 475/98, Art. 7 determina que los rangos de conductividad obtenidos, se ajustan al uso potable del agua, donde se admiten rangos de 50 a 100 μ .S/cm. con lo que no existe amenaza para consumo humano.

Normalmente el rango de conductividad de las aguas naturales se aproxima al total de los sólidos, lo que puede determinar la magnitud en la concentración de iones en el agua o incluso el nivel de fuentes de contaminación. Las aguas naturales contienen una cantidad de sólidos pero estos se pueden ver alterados principalmente por la contaminación con residuos domésticos; con lo que esta relación de conductividad y sólidos en el agua se debe interrelacionar.

Se encontraron valores promedios de sólidos totales de 84.5 mg/l. en el afluente, 81.5 mg/l. en la laguna, y 94 mg/l en el efluente, para la temporada de baja precipitación. Con un incremento de 19 mg/l., 14.5 mg/l y 11 mg/l. en temporada de mayor precipitación. Según Roldán ⁽⁸⁴⁾ aguas oligotróficas pueden poseer valores de sólidos mayores a 10 mg/l. aunque la mayoría de los lagos neotropicales presentan rangos entre 10 y 200 mg/l.

A pesar de que los valores son admisibles para aguas de lagos de alta montaña tropical y no -representan restricciones para el uso de agua potable, los resultados de sólidos totales (menores de 59 mg/l.) para lagunas similares reportados por Donato ⁽⁸⁵⁾, son bajos en comparación con los obtenidos en este estudio.

(84) ROLDAN, Op. cit., p. 272.

(85) DONATO, Op. cit., p. 180.

Posiblemente el aumento de este parámetro, indica una alta posibilidad de concentración de sustancias o minerales disueltos en el agua que pueden estar siendo incorporadas a través de la atmósfera durante las lluvias, o por alguna alteración antrópica, como la deforestación, el sobrepastoreo y las actividades agrícolas, que cambiarían los rangos normales de sólidos en el agua.

4.1.7 Amonio, nitritos y nitratos. Estas formas de nitrógeno están relacionadas por cuanto hacen parte de la estructura de muchas formas de vida importantes para que se lleven a cabo los ciclos biogeoquímicos en el agua, sin embargo, los nitritos y el ión amonio son los más importantes para los ecosistemas acuáticos por constituir la fuente principal de nitrógeno para los organismos residentes en este medio. (Figuras 9, 10 y 11)

Los valores mínimos y máximos de amonio para el afluente fueron de 0.3 y de 0.31 mg/l., en la laguna de 0.1 a 0.2 mg/l y en el efluente de 0.03 a 0.2 mg/l. En este sentido el incremento de las lluvias no afectó significativamente la concentración de amonio en el agua y la mayoría de los resultados se ajustan al rango de normalidad para lagos oligotróficos los cuales según Roldán ⁽⁸⁶⁾, van de 0.1 a 0.3 mg/l. Excepto el encontrado en el efluente en temporada de alta precipitación, donde el valor de 0.03 mg/l. está por debajo de los rangos anteriores, posiblemente por que en el momento de tomar la muestra el incremento de las lluvias, contribuyó a una mayor disolución de los compuestos de amonio.

Blanco ⁽⁸⁷⁾, señala que la presencia de amonio se condiciona por la temperatura del agua y el pH de la misma y por cuanto mayor sea esta, mayor será la concentración de una fracción tóxica. Se infiere que esta condición va acorde con la estabilidad y el comportamiento encontrado anteriormente para estos parámetros, lo que estarían evitando este tipo de contaminación.

(86) ROLDAN, Op., cit., p. 310.

(87) BLANCO, Carmen. La trucha : Cría industrial. Madrid : Mundi –Prensa. 1984. p. 238

Figura 9. Variación de los compuestos nitrogenados en la quebrada Capote

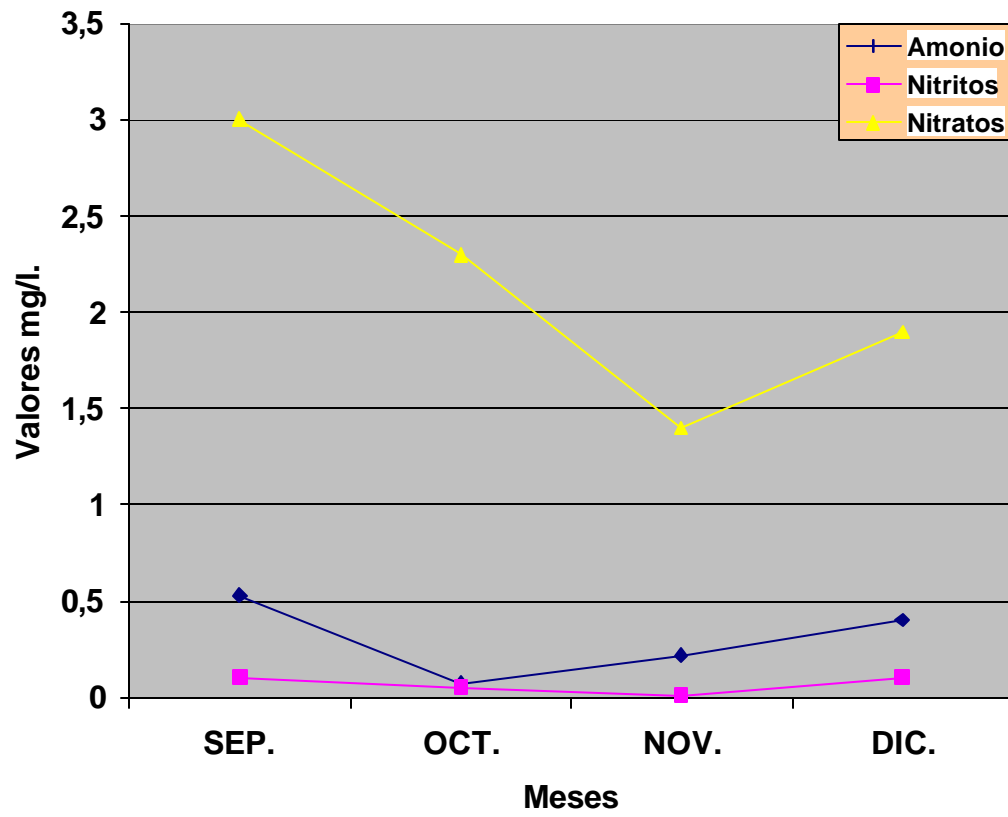


Figura 10. Variación de los compuestos nitrogenados en la laguna La Bolsa

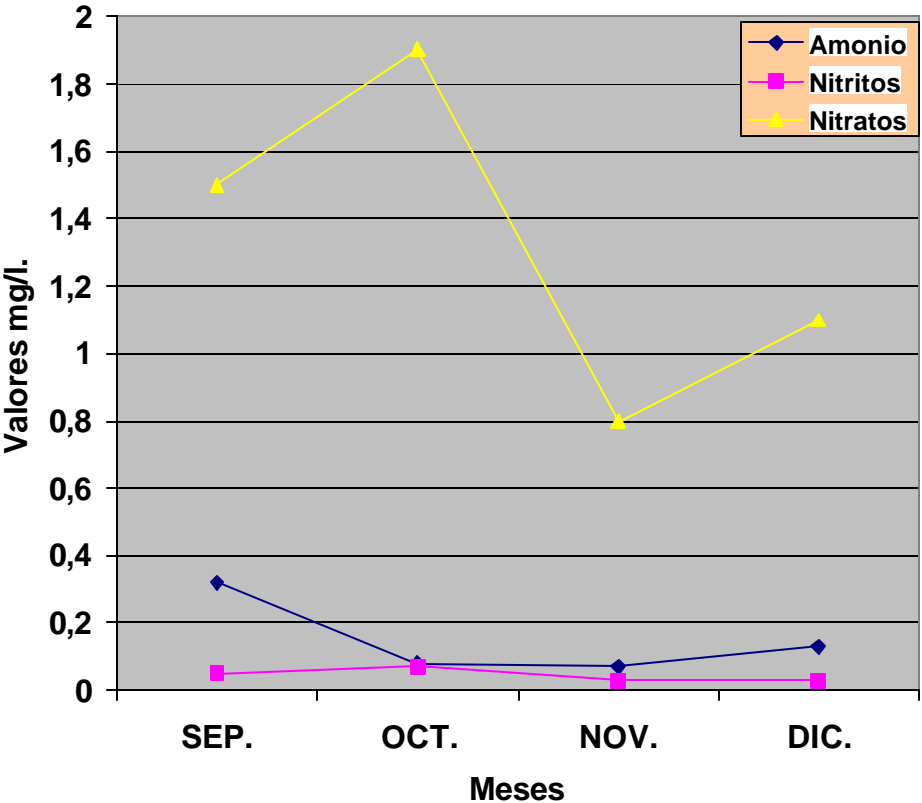
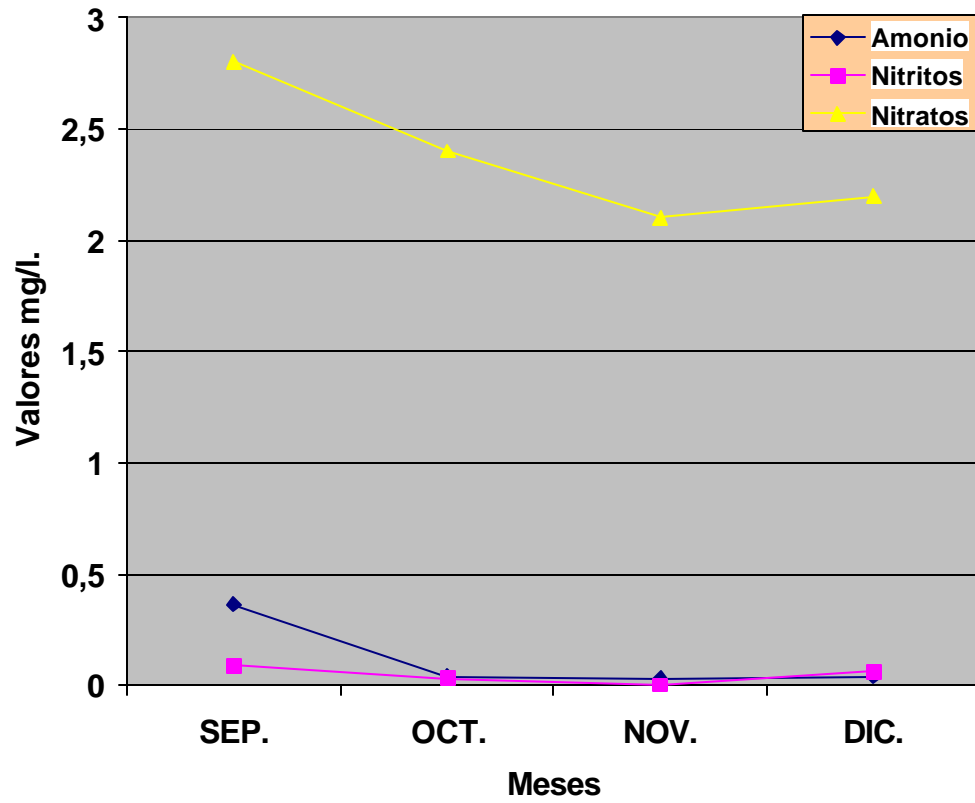


Figura 11. Variación de los compuestos nitrogenados en el río Cuacé



Para Castillo y Martínez (88), el establecimiento de jaulas flotantes aporta amonio al agua. A pesar de que en la entrada y salida del agua existen cultivos de truchas, este foco contaminante junto con la utilización de algunos fertilizantes químicos en los cultivos de los alrededores de la laguna, y una ocasional presencia de aguas residuales domésticas procedentes de algunos asentamientos humanos, indican que la concentración de amonio en el agua no se haya alterada y que la intervención del hombre en este sentido, no representa amenaza significativa para este ecosistema.

Según el Decreto 1594/84, Art. 39 referente a usos del agua y residuos líquidos establece que el máximo valor permisible de amonio es de 1.0 mg/l., y por tanto los valores obtenidos son admisibles para la destinación del agua para el consumo humano y doméstico.

Los nitritos en las tres zonas de estudio se encontraron con valores inferiores a 0.1 mg/l. que corresponden a lagos oligotróficos, indicando que el agua puede ser aprovechada para cualquier uso, sin representar alteración para la biota acuática, ni amenaza de contaminación por materia orgánica. Según Roldan (89) esta condición representa una constante oxigenación de las aguas, conllevando a una oxidación del nitrógeno a óxidos, los cuales pueden unirse con el agua y producir ácidos que al disociarse originarían otros iones como los nitratos que son la forma química bajo la cual las algas y plantas pueden incorporar el nitrógeno.

(88) CASTILLO, Guillermo, y MARTINEZ, Doris. Evaluación preliminar de los efectos de los cultivos de trucha arco iris en jaulas flotantes, sobre la calidad del agua del lago Guamués. Pasto, 1996. Trabajo de grado Especialización en ecología. Pasto : Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. p. 63.

(89) ROLDAN, Op. cit., p. 49.

Se obtuvo durante el estudio concentraciones mínimas y máximas de nitratos para el afluente que oscilaron entre 1.4 a 3.0 mg/l., en la laguna de 0.8 a 1.9 mg/l., y en el efluente registros de 2.1 a 2.8 mg/l. Para Roldán (90), en aguas oligotróficas los rangos de nitratos están entre 0.2 a 0.6 mg/l.

Aunque el aumento de las lluvias provocó una leve disminución de nitratos en el agua, su concentración en las tres zonas de muestreo está fuera de los límites establecidos para lagos oligotróficos. Esta forma de nitrógeno no puede estar siendo absorbida en su mayoría por las algas y las plantas, se esperaría entonces futuros síntomas de eutroficación que se relacionarían con las actividades agrícolas que se están llevando a cabo en sus alrededores, donde por la lixiviación de suelos, los nitratos en el agua pueden aumentar, sin embargo, los valores encontrados son normales para aguas de consumo humano, máximo 10 mg/l. sin afectar la biota acuática donde se admite un máximo de 90 mg/l. (Decreto 1594/84, art. 39)

Según lo expuesto por Castillo y Martínez (91), la presencia de nitratos se debe a la actividad oxidativa de los microorganismos que actúan sobre los nitritos o por lixiviación de suelos, caso particular de los suelos de Nariño, o bien como lo establece Cole (92) quien afirma que los valores de nitratos bajos se encuentran donde no hay contaminación y valores altos donde hay degradación de proteínas y materia orgánica.

(90) Ibid., p. 298.

(91) CASTILLO Y MARTÍNEZ, Op. cit., p. 59.

(92) COLE, Op. cit., p. 333.

4.1.8 Fosfatos. Los fosfatos junto con el nitrógeno son los principales determinantes de la productividad, aguas naturales contienen normalmente niveles de fosfatos que varían entre 0.01 a 0.03 mg/l.. Durante el estudio se encontró valores promedios de fosfatos para la laguna de 0.02 mg/l. en época de baja precipitación y de 0.04 mg/l. en época de mayor precipitación. En las partes lóxicas los valores de fosfatos fueron de 0.06 mg/l. y de 0.08 mg/l para el afluente y 0.05 mg/l a 0.07 mg/l. para el efluente. (Figura 12)

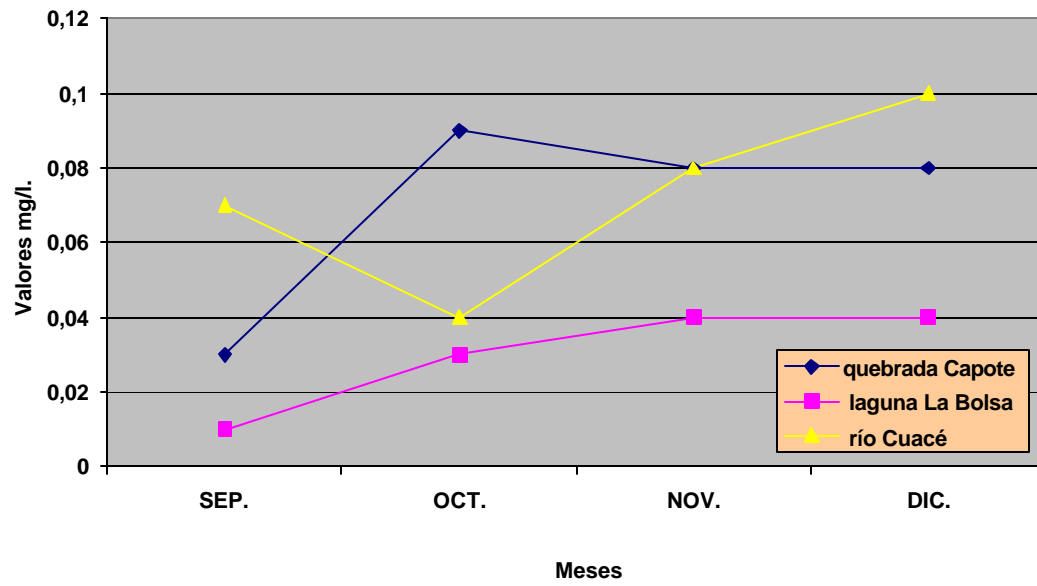
Si bien el incremento de las lluvias no es significativa para alterar este parámetro, algunos datos se alejan de lo normal para aguas oligotróficas más específicamente en la entrada y salida del agua de la laguna, condición que puede relacionarse posiblemente por una mayor presencia de rocas ígneas como la apatita lo cual altera su concentración de manera natural, o bien por algún grado de contaminación debido al uso de fertilizantes que contengan minerales fosforados y la presencia de desechos humanos que pueden caer a estas fuentes y señalar en un futuro alteraciones que distorsionen la consideración oligotrófica.

Según Roldan ⁽⁹³⁾, la disponibilidad de fosfatos en el agua es ordinariamente baja y que puede aumentar a pH básico y disminuir a pH neutro o ácido. Pese a esta situación, los rangos obtenidos en este estudio indica que los niveles de fosfatos no presentan una distorsión considerable y aunque esto puede ser un signo de baja productividad se estaría previniendo a largo plazo la posible eutroficación del agua.

El criterio de calidad química para agua segura, establece que el valor admisible de fosfatos es de 0.4 mg/l. con lo que los resultados se ajustan al rango normal según el Decreto 475/98, art. 37.

(93) ROLDAN, Op. cit., p. 312.

Figura 12. Variación de fosfatos en los tres sitios de muestreo



4.1.9 Calcio y magnesio. Se relacionó a estos elementos por ser los cationes más abundantes de las aguas dulces, por su actividad química similar, particularmente en la formación de sales de carbonato, y por ser factores limitantes de los procesos biológicos de los ecosistemas acuáticos.

El valor promedio de calcio en el afluente fue de 16.8 mg/l. para la época de baja precipitación y de 8.4 mg/l. en la de mayor precipitación. Se miró que en esta zona la variación de las lluvias representó una reducción de casi la mitad del valor inicial, lo que no sucedió en la laguna y el efluente, donde su poca concentración (promedio 16 mg/l.) se mantuvo casi invariable debido a su mayor capacidad disolutiva. (Figuras 13,14 y 15)

Roldán (94), indica que los ecosistemas acuáticos tropicales son por lo regular pobres en calcio, solo lagunas costeras o lagos con yacimientos subterráneos con altas concentraciones salinas poseen altos valores de calcio.

Según el IDEAM (95), las concentraciones de calcio en aguas naturales son típicamente menores de 15 mg/l, aunque para aguas asociadas con rocas ricas en carbonato las concentraciones pueden estar entre 30 y 100 mg/l. En aguas blandas el Ca fluctúa entre 0.7 y 2.3 mg/l.

El máximo valor de calcio 21 mg/l. encontrado en el efluente, pudo deberse a que sus aguas pasan de la laguna hacia este por vía subterránea, donde posiblemente existieron algunas rocas que aportaron compuestos de calcio lo que aumentó en cierto grado su concentración, a pesar de esto todos los datos son normales para aguas naturales, constituyendo un buen criterio de calidad para agua segura donde se admite un máximo valor de 100 mg/l. (Decreto 475/98, art. 37).

(94) ROLDAN, Op. cit., p. 281.

(95) IDEAM, Op. cit., p.189.

Figura 13. Variación de calcio y magnesio en la quebrada Capote

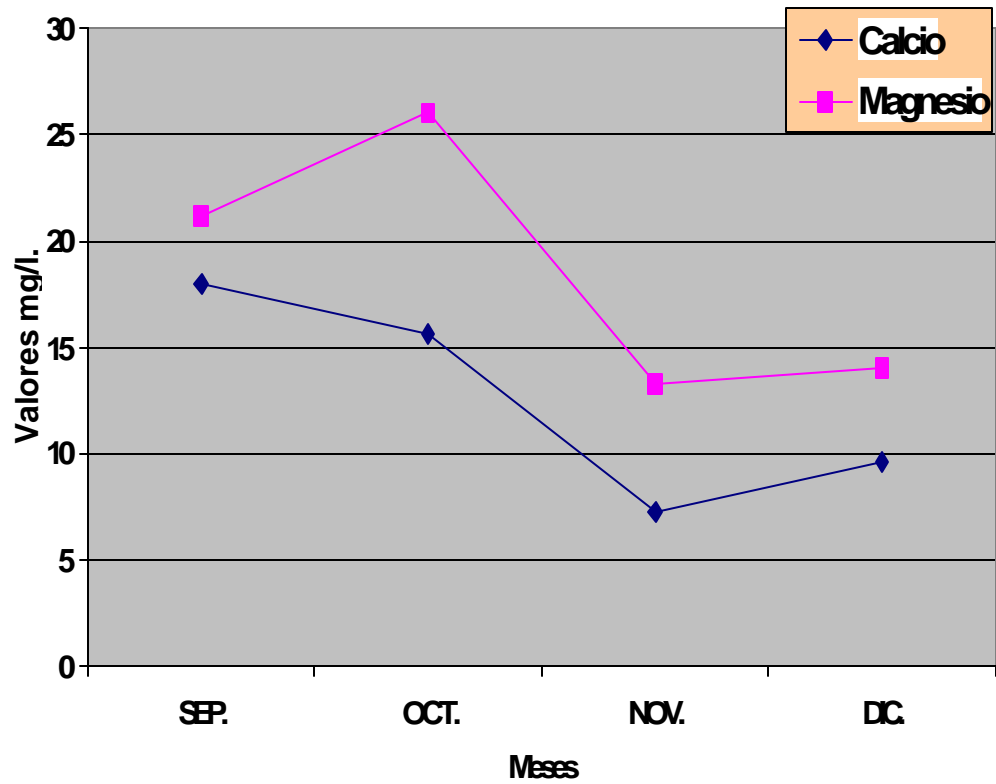


Figura 14. Variación de calcio y magnesio en la laguna La Bolsa

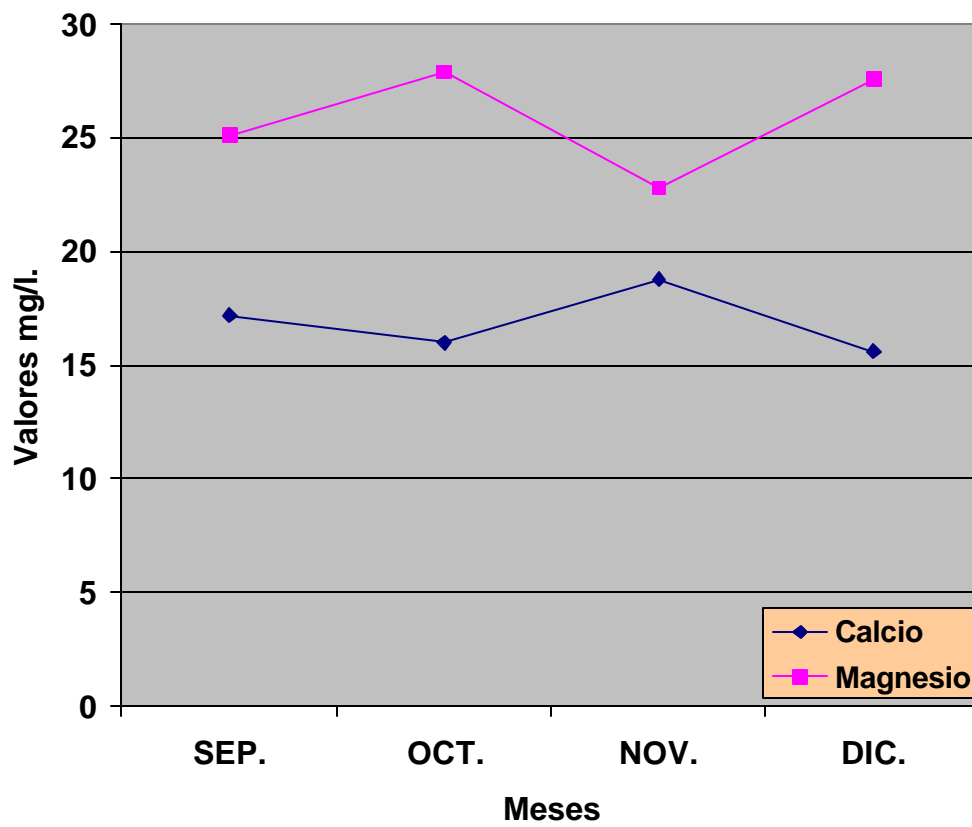
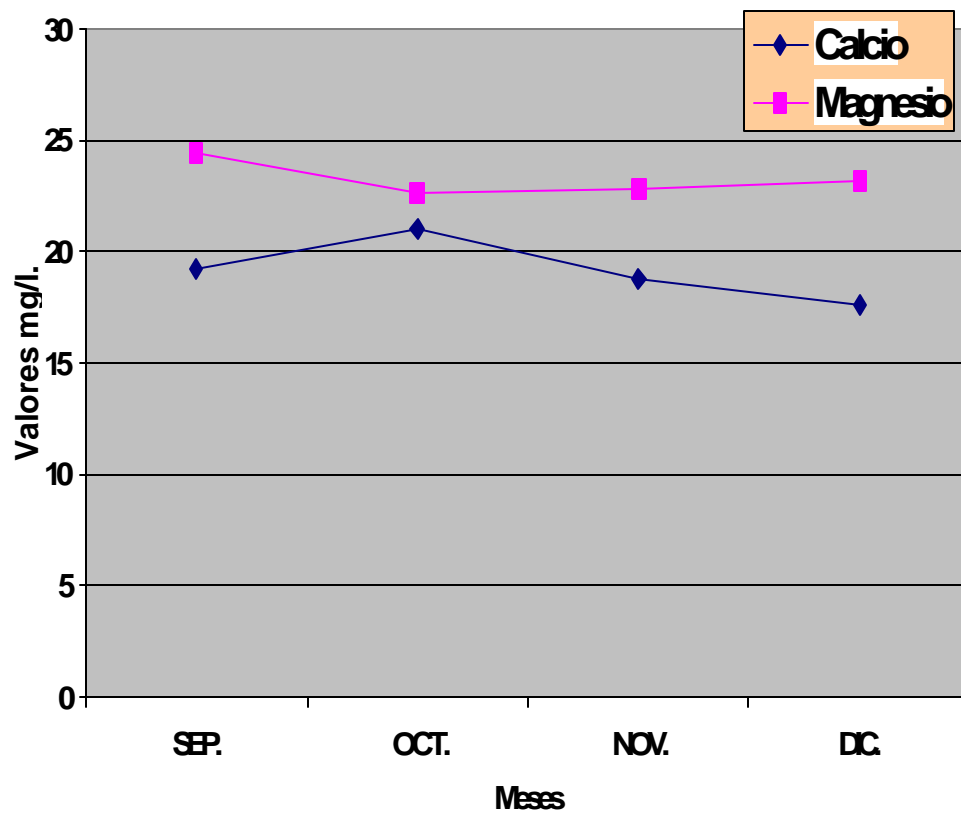


Figura 15. Variación de calcio y magnesio en el río Cuacé



El magnesio presentó un comportamiento similar al del calcio con relación a los periodos de baja y alta precipitación y aunque generalmente el calcio supera al magnesio debido a su mayor preponderancia en rocas sedimentarias, los fenómenos erosionales y la mayor capacidad para permanecer en solución, hicieron que el magnesio asuma una mayor concentración.

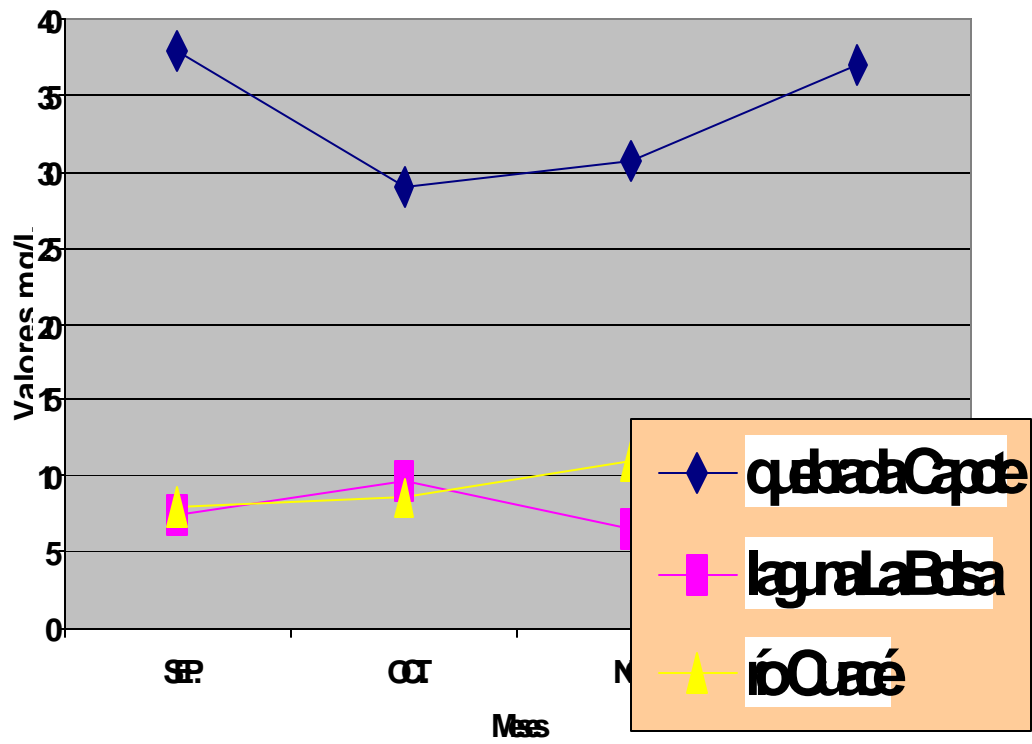
El máximo valor de magnesio se presentó en la laguna con 27.9 mg/l. y el mínimo en el afluente con 13.2 mg/l., indicando valores normales para esta clase de ecosistemas, sin embargo, no deja de presentarse en bajas concentraciones que pudieron estar dadas según Roldan (96), por la poca meteorización de rocas que contienen minerales de ferromagnesio, carbonatos, o silicatos de magnesio.

La expedición de normas técnicas de agua potable Decreto 475/98, art. 37, estableció que los valores de magnesio están dentro de los criterios de calidad para agua segura, menores de 60 mg/l. con lo que puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

4.1.10 Cloruros. El valor promedio en la época de baja precipitación para el afluente fue de 38.5 mg/l, 8.6 mg/l. en la laguna y de 8.3 mg/l. para el efluente. En tanto que para la época de alta precipitación el valor promedio fue de 33.8 mg/l, 7.1 mg/l. y de 9.2 mg/l., en iguales sitios de muestreo. (Figura 16)

(96) ROLDAN, Op., cit. p. 281.

Figura 16 Variación de burros en los meses de estudio



Aunque todos los valores están por encima del rango normal para lagos oligotróficos donde el nivel de cloruros en el agua debe ser menor de 5 mg/l, los registros más altos se presentaron en el afluente (promedio de 36 mg/l.), debido posiblemente a que en esta zona existen cultivos de truchas que hacen que sus desechos metabólicos al ser vertidos directamente a este afluente pueden incrementar el nivel de cloruros en el agua.

Otra causa pudo haber sido el mayor poder disolvente del agua sobre el suelo dado por las condiciones edáficas de la zona y las lluvias que arrastran minerales o bien por el lavado de algunos fertilizantes aplicados que junto con aguas residuales domésticas provenientes de cierta actividad humana pudieron influir sobre estos niveles. Según Cole (97), una fuente de cloruros en el agua es el factor edáfico y las excreciones animales y humanas, que contienen en promedio 5 gramos de Cl por litro, donde por filtraciones sub superficiales de las fosas sépticas pueden introducir sales de cloruro solubles a los lagos de las cercanías.

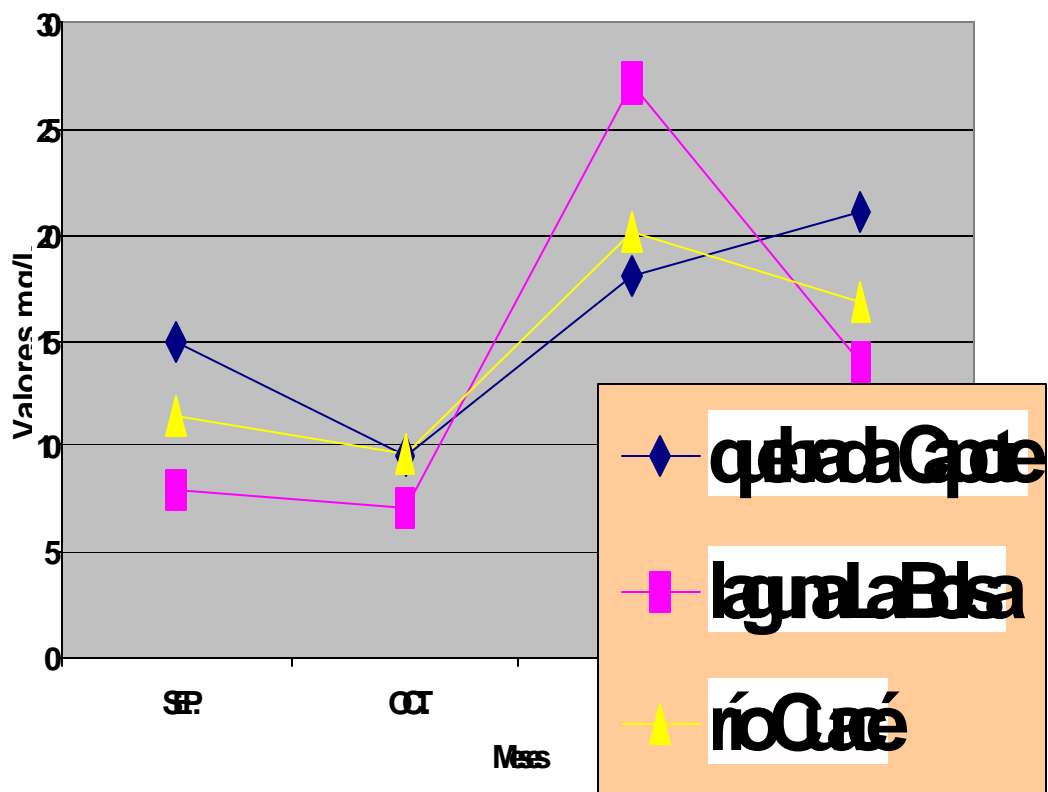
Sin embargo, los valores encontrados de cloruros están dentro del rango normal para el consumo humano y doméstico, según las normas del uso del agua y residuos líquidos establecidas en el decreto 1594/84, art. 38, los cuales deben ser inferiores a 250 mg/l.

4.1.11 Sulfatos. Señalan valores promedios en época de menor precipitación de 12.2 mg/l en el afluente, 7.4 mg/l. en la laguna, y 10.5 mg/l. en el efluente, indicando un incremento con respecto a la época de mayor precipitación de 7.3 mg/l., 13.1 mg/l. y 7.9 mg/l., en iguales zonas de estudio. (Figura 17)

El aumento de las lluvias incidió en el aporte de sulfatos al agua, por tanto, varió de una época a otra, de hecho este anión pudo aumentar por las emisiones volcánicas que se presentan en la zona las cuales agregan compuestos azufrados al aire y por precipitación estos caen al agua, así como también por acción disolvente de algunas rocas que contengan compuestos como sulfato de calcio (CaSO_4) y sulfuro de hierro (FeS_2)

(97) COLE, Op. cit., p. 300–301.

Figura 17. Variación de sulfato de sodio en muestras



Según Wetzel (98), el transporte atmosférico de los compuestos de azufre por la lluvia y la caída de material seco, constituye una fuente importante, que puede exceder en aguas naturales por la meteorización superficial de las rocas y del suelo y al transporte realizado por las aguas superficiales y por las aguas subterráneas.

A pesar de que los datos de sulfatos indican que el agua de esta zona está dentro del límite para aguas naturales, no se la pueden considerar en este sentido como oligotrófica, ya que según Roldán (99), los rangos deben oscilar entre 2 a 10 mg/l. para considerarla como tal.

Pese a esta situación el criterio de calidad admisible para este parámetro menor de 400 mg/l., indica que esta agua puede destinarse para el consumo humano y doméstico. (Decreto 1594/84, art. 39)

4.1 COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Con estos análisis se pudo encontrar posibles bacterias indicadoras de contaminación fecal, confirmando la calidad del agua que se consume.

El agua contiene ciertas bacterias de forma natural, que sirven para la degradación de la materia orgánica o para otros procesos biológicos, sin que representen riesgos para la salud humana. Así mismo, existen bacterias patógenas que pueden afectar al hombre, esto si se registran en grandes cantidades.

(98) WETZEL, Op. cit., p. 223.

(99) ROLDAN, Op. cit., p. 283.

Según las normas técnicas de calidad de agua potable (Decreto 475/98, art 25), el agua para consumo humano desde el punto de vista microbiológico, no debe contener ninguna unidad formadora de colonias cuando se utiliza el método de filtración por membrana; en este sentido los resultados de coliformes totales, indican que las tres zonas de estudio presentaron estas formaciones, con un máximo valor de 24 microorganismos/100 ml.; mientras que para las coliformes fecales que obtuvo registros menores de 3 microorganismos/100 ml. y en algunos muestreos simplemente no se detectaron.

Aunque el agua no debe contener ningún indicador de contaminación por microorganismos independientemente del método que se utilice para su identificación, los resultados no representan amenaza significativa, debido a la mínima presencia de estas bacterias. En este sentido la influencia tanto de animales como del hombre puede no estar incidiendo en la calidad del agua, de ahí que las bacterias indicadoras de contaminación fecal encontradas en el estudio, no son señal definitiva de que bacteriológicamente el agua es insegura para la salud humana o que necesita procesos de desinfección antes de su distribución.

4.3 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DEL PRINCIPAL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA LAGUNA

4.3.1 Diversidad y abundancia. En la Tabla 2, se reportan los valores de los diferentes índices de diversidad y abundancia del principal afluente y efluente de la laguna La Bolsa, los cuales fueron tenidos en cuenta para analizar la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

Tabla 2. Índices de diversidad del principal afluente y efluente

Índices	Quebrada Capote	Río Cuacé
Riqueza de especies	22	20
Uniformidad	0.69	0.79
Índice de Margalef	2.75	2.52
Índice de Simpson	0.18	0.12
Índice de Shannon	2.16	2.36
Índice de Berger – Parker	0.33	0.19
Distribución logarítmica	3.44	3.12

Fuente: Bio – Dap.

Los resultados mediante el índice de Shannon Wiener arrojó valores de 2.16 para el afluente y de 2.36 para el efluente, lo que indicó una baja diversidad de especies en las dos estaciones. Aunque los parámetros físico – químicos muestran buenas condiciones del agua, y podría presumirse una diversidad más alta, los resultados se explican por algunos factores que pudieron ser limitantes en el desarrollo de la biota acuática como la característica oligotrófica del agua, las condiciones ambientales o climáticas y la ubicación de la zona de estudio a 3424 m.s.n.m.

El índice de Simpson que interpreta la probabilidad de encontrar dos individuos al azar de la misma especie, presentó valores en el afluente y efluente de 0.18 y 0.12 respectivamente, correspondiente a una baja diversidad y a una alta dominancia de individuos por especie. En este sentido la probabilidad conjunta de encontrar individuos de la misma especie es alta, con un porcentaje del 82 % en el afluente ($1 - 0.18$) y de 88 % ($1 - 0.12$) en el efluente. Aunque el desequilibrio entre el número de individuos por especie lo presentan los dos sectores, en el efluente se presentaron más especies dominantes en relación al afluente.

El análisis de la dominancia de especies mediante el índice Berger Parker se determinó tomando el número de individuos de la especie más abundante sobre el total de la población. Se obtuvo entonces el valor mayor de este índice en el afluente con 0.33 representado en el género *Cardiocladius* de la familia Chironomidae correspondientes al 32.7 % del total de los individuos, mientras que en el afluente el valor de 0.19 representado en el género *Helicopsyche* de la familia Helicopsychidae, correspondió al 5.3 % del total de los individuos. Un incremento en el valor de este índice, se interpreta como el aumento en la equidad y una disminución en la dominancia. De acuerdo a esta consideración, se ratifica que en el efluente además de Helicopsychidae se encuentran otros grupos que dominan como por ejemplo, los géneros *Disersus* de familia Elmidae, *Cardiocladius* de la familia Chironomidae, *Oecetis* de la familia Leptoceridae, y *Hyaella* de la familia Hialellidae, en tanto que en el afluente las únicas especies que dominaron sobre las otras fueron las del género *Cardiocladius* y *Simulium*. (Figuras 18 y 19)

Figura 18. Abundancia absoluta de macroinvertebrados quebrada Capote (afluente)

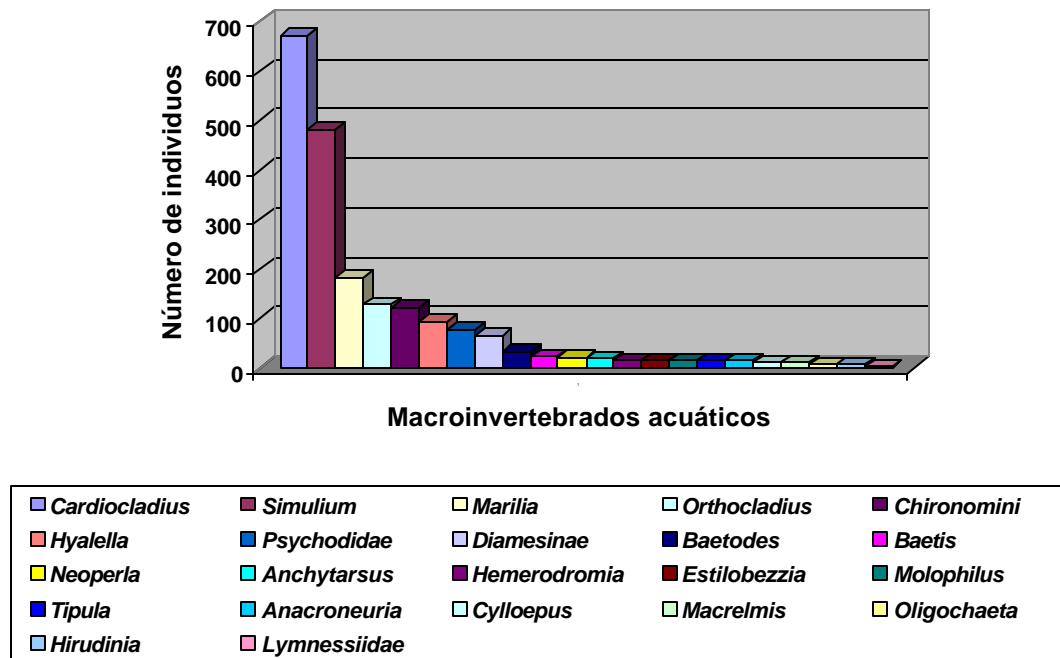
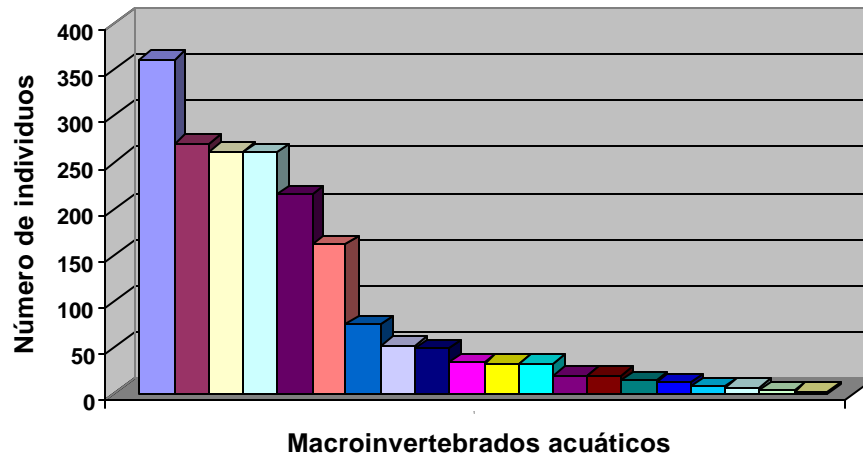


Figura 19. Abundancia absoluta de macroinvertebrados río Cuacé (efluente)



<i>Helicopsyche</i>	<i>Disersus</i>	<i>Cardiocladus</i>	<i>Oecetis</i>	<i>Hyalella</i>
<i>Atanatomica</i>	<i>Orthocladus</i>	<i>Chironomini</i>	<i>Anchytarsus</i>	<i>Anacroneuria</i>
<i>Hemerodromia</i>	<i>Cyloopus</i>	<i>Diamesinae</i>	<i>Oligochaeta</i>	<i>Pisididae</i>
<i>Simulium</i>	<i>Estilobezzia</i>	<i>Heterelmis</i>	<i>Hirudinea</i>	<i>Lymnessiidae</i>

El índice de riqueza específica que solamente tiene en cuenta el número total de especies en una comunidad determinó que en afluente se encontraron 22 especies y 20 en el efluente, sin embargo, el índice de riqueza de Margalef que supone una relación entre el número de especies y el número total de individuos indicó valores bajos para el afluente y efluente de 2.75 y 2.52 respectivamente, ratificando una vez más mediante este índice la baja diversidad encontrada en el estudio.

4.3.2 Similitud. En la Tabla 3, se indican los índices de similitud para determinar el grado en que el afluente y efluente fueron semejante por las especies encontradas en ellos.

Tabla 3. Índices de similitud del principal afluente y efluente

Especies comunes	Jaccard	Sorensen
14	0.50	0.67

Fuente: Bio – Dap.

Cualitativamente los índices de similitud señalan que de las 28 especies encontradas en todo el estudio 14 son comunes para ambos sitios de ahí que el índice de Jaccard con un valor de 0.5 equivalente al 50 % de las especies, indicó una semejanza media, demostrando que pueden existir algunas causas por las cuales no haya una igualdad total entre las especies, a pesar de que los sitios de muestreo son muy cercanos y comparten condiciones ecológicas similares. Su razón puede estar relacionada con las actividades agrícolas, pecuarias y piscícolas provocadas por el mayor asentamiento humano en los alrededores del efluente, por la misma laguna que interrumpe el trascurso normal de la quebrada, creando de esta manera una especie de barrera que impide la distribución uniforme de los macroinvertebrados, o por la diferencia en las concentraciones de algunos parámetros físico – químicos en ambos cuerpos lóticos que pueden estar influyendo sobre el grado de tolerancia de cada organismo, limitando así su capacidad de adaptación.

Por su parte el índice de Sorensen con un valor de 0.67, indico que a pesar de existir la misma cantidad de especies en común, este índice tiene en cuenta la media aritmética de las especies en ambos sitios con lo que el número de individuos para cada especie no es similar para el afluente y el efluente.

Según estos índices las exigencias ambientales requeridas por los organismos, no representan alteraciones significativas como para pensar en una contaminación que

modifique su hábitat y por ende la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que viven en este ecosistema.

4.3.3 Índice biótico BMWP. Para Cole ⁽¹⁰⁰⁾, la diversidad y la presencia de un organismo en un medio determinado ha sido discutida en relación al tiempo evolutivo, tiempo ecológico, estabilidad climática, heterogeneidad del hábitat, gradientes altitudinales, productividad, estabilidad de la producción primaria, grado de competencia entre especies, predación, y alteraciones naturales o antropogénicas, por tanto, la mayor o menor tolerancia que presente un organismo en un ecosistema servirá para definir su capacidad adaptativa permitiendo evaluar así la calidad del agua y las características en que se encuentra un ecosistema hídrico.

La evaluación biológica de la calidad del agua mediante el índice BMWP adaptado para Colombia por Zamora ⁽¹⁰¹⁾, arrojó en el estudio resultados de 85 con un ASPT de 5.6 para el afluente y de 78 con un ASPT de 6 en el efluente, clasificándola mediante estos índices como aguas medianamente contaminadas y con una calidad aceptable (Anexo J).

Por otro lado el índice BMWP propuesto por Roldán ⁽¹⁰²⁾, señaló valores para el afluente de 91 con un ASPT de 6.1 y para el efluente de 86 con ASPT de 6.6, lo que llevó a clasificar a estas aguas como ligeramente contaminada y de aceptable calidad (Anexo K). La diferencia de la consideración de calidad del agua dada por los dos autores se relaciona por que algunas familias no son tenidas en cuenta por uno de los investigadores y por que los valores asignados son diferentes para cada taxa. Tabla 4

(100) COLE, Op. cit., p. 85

(101) ZAMORA, Hilder. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. Popayán, 1999. Universidad del Cauca. Departamento de biología. p. 47 – 56.

(102) ROLDAN, Op. cit., p. 20 - 32.

Tabla 4. Puntajes asignados para las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos según el método BMWP adaptado para Colombia (Roldán 1988 y Zamora 1999)

Familia	Quebrada Capote		Rio Cuacé	
	Roldán	Zamora	Roldán	Zamora
Chironomidae	2	2	2	2
Simulidae	8	9	8	9
Helicopsychidae	----	----	10	8
Hyaellidae	7	6	7	6
Elmidae	6	7	6	7
Leptoceridae	----	----	9	6
Odontoceridae	10	10	----	----
Psychodidae	7	3	----	----
Ptylodactilidae	10	8	10	8
Empididae	4	7	4	7
Perlidae	10	10	10	10
Baetidae	7	6	----	----
Oligochaeta	1	2	1	2
Ceratopogonidae	3	5	3	5
Tipullidae	3	4	----	----
Bivalva	----	----	3	2
Hirudinea	3	2	3	2
Acarina	10	4	10	4
BMWP	91	85	86	78
ASPT	6.1	5.6	6.6	6.0

A pesar de que los parámetros físico-químicos están dentro de los valores normales para aguas puras y exentas de contaminación y que la mayor parte de los grupos de macroinvertebrados señalan una buena calidad del agua, la presencia de algunos organismos indicadores de alguna contaminación han distorsionado esta consideración.

Al definir al agua con características de ligera y medianamente contaminadas mediante el índice BMWP, se podría suponer que existen factores que permiten el desarrollo de organismos indicadores de alguna alteración en el agua, esta situación podría estar relacionado con las actividades pecuarias, agrícolas y piscícolas que se desarrollan en los alrededores de los cuerpos lóticos, estableciéndose de esta manera condiciones adecuadas para la residencia de algunas familias indicadoras de contaminación como Lumbriculidae, Glossiphoniidae, Pisididae, Ceratopogonidae y Tipulidae, que son las familias que presentan los más bajos puntajes del índice BMWP, inferiores a 5, lo cual modifica enormemente la consideración de aguas limpias. Sin embargo, se debe resaltar que estas familias representaron los más bajos porcentajes de abundancia con respecto al total de individuos encontrados, menor del 1%, característica negativa para considerarlos como buenos bioindicadores, de ahí que estos organismos no son totalmente significativos para enjuiciar la verdadera calidad del agua.

Debido a los escasos estudios que se tienen en Colombia y en general en el neotrópico sobre macroinvertebrados acuáticos, hacen que no haya un refinado sistema de evaluación, de ahí que los resultados mediante el método BMWP no sean definitivos, sin embargo, los resultados físico-químicos que son complementarios en los procesos de evaluación de la calidad del agua, presentan una serie de características que de acuerdo a la cuantificación de las mismas, pueden independientemente del índice BMWP determinar el verdadero estado del agua.

4.3.4 Macroinvertebrados acuáticos y su relación con los parámetros físico – químicos.

Según Roldán (103), la cantidad de oxígeno disuelto, el pH, la temperatura, o la conductividad son a menudo los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos acuáticos. Dichos parámetros varían fácilmente por efectos de contaminación natural o antrópica.

El análisis de los parámetros físico – químicos y de macroinvertebrados indicaron en su mayoría resultados satisfactorios desde el punto de vista de calidad del agua, cada uno de ellos independientemente sirvió para determinar o predecir las condiciones del ecosistema objeto de estudio. Es así como el abundante oxígeno disuelto en todas las estaciones muestreo, el pH cercano a la neutralidad, y las bajas temperaturas, fueron algunos aspectos que influyeron en el establecimiento de algunas familias indicadoras de buena calidad del agua

Por otro lado los valores de transparencia, turbiedad y color, señalaron que el agua está dentro del rango normal para lagos oligotróficos, signos de baja productividad que pueden influir tanto en la diversidad como en la abundancia de especies y si a esto se le suma la baja alcalinidad, se ratificaría la anterior consideración con lo que se distinguen rasgos que pueden influir adversamente en el desarrollo de la biota acuática.

Aunque este ecosistema se caracterizó por presentar bajos niveles de nutrientes y de iones en el agua, hay que tener en cuenta que estos elementos son indispensables en el buen funcionamiento de la dinámica de las comunidades que se desarrollan en este medio, y que de acuerdo a su concentración pueden ser limitantes para los organismos que se puedan encontrar.

(103) ROLDAN, Op. cit., p. 419.

Es así como la cantidad y concentración de una determinada sustancia contaminante, puede modificar de alguna manera los rangos permisibles de los parámetros físico – químicos analizados, dependiendo de las actuales características ecológicas de la zona y de la intervención que se le haga a la misma ya sea naturalmente o por actividades del hombre, y por ende, la evaluación de los efectos de las sustancias extrañas sobre la estabilidad de este ecosistema, pueden ser relevantes a largo plazo. En este sentido el índice de calidad biológica vuelve a ser de gran importancia.

La mayoría de los macroinvertebrados acuáticos encontrados tanto en el afluente como en el efluente indican buena calidad del agua, sin embargo, la ecología de algunos organismos infieren adaptaciones particulares que se discuten a continuación.

4.3.4.1 Macroinvertebrados de la quebrada Capote (afluente). Los análisis de la fauna macrobentónica arrojó resultados muy satisfactorios desde el punto de vista de calidad de agua y de abundancia de especies. De manera general se identificaron 22 especies, distribuidas en 15 familias, 9 ordenes, 5 clases y 2 phylum. (Anexo H)

La familia Chironomidae fue la que reportó mayor cantidad de individuos y aunque se la considera adaptada a condiciones anóxicas e indicadora de contaminación, su abundancia la muestra más bien como un taxón muy adaptado a medios oxigenados, con lo que se infiere que puede ocupar hábitats acuáticos diferentes y su presencia se puede relacionar con la clase de sustrato lodoso y rocoso en el cual se desarrollan o posiblemente sea una especie diferente adaptada a estos medios.

Hay que tener en cuenta que los Chironómidos que se adaptan a bajas cantidades de oxígeno presentan una pigmentación roja como mecanismo de adaptación por requerir concentraciones altas de hemoglobina y de ahí el hecho de encontrarse en medios acuáticos contaminados. Por el contrario, los organismos identificados presentaron colores blanquecino brillante o ligeramente pigmentados, demostrando entonces que no requieren

concentraciones bajas de oxígeno para su desarrollo y por tanto, no existen condiciones adversas de adaptación para esta clase de macroinvertebrado.

Se destaca dentro de la familia Chironómidae, la presencia de la subfamilia Diamesinae encontrada en ambos sistemas lóticos donde según Andrade, Amat, y Fernández ⁽¹⁰⁵⁾, es la única encontrada hasta el momento en la Sabana de Bogotá, y cuya característica principal es la de presentar una banda oscura y gruesa en la base de la cápsula cefálica, un mentum en forma de placa quitinizada con más de 16 dientes, y un cuerpo que presenta parápodos anteriores y posteriores con uñas muy oscuras. (Anexo L, fotografía 1) Lo cual quiere decir que esta especie puede hallarse distribuida en otras regiones, de ahí que se requieren de investigaciones más rigurosas en la parte sur de Colombia sobre macroinvertebrados en general, con el fin de ratificar las especies ya conocidas o las nuevas por confirmar.

Siguiendo el orden de abundancia de las especies encontradas, la familia Simuliidae representó gran importancia por ser larvas filtradoras, con doble penacho de cerdas para este fin, propias de aguas corrientes, y exigentes en oxígeno disuelto, (Anexo L, fotografía 2) lo cual estuvo acorde con la condición oligotrófica del agua

Por su parte, las familias Odontoceridae, Hyalellidae, Baetidae, Perlidae, y Psychodidae, indicaron ser organismos propios de aguas corrientes, puras, y con muy bajo grado de contaminación. Además, en los diferentes muestreos realizados tanto en temporada de baja como de alta precipitación, se reportaron datos casi homogéneos en abundancia para todos y cada uno de las familias anteriormente enunciadas, indicando biológicamente la buena condición ambiental de la zona.

(105) ANDRADE, Gonzalo; AMAT, Germán, y FERNANDEZ, Fernando. Insectos de Colombia. Bogotá, 1999. v. II : Guadalupe. Universidad Nacional. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. p. 372 – 374.

Pese a lo anterior, la presencia de las familias Empididae, Ceratopogonidae, Tipulidae, y Elmidae, que generalmente indican algún grado de eutroficación en el agua, pueden señalar que de alguna manera existan factores adversos que permitan el establecimiento de estos organismos y aunque su presencia se puede relacionar con las diferentes actividades antrópicas en el medio, su pobre representación, no es significativa como para pensar en un cambio de las condiciones normales de este ecosistema

Los taxa Oligocheta, Hirudinea y Acarina, aunque fueron tenidos en cuenta para determinar la variabilidad de especies, su mínima abundancia no es definitiva para considerarlos como indicadores de calidad del agua en los índices bióticos.

Dentro del estudio se resalta la presencia de una especie de plecoptero, que según las claves consultadas en Edmonson (106), corresponde posiblemente al género *Neoperla*, de la familia Perlidae, caracterizado morfológicamente por la presencia de una especie de mechón ubicado en la parte anal de su cuerpo y la ausencia de agallas en el tórax, organismo del cual aún no se conocen reportes para Colombia. (Anexo L, fotografía 10)

4.3.4.2 Macroinvertebrados del río Cuacé (efluente). Comparativamente hablando, en esta zona se encontró un total de 20 especies, distribuidos en 14 familias, 9 ordenes, 6 clases y 3 phylum. (Anexo I)

Al igual que en el afluente, la familia Chironómidae, representó el mayor número de individuos, aunque su abundancia se vio reducida en más de la mitad, debido posiblemente a la mayor velocidad del caudal en el río, lo que dificultó su adherencia al sustrato conllevado al arrastre de estos individuos.

(106) EDMONSON, W. T. Fresh – Water Biology. 2 ed. New York, 1959. p. 92.

Según las consideraciones anteriores dadas para esta familia acerca de la calidad del agua, se establecería igualmente que para el caso del efluente, representa un taxón adaptado a aguas oxigenadas indicando la condición oligotrófica de la misma.

Se destacan a las familias Helicopsychidae y Leptoceridae, como los organismos que aunque no se encontraron en el afluente, son indicadores de buena calidad del agua por sus características ecológicas y por el considerable número de individuos encontrados, que junto con Ptilodactylidae, Perlidae, Hyalellidae y Simulidae, atestiguan biológicamente el buen estado de esta fuente hídrica.

Sin embargo, este sector se caracterizó por la gran cantidad de individuos del género *Disersus* de la familia Elmidae (Anexo L, fotografía 5), que de acuerdo a las características fisiológicas de esta clase de macroinvertebrado puede indicar que en esta zona existe de alguna manera cierto grado de alteración, provocado posiblemente por un mayor asentamiento humano.

Por su parte, Empididae y Ceratopogonidae, que aunque son familias indicadoras de eutroficación, no representan amenaza ya que su escaso número de individuos solo se registró en época de baja precipitación

Finalmente, la presencia de las clases Oligocheta, y Arachnoidea no fueron considerados como tal para cualificar el agua de este efluente debido a sus esporádicas apariciones y al igual que en el afluente se las tiene en cuenta para definir la variabilidad de especies. Es importante anotar, que en esta estación la exigua presencia de Bivalvos está de acuerdo con los valores de alcalinidad encontrados cuya baja concentración no permitió una mayor abundancia de esta clase de organismos que requieren de estos elementos químicos para su desarrollo.

5. CONCLUSIONES

1. Tanto la laguna como su principal afluente y efluente indican condiciones de buena calidad de sus aguas, desde el punto de vista de los parámetros físicos - químicos y bacteriológicos, como por la presencia de macroinvertebrados acuáticos indicadores de estas condiciones, constituyéndose así en un gran depósito de agua que puede ser aprovechada directamente para consumo humano y doméstico.
2. El estado del agua que se evidencia por medio del análisis de temperatura, indicó que sus características son polimícticas, o sea que sus variaciones de temperatura son muy bajas y presenta una variación térmica débil, durante el periodo de estudio.
3. La transparencia de la laguna encontrada en el presente estudio está por debajo de los valores normales de 10 a 20 m. datos que corresponden a lagos oligotróficos.
4. Los valores de oxígeno disuelto siempre en el rango normal de 6 a 8 mg/l. indicaron condiciones óptimas del ecosistema. Igualmente el pH del agua se mantuvo alrededor de 7.0, lo que indica también su alta estabilidad.
5. La escasa cobertura vegetal de los lechos de las quebradas y de los alrededores de la laguna, incidieron en los altos valores de conductividad y de sólidos totales.
6. Los bajos niveles de DBO₅ y DQO indicaron que el agua de esta región no presenta contaminación por materia orgánica
7. La característica de aguas oligotróficas de esta zona, se ve ligeramente modificada por los valores de nitratos, cloruros y sulfatos los cuales superan el rango admisible, sin embargo, sus concentraciones no son definitivas y por ende no existen fuentes que alteren a tal grado de promover una eutroficación.

8. La composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos tanto de la quebrada Capote como del río Cuacé, presentó una baja diversidad y una alta dominancia de ciertos organismos que se relacionó con la ubicación y las exigentes condiciones ecológicas de la zona.
9. Los resultados con el índice BMWP determinaron que la mayoría de los macroinvertebrados encontrados tanto en el afluente y efluente indican buena calidad del agua, con una alta oxigenación de la misma y con niveles mínimos de alteración, aunque existieron algunas familias indicadoras de contaminación que no representan amenaza debido a su reducida abundancia.
10. Los procesos antrópicos de características agrícolas, pecuarias, acuícola y turísticas, no están produciendo contaminación significativa en esta zona.

6. RECOMENDACIONES

1. Fomentar mediante los resultados obtenidos en este estudio el desarrollo y continuación de posteriores investigaciones pendiente a conservar y preservar este recurso hídrico.
2. Se debe emprender investigaciones de los efectos que podrían causar un uso indiscriminado de los ecosistemas terrestres sobre los factores físico – químico del agua y de las comunidades bióticas que viven en ella.
3. Continuar este estudio con la evaluación de otros parámetros como fitoplancton y zooplancton, a fin de establecer una información mucho más amplia acerca de la ecología de esta región.
4. Tener en cuenta los valores obtenidos como indicadores de calidad del agua, para futuros proyectos de agua potable, planificación en el manejo de cuencas, para la implementación de actividades ecoturísticas y manejo ambiental de este ecosistema.
5. Tomar medidas de mitigación a través de obras de tipo sanitario y realizar campañas ambientales dirigidas a los pobladores de la región emprendidas por parte de las instituciones dedicadas a la conservación de los recursos naturales regionales

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE CUMBAL. Plan de Desarrollo del Municipio de Cumbal. 1998. p. 458.

_____Cumbal Ayer Hoy y Siempre: sector medio ambiente. 1998. p. 58.

ALVARADO, O y PINILLA. Distribución estacional, contribución y abundancia relativa del zooplancton en el lago de Tota (Boyacá), durante el periodo comprendido desde sept. 1974 hasta agosto 1975. Tesis Biol. Fund. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 1977. p. 87.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). American Water Works Association (AWWA). Y Water Pollution Control, Federation (WPCF). Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho. México, Interamericano, 1998. p. 1025.

ANDRADE, Gonzalo; AMAT, Germán y FERNÁNDEZ, Fernando. Insectos de Colombia. Academia colombiana de ciencias exactas, físicas, naturales. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional. Santa Fé de Bogotá – Colombia, 1999. v 2, p. 438.

ARIAS. P. Contribución al conocimiento limnológico de la ciénega del Guarinocito. Santa fé de Bogotá, 1975. 74. p. Tesis cn. Del mar. Bogotá. Fundación. Universitaria Jorge Tadeo Lozano.

BERNABE, Gerard. Bases biológicas y ecológicas de la acuicultura. Zaragoza : Acribia, 1996. p. 519.

BLANCO, Carmen. La trucha : Cría industrial. Madrid : Mundi – Prensa, 1984. p. 238.

BORROR, Donald y DELONG, Dwight. An Introduction to the study of insects. 3 ed. New York, 1971. p. 812.

BUHELLI, Libardo. Limnología del lago Guamués y sus posibilidades para la acuicultura. Pasto, 1992. 16 p. Tesis de promoción. Universidad de Nariño. Vicerrectoria de Investigaciones y Postgrados y Relaciones Internacionales.

CABILDO Y COMUNIDAD DEL RESGUARDO DEL GRAN CUMBAL. Plan de desarrollo del resguardo – Gran Cumbal. Cumbal. 1998 p. 98.

CASTILLO, Guillermo y MARTINEZ, Doris. Evaluación preliminar de los efectos de los cultivos de trucha arco iris en jaulas flotantes, sobre la calidad del agua del lago Guamués. Pasto, 1996. 108 p. Trabajo de grado (Especialización en Ecología). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

CASTRO, Maria. Estudio de la polución de aguas continentales. Conferencias. Popayán, Colombia, Universidad del Cauca, Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 1995. p. 39.

COLE, Gerard. Manual de Limnología. Montevideo : Hemisferio sur, 1988. p. 287.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Investigaciones de fomento forestal COFIN. Manual de métodos y procedimientos. Santa fe de Bogotá, 1999. p. 69

COLOMBIA. MINISTERIO DE RELACIONES EXTERNAS. “Informe nacional para la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo”. Bogotá, 1992. p. 51.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD: Usos del agua y residuos líquidos. Decreto 1594 de 1984. 73 p.

_____Expedición de normas técnicas de agua potable. Decreto 475 de 1998. 68 p.

CÓRDOBA, Carlos; GUZMÁN, Luis y ROSALES, Guillermo. Caracterización limnológica de la laguna Negra. Pasto, 1995. 120 p. Tesis de grado (Especialización en ecología) : Universidad de Nariño. Escuela de postgrados.

DEL CASTILLO, Benjamín. Indicadores biológicos de los afluentes del lago Guamués. Pasto, 1993. 109 p. Trabajo de grado (Especialización en Ecología) : Universidad de Nariño. Escuela de Postgrado.

DONATO, John. Estudio del fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica. Bogotá : Guadalupe, 2001. p. 232.

DONATO, John; GONZÁLES, Luz y RODRÍGUEZ, Claudia. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Santa Fe de Bogotá : Guadalupe, 1996. p. 164.

DUCHARME, A. Estudio físico – químico y biológico del lago de La Tota. Bogotá, 1975. 127 p. Revisión bibliográfica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

EDMONSON, W. Fresh – Water Biology. New York, 1959. v 2, p.1248.

FLOREZ, F. Contribución al estudio ecológico de la laguna de Tota. Bogotá, 1978. 134 p. Universidad Nacional. Fonade. Revisión bibliográfica COLCIENCIAS.

GARCÍA, Roberto; MORA, Amanda y RODRÍGUEZ, Hugo. Evaluación de parámetros físico – químicos como indicadores del grado de eutroficación del Lago Guamués. Pasto, 2001. 86 p. Trabajo de grado (Ingeniero Acuícola) : Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería.

GORDON, Thomas. Ecological diversity and Its Measurement, [http : // web. minambiente. Gov. co/biogeo/menu/herramientas/software.html](http://web.minambiente.gov.co/biogeo/menu/herramientas/software.html). Alma New Brunswick. Canada 1988.

HERRERA, Adriana. Plan de manejo ambiental de ecosistemas frágiles de páramo, vereda Tasmag, sector la Laguna. Pasto, 2000. 95 p. Trabajo de grado (Geógrafo) : Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Humanas. Programa de Geografía Aplicada.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma NTC – ISO 5667 – 4, Gestión ambiental, Calidad del agua, Muestreo, Guía para el muestreo de lagos, naturales y artificiales. Bogotá, ICONTEC, 1996. 16 p.

_____. Norma 1486 (Quinta actualización) Documentación. Presentación de Tesis. Trabajos de grado y otros trabajos de Investigación.

_____. Norma 1487 (Segunda actualización) Documentación. Citas y notas de pie de página.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM) : El medio ambiente en Colombia. Santa Fe de Bogotá : IDEAM. 1988. 495 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI : Aspectos geográficos del sector andino nariñense. Bogotá : IGAC. 1981. p. 640.

_____. Estudio general de suelos del sur – oriente del Departamento de Nariño, subdirección agrícola. Bogotá : IGAC. 1989. p. 640.

MARGALEF, Ramon. Limnología. OMEGA, Barcelona, 1983. p. 1010.

MARÍN, Rodrigo. Estadística sobre el recurso agua en Colombia. 2 ed. Santa Fe de Bogotá : Himat, 1992. p. 412.

MORENO Claudia. Métodos para medir la biodiversidad. M & T – Manuales y Tesis SEA. Zaragoza, 2001. v 1, p. 84.

NARVÁEZ, Alirio. Estudios batimétricos y algunas relaciones ecológicas del lago Guamués. Pasto, 1978. 101 p. Universidad de Nariño. Departamento de Biología.

NAVAS, Luis; ORTIZ, Gabriel, SOLARTE, Maria Elena. Introducción al estudio limnológico del lago Guamués. Pasto, 1989. 12 p. En : Revistas actas biológicas : Universidad de Nariño.

NEEDHAM, James y NEEDHAM, Paul. Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. Barcelona : Reverté, 1982. p. 131.

ODUM, Eugene. Ecología. México : Interamericana, 1985. p. 580.

PÁRAMO, Roberth. Estructura de la comunidad planctónica de pequeños lagos artificiales en la cuenca alta del río Suárez y sus relaciones con los parámetros físico – químicos. Santa Fe de Bogotá, 1993. 103 p. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano.

PINILLA, Gabriel. Síntesis de la ecología de los pequeños lagos. En : Memorias del Seminario Taller sobre Investigaciones limnológicas recientes en ecosistemas acuáticos. (1994: Santa Fe de Bogotá). Colciencias. Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1994. 258 p.

RAMÍREZ, J. y MACHADO. T. Influencia de la precipitación y los ortofosfatos sobre el fitoplancton de la represa La Fe. Actual. Biol. 11 (39); 3 – 21, 1982. p. 58.

RANGEL, Orlando. y GARZÓN, A. “Volcanes del Altiplano Nariñense.” Colombia. Diversidad biótica. Bogotá : Guadalupe, 1996. p. 442.

RENGIFO, Soraya. Análisis físico – químico y biológico del lago Guamués. Pasto, 1992. 105 p. Tesis Postgrado en Ecología. Universidad de Nariño.

RHEINHEIMER, Gerhard. Microbiología de las aguas. Zaragoza : Acribia, 1987. p. 299.

RODIER. J Análisis de las aguas : Aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar. Barcelona : OMEGA, 1981. p. 1059.

ROLDAN, Gabriel; POSADA, José y GUTIERRES, Juan. Estudios limnológicos de los recursos hídricos del parque de piedras blancas. Bogotá. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales : Guadalupe, 2001. p. 152.

ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín : Universidad de Antioquia, 1992. p. 529.

_____. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Bogotá : Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Centro de investigaciones, CIEN, 1988. p. 217.

_____. Manual de limnología. Guía teórico práctica, Medellín : Universidad de Antioquia, 1987. p. 215.

_____. Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua : Universidad de Antioquia. Departamento de Biología. 1998. p. 32.
grolدان@matematicas.udea.edu.co

SHANNON, C. E. Y W. WEAVER. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press, Urbana, II, 1949. 42 p.

SIMPSON, E. H. Measurmente of diversity. Nature, 1949. 87 p.

VALLENTYNE, John. Introducción a la Limnología. Barcelona : OMEGA, 1978. p. 498.

WETZEL, Roberh. Limnología. Barcelona : OMEGA, 1981. p. 679.

WHEATON, Frederick. Acuacultura : Diseño y construcción de sistemas. México : Editores ACT, 1982. p. 674.

ZAMORA, Hilder. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. Popayán: Universidad del Cauca, Departamento de Biología, 1999. p. 47 – 56.

ANEXOS

**Anexo A. RESULTADO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LA QUEBRADA CAPOTE
(AFLUENTE) EN PERIODO DE BAJA Y ALTA PRECIPITACIÓN**

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	MUESTREOS					
		PERIODO DE BAJA PRECIPITACIÓN			PERIODO DE ALTA PRECIPITACIÓN		
		RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
TEMPERARA	°C	9	8.7	8.85	7	7.8	7.4
TRANSPARENCIA	m.	--	--	--	--	--	--
COLOR	U.pt/Co	35	7	21	15.5	14.9	15.2
TURBIEDAD	UTJ	22.4	5.55	13.97	14.42	14.9	14.66
pH	U.pH	6.63	6.73	6.7	6.55	7.01	6.78
OXIGENO DISUELTO	Mg/l.	8.0	8.5	8.25	8.24	8.6	8.42
DIÓXIDO DE CARBONO	Mg/l.	3.4	3.8	3.6	3.75	4.05	3.9
ALCALINIDAD	Mg/l.	17.25	20.65	18.95	38.8	34.8	36.8
CONDUCTIVIDAD	U.S/cm.	43.6	55.6	49.6	75	80.3	77.65
AMONIO	Mg/l.	0.53	0.07	0.3	0.22	0.4	0.31
NITRITOS	Mg/l.	0.1	0.05	0.07	0.01	0.1	0.055
NITRATOS	Mg/l.	3.0	2.3	2.65	1.4	1.9	1.6
DBO5	ppm.	3.0	12.4	7.7	5.4	7.2	6.3
DQO	ppm.	3.8	15.9	9.85	9.2	13.28	11.24
SOLIDOS TOTALES	Mg/l.	68	101	84.5	116	90	103
SOLIDOS DISUELTOS	Mg/l.	58	78	68	80	80	80
SOLIDOS SUSPENDIDOS	Mg/l.	10	23	16.5	36	10	23
DUREZA TOTAL	Mg/l.	39.2	41.6	40.4	20.4	23.6	22
CALCIO	Mg/l.	18	15.6	16.8	7.2	9.6	8.4
MAGNESIO	Mg/l.	21.2	26.0	23.6	13.2	14	13.6
CLORUROS	Mg/l.	38	29	38.5	30.7	37	33.8
SULFATOS	Mg/l.	15	9.5	12.2	18	21	19.5
FOSFATOS	Mg/l.	0.03	0.09	0.06	0.08	0.08	0.08
COLIFORMES TOTALES	Microorg/100 ml.	12	16	14	6	8	7
COLIFORMES FECALES	Microorg/100 ml.	< 3	< 3	< 3	NEG.	NEG.	NEG.

**Anexo B. RESULTADO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LA LAGUNA LA BOLSA
EN PERIODO DE BAJA Y ALTA PRECIPITACIÓN**

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	MUESTREOS					
		PERIODO DE BAJA PRECIPITACIÓN			PERIODO DE ALTA PRECIPITACIÓN		
		RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
TEMPERARA	°C	12	12.3	12.15	11	13	12
TRANSPARENCIA	m.	9.1	7.2	8.15	7.7	7.6	7.65
COLOR	U.pt/Co	15	7.5	11.25	12.5	15	13.75
TURBIEDAD	UTJ	12.8	6.68	9.74	14.12	9.8	11.96
pH	U.pH	7.35	6.98	7.16	7.15	7.68	7.41
OXIGENO DISUELTO	Mg/l.	6.7	6.94	6.82	6.7	7.1	6.9
DIÓXIDO DE CARBONO	Mg/l.	2.4	2.8	2.6	2.8	3.4	3.1
ALCALINIDAD	Mg/l.	32.3	45	38.6	38	42.6	40.3
CONDUCTIVIDAD	U.S/cm.	78.6	80.4	79.5	82	81.9	81.2
AMONIO	Mg/l.	0.32	0.08	0.2	0.07	0.13	0.1
NITRITOS	Mg/l.	0.05	0.07	0.06	0.03	0.03	0.03
NITRATOS	Mg/l.	1.5	1.9	1.7	0.8	1.1	0.95
DBO5	ppm.	2.0	11.9	6.95	5.7	6.0	5.85
DQO	ppm.	2.7	15.6	9.15	10.2	9.4	9.8
SOLIDOS TOTALES	Mg/l.	57	106	81.5	84	108	96
SOLIDOS DISUELTOS	Mg/l.	50	79	64.5	70	90	80
SOLIDOS SUSPENDIDOS	Mg/l.	7.0	27	17	14	18	16
DUREZA TOTAL	Mg/l.	42.3	43.9	43.1	41.6	43.2	42.4
CALCIO	Mg/l.	17.2	16.0	16.6	18.8	15.6	17.2
MAGNESIO	Mg/l.	25.1	27.9	26.5	22.8	27.6	25.2
CLORUROS	Mg/l.	7.5	9.7	8.6	6.5	7.75	7.12
SULFATOS	Mg/l.	7.87	7.0	7.43	27.12	14	20.5
FOSFATOS	Mg/l.	0.01	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04
COLIFORMES TOTALES	Microorg/100 ml.	12	18	15	10	12	11
COLIFORMES FECALES	Microorg/100 ml.	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

**Anexo C. RESULTADO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL RÍO CUACÉ
(EFLUENTE) EN PERIODO DE BAJA Y ALTA PRECIPITACIÓN**

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	MUESTREOS					
		PERIODO DE BAJA PRECIPITACIÓN			PERIODO DE ALTA PRECIPITACIÓN		
		RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
TEMPERARA	°C	11.4	12.7	12.05	12	12.6	12.3
TRANSPARENCIA	m.	--	--	--	--	--	--
COLOR	U.pt/Co	20	6.5	13.25	22.5	25.5	24
TURBIEDAD	UTJ	5.42	17.5	11.46	13.95	16.1	15
pH	U.pH	6.64	6.94	6.79	6.66	6.65	6.66
OXIGENO DISUELTO	Mg/l.	8.17	7.8	7.98	8.07	8.03	8.05
DIÓXIDO DE CARBONO	Mg/l.	3.6	3.2	3.4	3.7	3.7	3.7
ALCALINIDAD	Mg/l.	35.65	44.7	40.17	41.15	39.95	40.55
CONDUCTIVIDAD	U.S/cm.	79.6	81.3	80.45	81	82.7	81.85
AMONIO	Mg/l.	0.36	0.04	0.2	0.03	0.04	0.035
NITRITOS	Mg/l.	0.09	0.03	0.06	ND	0.06	0.03
NITRATOS	Mg/l.	2.8	2.4	2.6	2.1	2.2	2.15
DBO5	ppm.	7.8	9.4	8.6	0.85	6.0	3.4
DQO	ppm.	10.6	14.2	12.4	1.72	9.3	5.5
SOLIDOS TOTALES	Mg/l.	99	89	94	99	111	105
SOLIDOS DISUELTOS	Mg/l.	91	80	85.5	85	92	88.5
SOLIDOS SUSPENDIDOS	Mg/l.	8	9	8.5	14	19	16.5
DUREZA TOTAL	Mg/l.	43.6	43.6	43.6	41.6	40.8	41.2
CALCIO	Mg/l.	19.2	21	20.1	18.8	17.6	18.2
MAGNESIO	Mg/l.	24.4	22.6	23.5	22.8	23.2	23
CLORUROS	Mg/l.	8	8.55	8.3	11	7.4	9.2
SULFATOS	Mg/l.	11.4	9.7	10.5	20.12	16.8	18.4
FOSFATOS	Mg/l.	0.07	0.04	0.05	0.04	0.10	0.07
COLIFORMES TOTALES	Microorg/100 ml.	24	16	20	16	14	15
COLIFORMES FECALES	Microorg/100 ml.	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

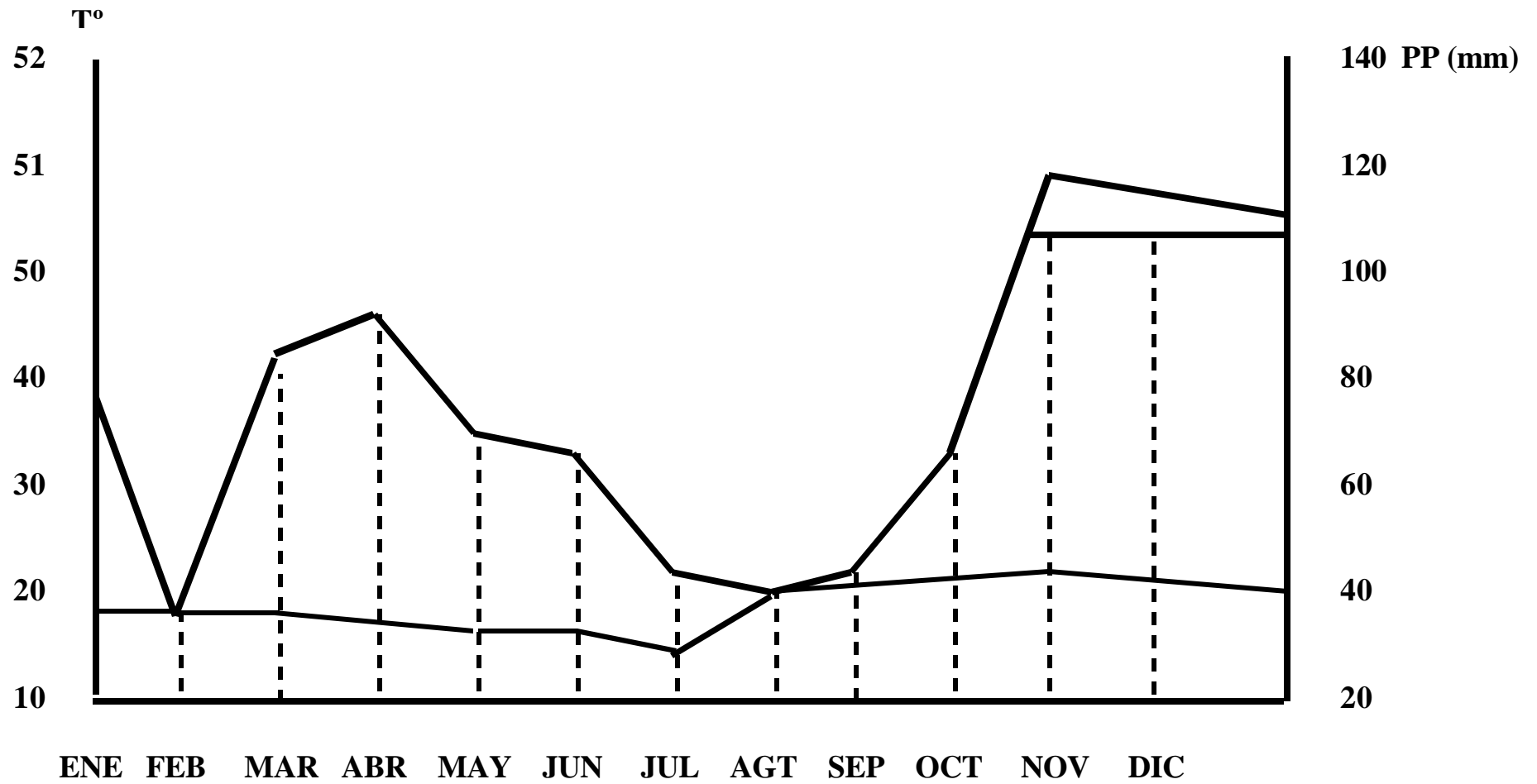
**Anexo D. ALGUNOS CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LOS
VALORES NORMALES EN LAS AGUAS (Decreto 1594 de 1984)**

Nombre	Expresado como	Limite admisible
Coliformes totales	NMP	20.000 micr/100 ml.
Coliformes fecales	NMP	2.000 micr/100 ml.
Tubiedad	UTJ	<5
Color	UPtCo	75
pH	Unidades	5.0 – 9.0
Alcalinidad	CaCO₃	10 – 60 mg/l.
Oxígeno disuelto	OD	2 – 5 OD/l.
Demanda biológica de oxígeno	DBO	
Excelente		0.15 – 1.5 mg/l.
Potable		2.5 mg/l.
Buena		20 mg/l.
Demanda química de oxígeno	DQO	80 %
Conductividad eléctrica	m. S/cm	10 – 100
Sólidos totales	mg/l.	10 – 200
Sólidos suspendidos	micras	0.01 – 20
Compuestos nitrogenados		
Nitrato. Consumo humano	(NO₃)	10 mg/l.
Biota acuática		90 mg/l.
Nitrito. Consumo humano	(NO₂)	1.0 mg/l.
Biota acuática		5.0 mg/l.
Nitrito + nitrato.	(NO₂) + (NO₃)	
Consumo humano		10 mg/l.
Fósforo	P	
Arrollos/ríos		0.1 mg/l.
Arrollos que entran en lagos		0.05 mg/l.
Lagos/depósitos		0.025 mg/l.
Cloruros	Cl	250 mg/l.
Sulfatos	SO₄	400 mg/l.

Anexo E. VALORES NORMALES DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS DE AGUAS NATURALES CONSIDERADAS PARA LAGOS OLIGOTRÓFICOS

Parámetros físico – químicos	Roldán (1992)
Ion amonio mg/l.	0.1 – 0.3
Nitritos mg/l.	0.1
Nitratos mg/l.	0.2 – 0.6
Fósforo mg/l.	0.01 – 0.03
Oxígeno disuelto mg/l.	6.0 – 8.0
Dióxido de carbono mg/l.	< 4.4
Alcalinidad mg/l.	10 – 60
Transparencia m.	10 – 20
Temperatura °C	6 – 12
Conductividad u.S/cm.	20 – 50
pH	6.5 – 7.5
Turbiedad UTJ	< 10

ANEXO F. CLIMADIOGRAMA 2002 LAGUNA LA BOLSA



Anexo G. COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS

MACROINVERTEBRADOS		QUEBRADA CAPOTE					RÍO CUACE					TOTAL	
		BAJA PRECIPITACIÓN		ALTA PRECIPITACIÓN			BAJA PRECIPITACIÓN		ALTA PRECIPITACIÓN				
		SEP. No IND.	OCT. No IND.	NOV. No IND.	DIC. No IND.	SUBTOTAL	SEP. No IND.	OCT. No IND.	NOV. No IND.	DIC. No IND.	SUBTOTAL		
1	CHIRONOMIDAE (<i>Cardiocladius</i>)	202	232	130	107	671	63	132	42	25	262	933	
2	SIMULLIDAE (<i>Simulium</i>)	102	172	110	98	482	9	3	0	0	12	494	
3	HELICOPSYCHIDAE	0	0	0	0	0	88	117	62	95	362	362	
4	HYALELLIDAE	41	17	17	20	95	70	111	11	23	215	310	
5	ELMIDAE (<i>Disersus</i>)	0	0	0	0	0	101	160	8	2	271	271	
6	LEPTOCERIDAE (<i>Oecetis</i>)	0	0	0	0	0	0	104	50	107	261	261	
7	CHIRONOMIDAE (<i>Orthocladius</i>)	42	38	29	20	129	21	41	13	0	75	204	
8	ODONTOCERIDAE (<i>Marilia</i>)	92	58	14	20	184	0	0	0	0	0	184	
9	CHIRONOMIDAE (<i>Chironomini</i>)	34	48	11	30	123	16	25	7	4	52	175	
10	LEPTOCERIDAE (<i>Atanatolica</i>)	0	0	0	0	0	88	67	1	5	161	161	
11	CHIRONOMIDAE (<i>Diamesinae</i>)	14	22	18	12	66	8	10	0	1	19	85	
12	PSYCHODIDAE	0	42	22	15	79	0	0	0	0	0	79	
13	PTILODACTYLIDAE	11	10	0	0	21	18	24	2	5	49	70	
14	EMPIDIDAE	9	3	4	1	17	9	24	0	0	33	50	
15	PERLIDAE (<i>Anacroneuria</i>)	6	4	3	2	15	18	12	3	1	34	49	
16	ELMIDAE (<i>Cylloepus</i>)	0	0	4	8	12	2	6	15	10	33	45	
17	BAETIDAE (<i>Baetodes</i>)	15	0	12	6	33	0	0	0	0	0	33	
18	OLIGOCHAETA	6	3	0	0	9	0	4	11	4	19	28	
19	CERATOPOGONIDAE	7	4	4	2	17	2	6	0	0	8	25	
20	BAETIDAE (<i>Baetis</i>)	0	25	0	0	25	0	0	0	0	0	25	
21	PERLIDAE (<i>Neoperla</i>)	0	0	9	13	22	0	0	0	0	0	22	
22	TIPULLIDAE (<i>Molophilus</i>)	2	0	2	12	16	0	0	0	0	0	16	
23	TIPULLIDAE (<i>Tipula</i>)	0	4	5	6	15	0	0	0	0	0	15	
24	BIVALVA (<i>Pisidiidae</i>)	0	0	0	0	0	0	14	0	0	14	14	
25	ELMIDAE (<i>Macrelmis</i>)	0	0	6	5	11	0	0	0	0	0	11	
26	HIRUDINEA	4	4	0	0	8	2	1	0	0	3	11	
27	ELMIDAE (<i>Heterelmis</i>)	0	0	0	0	0	0	0	4	3	7	7	
28	ACARINA (<i>Lymnessiidae</i>)	0	2	0	0	2	0	0	1	1	2	4	
TOTALES		1275		777			2052	1376		516		1892	3944

Anexo H. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN LA QUEBRADA CAPOTE (AFLUENTE)

<i>PHYLUM</i>	<i>CLASE</i>	<i>ORDEN</i>	<i>FAMILIA</i>	<i>SUBFAMILIA</i>	<i>GENERO</i>
ARTROPODA	INSECTA	DIPTERA	CHIRONOMIDAE	ORTHOCLADIINAE	<i>Cardiocladius</i>
					<i>Orthocladius</i>
				CHIRONOMINAE	<i>Chironomini</i>
				DIAMESINAE	
				SIMULLIDAE	<i>Simulium</i>
				EMPIDIDAE	<i>Hemerodromia</i>
				CERATOPOGONIDAE	<i>Estilobezzia</i>
				TIPULIDAE	<i>Molophilus</i>
					<i>Tipula</i>
				PSYCHODIDAE	
			TRICHOPTERA	ODONTOCERIDAE	<i>Marilia</i>
			EPHEMEROPTERA	BAETIDAE	<i>Baetodes</i>
		<i>Bateéis</i>			
			COLEOPTERA	PTILODACTYLIDAE	<i>Anchytarsus</i>
				ELMIDAE	<i>Cylloepus</i>
	PLECOPTERA	PERLIDAE	<i>Macrelmis</i>		
			<i>Anacroneuria</i>		
	CRUSTACEA	ANPHIPODA	HYALELLIDAE	<i>Neoperla</i>	
	ARACHNOIDEA	ACARINA	LYMNESSIIDAE	<i>Hialella</i>	
				<i>Lymnessia</i>	
ANNELIDA	OLIGOCHAETA	APLITAXIDA	LUMBRICULIDAE		
	HIRUDINEA	GLOSSIPHONIIFORMES	GLOSSIPHONIIDAE		

**Anexo I. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN EL RÍO CUACÉ
(EFLUENTE)**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	GENERO
ARTROPODA	INSECTA	DIPTERA	CHIRONOMIDAE	ORTHOCLADINAE	<i>Cardiocladius</i>
					<i>Orthocladius</i>
				CHIRONOMINAE	<i>Chironomini</i>
				DIAMESINAE	
				SIMULIDAE	<i>Simulium</i>
				EMPIDIDAE	<i>Hemerodromia</i>
				CERATOPOGONIDAE	<i>Estilobezzia</i>
			TRICHOPTERA	LEPTOCERIDAE	<i>Atanatolica</i>
					<i>Oecetis</i>
				HELICOPSYCHIDAE	<i>Elicopsyche</i>
		COLEOPTERA	PTILODACTYLIDAE	<i>Anchytarsus</i>	
				<i>Disersus</i>	
				<i>Cylloepus</i>	
				<i>Heterelmis</i>	
		PLECOPTERA	PERLIDAE	<i>Anacroneuria</i>	
CRUSTACEA	ANPHIPODA	HYALELLIDAE	<i>Hyaella</i>		
ARACHNOIDEA	ACARINA	LYMNESSIIDAE	<i>Lymnessia</i>		
ANNELIDA	OLIGOCHAETA	APLOTAXIDA	LUMBRICULIDAE		
	HIRUDINEA	GLOSSIPHONIIFORMES	GLOSSIPHONIIDAE		
MOLUSCA	BIVALVA	VENEROIDA	PISIDIDAE		

Anexo J. CLASES, VALORES Y CARACTERÍSTICAS PARA LAS AGUAS CLASIFICADAS MEDIANTE EL ÍNDICE BMWP PARA COLOMBIA.

Clase	Rango	Calidad	Característica	Color cartográfico
I	> 121	Muy buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101-120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61-100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36-60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16-35	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	< 15	Muy critica	Aguas fuertemente	Rojo

(Zamora 1999)

Anexo K. CLASES DE CALIDAD DEL AGUA, VALORES BMWP/COL, SIGNIFICADO Y COLORES PARA REPRESENTACIONES CARTOGRAFICAS.

CLASE	CALIDAD	BMWP/COL	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	> 150 101-120	Aguas muy limpias aguas no contaminadas o poco alteradas	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

(Roldan, 1998)

**Anexo L. LISTA DE FOTOGRAFÍAS DE LOS MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS**

- Fotografía 1. Chironomidae, *Diamesinae***
- Fotografía 2. Simuliidae, *Simulium sp.***
- Fotografía 3. Helicopsychidae, *Helicopsyche sp.***
- Fotografía 4. Hyalellidae, *Hyalella sp.***
- Fotografía 5. Elmidae, *Disersus sp.***
- Fotografía 6. Perlidae, *Anacroneuria sp.***
- Fotografía 7. Ceratopogonidae, *Stilobezzia sp.***
- Fotografía 8. Elmidae, *Cylloepus sp.***
- Fotografía 9. Baetidae, *Baetodes sp.***
- Fotografía 10. Perlidae, *Neoperla sp.***
- Fotografía 11. Chironomidae, Orthocladinae**
- Fotografía 12. Oligochaeta, Lumbriculidae**
- Fotografía 13. Tipulidae, *Tipula sp.***
- Fotografía 14. Elmidae, *Macrelmis sp.***
- Fotografía 15. Psychodidae,**
- Fotografía 16. Leptoceridae, *Atanatolica sp.***
- Fotografía 17. Odontoceridae, *Marilia sp.***
- Fotografía 18. Elmidae, *Heterelmis sp.***
- Fotografía 19. Empididae, *Hemerodromia sp.***
- Fotografía 20. Baetidae, *Baetis sp.***
- Fotografía 21. Tipulidae, *Molophilus sp.***
- Fotografía 22. Bivalva, Sphaeriidae**
- Fotografía 23. Hirudinea, Glossiphoniidae**
- Fotografía 24. Acarina, Lymnessiidae**
- Fotografía 25. Leptoceridae, *Oecetis sp.***
- Fotografía 26. Ptilodactylidae, *Anchytarsus sp.***



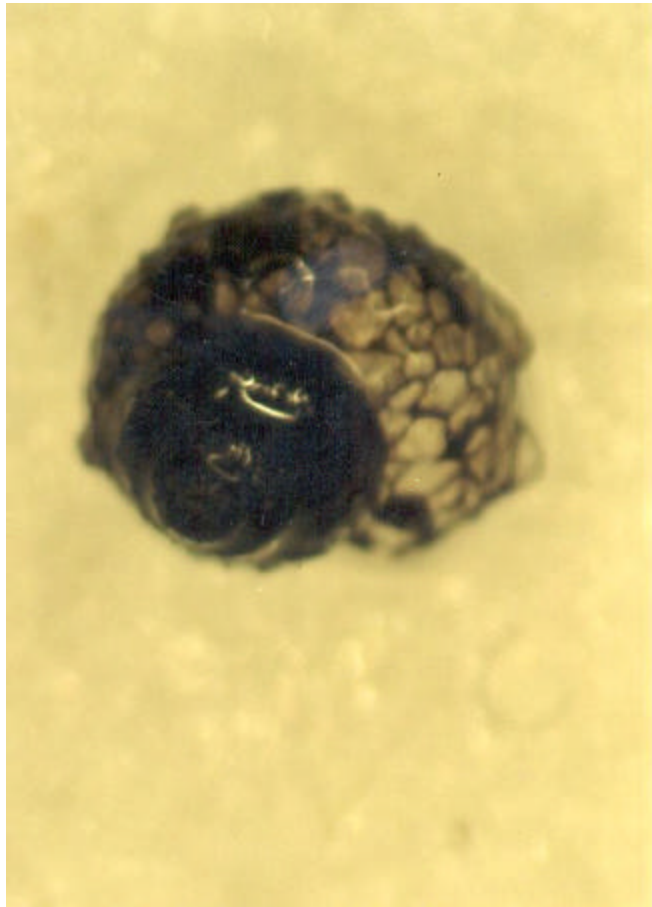
FOTOGRAFIA 1

Chironomidae
Diamesinae



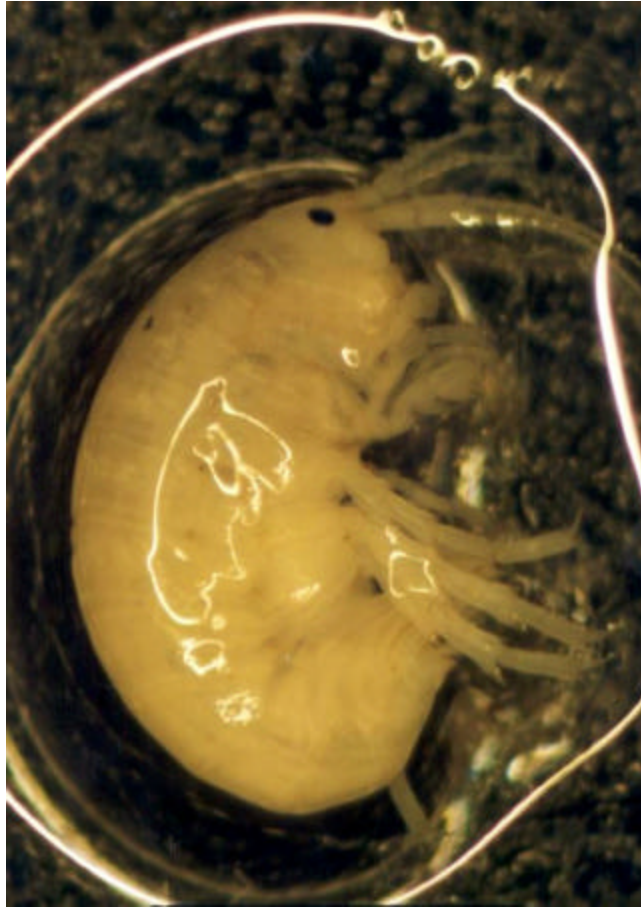
FOTOGRAFÍA 2

Simuliidae
Simulium sp.



FOTOGRAFÍA 3

Helicopsychidae
Helicopsyche sp.



FOTOGRAFÍA 4

Hyaellidae
Hyaella sp.



FOTOGRAFÍA 5

Elmidae
Disersus sp.



FOTOGRAFÍA 6

Perlidae
Anacroneuria sp.



FOTOGRAFÍA 7

Ceratopogonidae
Stilobezzia sp



FOTOGRAFÍA 8

Elmidae
Cylloepus sp.



FOTOGRAFÍA 9

Baetidae
Baetodes sp.



FOTOGRAFÍA 10

Perlidae
Neoperla sp.



FOTOGRAFÍA 11

Chironomidae
Orthocladinae



FOTOGRAFÍA 12

Oligochaeta
Lumbriculidae



FOTOGRAFÍA 13

Tipulidae
Tipula sp.



FOTOGRAFÍA 14

Elmidae
Macrelmis sp.



FOTOGRAFÍA 15

Psychodidae
Pericoma sp.



FOTOGRAFÍA 16

Leptoceridae
Atonatólica sp.



FOTOGRAFÍA 17

Odontoceridae
Marilia sp.



FOTOGRAFÍA 18

Elmidae
Heterelmis sp.



FOTOGRAFÍA 19

Empididae
Hemerodromia sp.



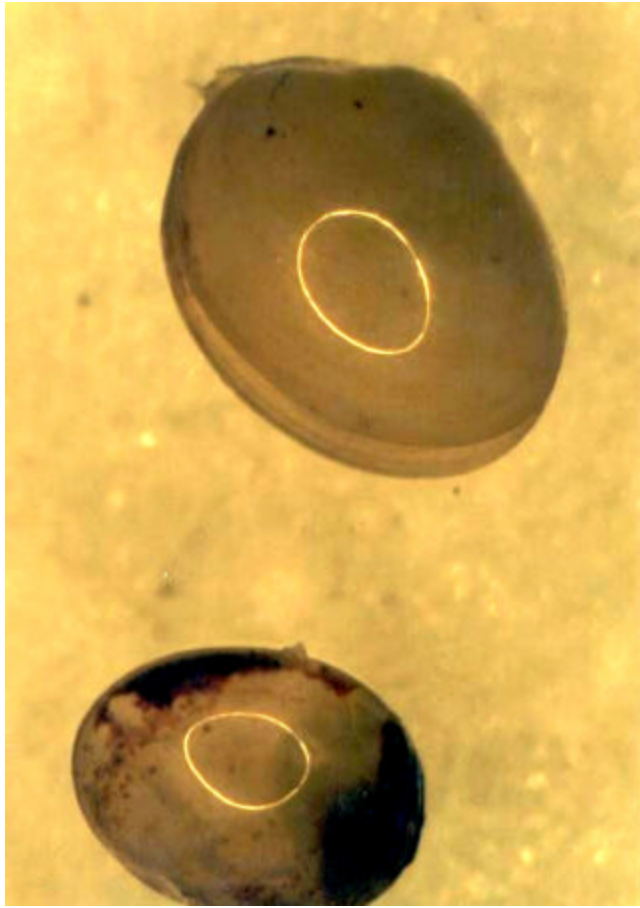
FOTOGRAFÍA 20

Baetidae
Baetis sp.



FOTOGRAFÍA 21

Tipulidae
Molophilus sp.



FOTOGRAFÍA 22

Bivalva
Sphaeriidae



FOTOGRAFÍA 23

Hirudinea
Glossiphoniidae



FOTOGRAFÍA 24

Acarina
Lymnessiidae



FOTOGRAFÍA 25

Leptoceridae
Oecetis sp.



FOTOGRAFÍA 26

Ptilodoctylidae
Anchytarsus sp.