

## ESTUDIO LIMNOLOGICO DE LA LAGUNA NEGRA. ZONA AMORTIGUADORA DEL P.N.N. LOS NEVADOS.\*

*Daniel Ricardo Toro Castaño<sup>1</sup>, Marco Tulio Jaramillo Salazar<sup>2</sup>, Diana Marcela Ocampo Serna<sup>3</sup>, Rosa Margarita Correa<sup>4</sup>, Paula Andrea Salgado<sup>5</sup>*

### Resumen

La Laguna Negra ubicada en la zona amortiguadora del Nevado del Ruiz a 3853 m.s.n.m, es una laguna glaciar de origen volcánico ubicada a un costado de la carretera que conduce al PNN Los Nevados es un símbolo turístico y fuente de agua para la región, desde hace varios años muestra una considerable reducción de su espejo de agua lo que hace imperante su estudio antes que pueda desaparecer. El propósito de esta investigación limnológica fue describir su morfología, la riqueza y la abundancia de las plantas ribereñas y de la comunidad planctónica, la calidad del agua, los microorganismos y su relación con algunas variables fisicoquímicas. Se realizaron dos campañas de muestreo, la primera en el mes de Octubre de 2009 (periodo de lluvia) y la segunda en Marzo de 2010 (periodo seco); para el estudio del agua se realizó un muestreo sistemático dividiendo la laguna en nueve cuadrantes, muestreando en superficie y en profundidad (1m). Se tomaron muestras de agua para la observación de plancton, parámetros fisicoquímicos y análisis bacteriológicos. Se realizó un estudio batimétrico de la laguna y se encontró que tiene un área de 950 m<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 1,0 m y una máxima de 1,8 m. Se encontró que en especial *Carex sp.* avanza sobre la laguna reduciendo su área de espejo. Para conocer sus variaciones y sus relaciones numéricas en dos ciclos hidrológicos se analizaron los resultados fisicoquímicos y biológicos de cada cuadrante, en superficie y en profundidad tanto para el primer y segundo muestreo y no se encontraron diferencias significativas entre los sitios muestreados (*p value* 0,524ni entre los muestreos (P=0.1973); El análisis de varianza ANOVA de una vía entre los cuadrantes, no mostró diferencias significativas. En el primer muestreo se encontraron coliformes fecales que superan los estándares permitidos lo que hace no potable para consumo humano sin previo tratamiento.

**Palabras claves:** *Limnología, parámetros fisicoquímicos, plancton, calidad de agua, Laguna Negra, Páramo.*

## LIMNOLOGIC STUDY OF THE BLACK LAGOON. BUFFER ZONE AT THE NATIONAL NATURAL SNOW-COVERED MOUNTAINS PARK

### Abstract

The Black Lagoon located in the buffer zone of Nevado del Ruiz at 3,853 m.a.s.l., is a glacial lake of volcanic origin located at the side of the road to the National Natural Snow-covered Mountains Park which is a touristic symbol and source of water for the region. For several years now, it has been showing a significant reduction of water in its water mirror which makes its study imperative before it disappears. The purpose of

\* FR: 10-V-2012. FA: 18-VII-2012.

<sup>1</sup> Profesor Asistente. Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Departamento de Química. Universidad de Caldas

<sup>3</sup> Profesora Asistente. Departamento de Química. Universidad de Caldas

<sup>4</sup> Egresados Programa de Biología. Universidad de Caldas

this limnological research was to describe the morphology, wealth and abundance of riparian vegetation and plankton community, water quality, microorganisms and their relation with physical-chemical variables. Two sampling campaigns were carried out: the first in of October 2009 (rainy period) and the second in March 2010 (dry period). Systematic sampling was conducted for the water study by dividing the lagoon into nine quadrants, sampling both on surface and in depth (1m). Water samples were taken for observation of plankton, physical-chemical and bacteriological parameter analysis. A bathymetric study of the lagoon was carried out and it was found that the lagoon has an area of 950 m<sup>2</sup>, an average depth of 1.0 m and a maximum depth of 1.8 m. It was found that specially *Carex sp.* progress on the lagoon reducing the water mirror area. To study their variations and numerical relationships in two hydrological cycles, the physical-chemical and biological results in each quadrant were analyzed both in surface and in depth for either, the first and the second sampling and no significant differences were found between the sampled sites ( $P=0.524$  and between the samples  $P=0.1973$ ). The one-way ANOVA analysis between quadrants did not show significant differences. In the first sampling fecal coliforms were found exceeding permitted standards which makes water non-consumable for human consumption without previous treatment.

**Keywords:** *Limnology, physical-chemical parameters, plankton, water quality, Black Lagoon, moor.*

## INTRODUCCIÓN

El plancton juega un papel fundamental en la ecología de los cuerpos de agua lenticos y loticos de reducida velocidad y en la producción primaria. Es bastante conocido el hecho de que las algas plantónicas se distribuyen en el perfil de profundidad de mares y lagos de acuerdo con las características físicas y químicas de las masas de agua, tales como luz, temperatura, turbulencia, tasa de renovación, salinidad y nutrientes entre otros (MARGALEF, 1983). Especialmente en sistemas lenticos continentales se ha encontrado una fuerte relación entre el gradiente de extinción de la luz y la distribución vertical del fitoplancton (HUISMAN *et al.*, 1999).

Los estudios realizados de fitoplancton, en la zona andina de los lagos colombianos como La presentación, San Rafael, Magdalena, Santiago y Cusiayaco, localizados en la cordillera central, gradientes como la conductividad, área del lago, sodio, potasio, alcalinidad, sílice, temperatura y el fosforo total, son variables que permiten determinar las diferencias entre distribución del fitoplancton en los lagos de estudio, donde se observa que junto a las diatomeas, las desmidáceas y los dinofitos son los grupos dominantes, mientras que en los lagos de la misma cordillera pero relacionados con vulcanismo reciente como Otún se caracteriza por la importancia de las Nostocophyceae, los clorococales son las más significativas dentro del conteo (DONATO, 2001).

También los microorganismos al igual que el plancton en los lagos desempeñan un papel clave en la productividad y en la transformación de los compuestos orgánicos. Las principales funciones ecológicas de los microorganismos de agua dulce puede resumirse en las siguientes: (1) descomponen la materia orgánica muerta y liberan los nutrientes minerales útiles para la producción primaria, (2) asimilan y reintroducen en la cadena alimentaria la materia orgánica disuelta, (3) participan en el reciclado de diferentes minerales, (4) contribuyen a la producción primaria, (5) son fuente de otros microorganismos (KUZNETSOV, 1970 en ATLAS & BARTHA, 2002). Las poblaciones microbianas de los lagos han sido estudiadas

más profundamente que las de los ríos (HUTCHINSON 1957; RHEINHEIMER 1991; COLE 1983; FORD 1993 en ATLAS & BARTHA, 2002).

El agua contenida en los lagos, está sometida en mayor o menor grado de contaminación por lo tanto las poblaciones bacterianas difieren en su número y calidad, según la procedencia del agua, su composición de elementos nutritivos y las condiciones biológicas, climatológicas y geográficas. Convirtiéndose en muchas ocasiones en un riesgo para la salud humana, como es el caso de los agentes patógenos transmitidos por el agua, que constituyen un problema de salud mundial (ROLDAN, 2008).

El presente estudio limnológico de la Laguna Negra estableció su morfología, las plantas ribereñas presentes como información preliminar y en especial la abundancia y diversidad de plancton y la manera en que se relaciona con las variables fisicoquímicas. En dos épocas del año. Además se evaluó la abundancia de morfotipos de bacterias. Así como el recuento de mesófilos aerobios, coliformes totales y fecales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO:

El presente estudio se realizó en la Laguna Negra localizada en la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados; Vereda La Laguna, Municipio de Villamaría, Departamento de Caldas-Colombia, al costado derecho de la carretera que conduce al PNN Nevados, Sector brizas, con coordenadas N 4°58' 51.5" y W 75°20' 16.19" a una altitud de 3853 m.s.n.m. con una temperatura ambiental promedio de 11°C y un área de espejo de 1.16 ha aproximadamente, con una pluviosidad de 873 mm anuales (Figura 1).

El área presenta un régimen climático bimodal siendo Abril y Diciembre los meses con más lluvia y Enero y Julio los meses de sequía (RANGEL, 2000).

### DESCRIPCIÓN DEL LUGAR:

Los alrededores de Laguna Negra son un humedal y están dominados en su mayoría por vegetación típica de páramo con alta intervención como pajonales, arbustos del género *Hypericum* y *Diplostephium.*, y frailejones (*Speletia wartneriana*). Hay unas pequeñas turberas en donde es abundante *Plantago rigida* y *Werneria sp.*, y ciperáceas con abundancia de *Carex sp.* El sector se encuentra cercado desde hace 10 años para protección de la laguna y tiene un área de 3 Ha aproximadamente. (Figura 2)

De acuerdo a Duque & Carranza (2008), la región en que se encuentra la Laguna Negra es un área pantanosa, la cual presenta pendientes que puede variar entre 0 y 30%. Los autores argumentan que no dependen de corrientes superficiales o inundaciones, sino de la descarga de aguas de escorrentía subsuperficiales o subterráneas. Los pantanos de este tipo son áreas casi completamente cubiertas por turberas de *P. rigida* que puede estar en proceso de formación de suelo y de invasión por gramíneas del género *Calamagrostis* y/o vegetación arbustiva (Figura 1).



**Figura 1.** Fotografía aérea del área de estudio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) vuelo C2269-Foto N° 163 de 1984

## FASES DE CAMPO Y LABORATORIO

### **Batimetría:**

Para el estudio de la morfología de la Laguna se realizó una batimetría manual realizando 8 recorridos diametrales ajustados a la rosa de los vientos. Se midió la longitud de cada diámetro y la profundidad de la laguna cada 5 m. Los resultados se analizaron con el programa Autocad® para obtener un modelo tridimensional de la laguna.

### **Medición del área de espejo del agua.**

Para la medición del área del espejo del agua de la laguna, se establece como referencia la mira limnimétrica, ubicada en el centro de la laguna; de allí se instalara la línea métrica marcada atada a una argolla, la cual se ancló en la parte saliente de la mira limnimétrica, con el cual se tomó el radio hasta el borde de la laguna, de allí al sentido contrario de las manecillas del reloj, cada 5 m se midió el radio de la laguna y se levantó un plano topográfico describiendo la geomorfología de la laguna.

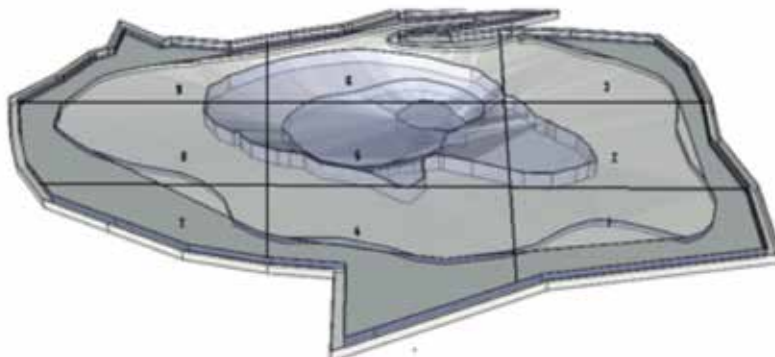
### **Evaluación de macrófitas ribereñas.**

Se realizó un muestreo descriptivo, determinando la frecuencia relativa, respecto a la composición de macrófitas ribereñas. se construyó un marco de madera de

3 x 3 m, el cual tiene un cordel formando una cuadrícula de 20 x 20 centímetros, como unidad de muestreo, el marco se ubicó en tierra firme en la orilla de la laguna.

### Obtención de las muestras de plancton

Para el estudio del plancton (fito y zoo), variables fisicoquímicas y bacteriológicas se dividió la laguna en nueve puntos de muestreo de manera sistemática, cada uno de 30 x37 m aproximadamente (Figura 2). Se realizaron dos muestreos en diferentes épocas climáticas en Octubre de 2009 época de lluvias y otra en Marzo de 2010 en tiempo seco.



**Figura 2.** Morfología de la Laguna Negra y Diseño de muestreo.

Para cada visita, se realizó un muestreo sistemático, y se tomaron muestras de agua a dos profundidades diferentes (una en la parte superficial del agua y otra a 1 m de profundidad). Se filtraron 4000 mL de agua con un filtro de plancton de 50  $\mu\text{m}$  de ojo de malla. (RAMÍREZ, 2000).

### Identificación y conteo del plancton

Para la determinación e identificación taxonómica de los organismos encontrados del fitoplancton y zooplancton se consideraron las siguientes claves y documentos: RAMÍREZ 2000, BOURRELLY 1968, ROLDAN 2000, VASQUEZ *et al.*, 2006. PINILLA 2000.

### Obtención de muestras Microbiológicas

En cada punto se tomaron una muestra de 30 mL de agua, en un envase de plástico estéril, Las muestras se rotularon y refrigeraron para ser llevadas al Laboratorio de Microbiología Aplicada de la Universidad de Caldas, para su análisis.

**Determinación de Mesófilos por el método del N.M.P.** Para corroborar el recuento de mesófilos se determinó por el método del N.P.M se inoculó cada muestra en caldo nutritivo con diluciones de  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ . (MADIGAN *et al.*, 2010).

**Determinación de coliformes totales y fecales.** La presencia de coliformes totales se determinó por el método de tubos múltiples NMP (YUSEF & CARLSTROM, 2003).

**Aislamiento de Bacterias aerobias mesófilas.** Para la cuantificación y aislamiento de la presencia de mesófilos en las muestras de agua se utilizó el método viable en superficie por recuento de UFC/mL, los cuales se sembraron en agar PCA en concentraciones  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , y  $10^{-5}$ .

### **Determinación in situ y ex situ de los parámetros fisicoquímicos**

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos se tomaron en cada punto dos muestras de agua una de superficie y la otra a un metro de profundidad (1 m). Se realizaron las siguientes determinaciones para los parámetros in situ: pH (electrodo), Conductividad (electrodo), Turbidez (Nefelometría), Oxígeno Disuelto (electrodo), Porcentaje de Saturación (electrodo) Temperatura del agua y Temperatura ambiente. Los datos fueron anotados en tablas predeterminadas. Para determinar los parámetros *ex situ* se preservaron las muestras y se realizaron los siguientes análisis en el Laboratorio de Estudios Ambientales en Agua y Suelo de la Universidad de Caldas siguiendo los procedimientos contemplados en el "Standar Methods for Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF(1992), catalogados con los números entre paréntesis: Nitrógeno total (NTK), nitrógeno amoniacal (4500-NH<sub>3</sub> C), fósforo total (4500 P D), DBO (5210 B), DQO (5220 C), sólidos totales (2540 B), sólidos suspendidos (2540 D), sulfuros (4500-S<sup>2</sup> D) y sulfatos 4500-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> E).

### **ANÁLISIS DE DATOS**

**Análisis ecológicos:** Para analizar la estructura y composición del plancton en todo el estudio se calcularon los índices de diversidad de Shannon - Weaner, Margalef y Simpson. Para la identificación de las bacterias del agua, con los datos morfofisiológicos, tinción de Gram y pruebas bioquímicas se construyó una matriz de datos para elaborar un dendrograma de asociación o similitud (Jaccard) para luego ser analizada por medio de cladogramas identificando el número de fenones, empleando el programa Past v.2,07.(WILLEY, 2008)

**Estadístico:** Para determinar si existe una diferencia significativa entre los dos muestreos se realizó una prueba de hipótesis, para la comparación de dos muestras, por medio del programa Statgraphics 5 Plus.

Para analizar las diferencias entre puntos de muestreo se construyó una matriz con los datos obtenidos en cada estación de muestreo con los resultados de plancton, coliformes fecales y totales, morfotipos de bacterias y fisicoquímicos. Para determinar la relación entre ellos, se utilizó un análisis de factores con método de extracción por componentes principales. El **A.C.P.** permitió identificar las variables con mayor influencia sobre la presencia y/o ausencia de determinados morfotipos de plancton en la laguna. Posteriormente se realizó un Análisis de conglomerados empleando el software SPAD v. 7.0.

Además con las variables fisicoquímicas y bacteriológicas de cada muestreo, se determinó el estado ambiental empleando el Índice de Calidad de Agua ICA, Índice de Contaminación por Materia Orgánica ICOMO y los Índices de Contaminación por Sólidos Suspendidos ICOSUS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Batimetría:

El comportamiento de la profundidad en este cuerpo de agua, muestra gran variabilidad en algunos casos se encontró profundidad de 30 cms y en la siguiente medición una profundidad de mas de 100 cms, mostrando una dinámica muy cambiante en el fondo de la laguna; los transectos poco profundos hacen posible la colonización de macrófitas, evitando la etiolación ya que la zona fotica ofrece el recurso lumínico para la germinación de las macrófitas y posteriormente a el opacamiento del espejo de agua. En las figura No 4 y 5 se observa el resultado de la batimetría y un modelo tridimensional de la misma, la máxima profundidad encontrada fue de 192 cm y la mínima de 10 cm cerca de la orilla. El promedio de profundidad para toda la laguna es de 102 cm.

El espejo de agua de la laguna se calculó en 11616,47 mts<sup>2</sup> y el volumen de agua se estimó en 11.848 m<sup>3</sup>. Se pudo estimar por fotografías aéreas de años anteriores que en un lapso de 30 años la laguna ha perdido el 50% del espejo de agua.

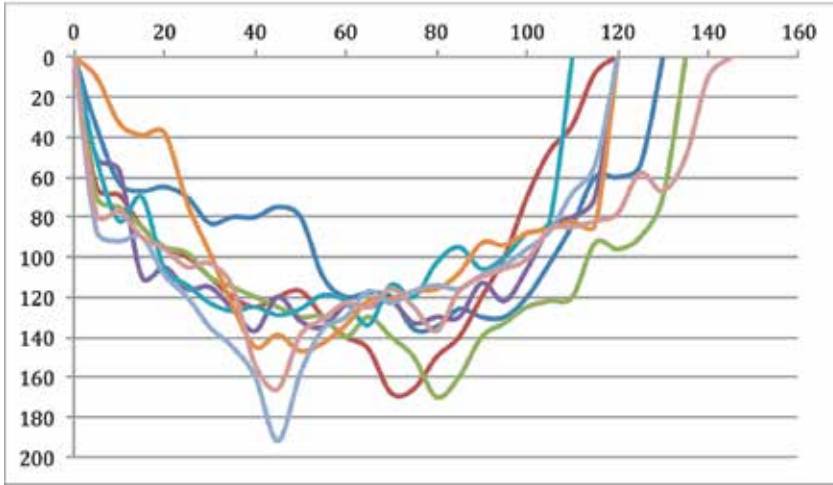
### Resultados Biológicos:

#### Macrófitas ribereñas:

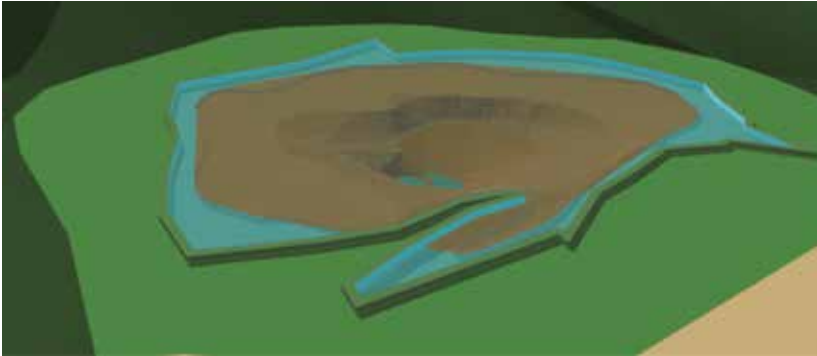
En el estudio se registraron 4577 individuos pertenecientes a 65 especies (Tabla N° 1), la familia con mayor número de géneros fue la familia *Asteraceae* y la familia más abundante fue *Cyperaceae*, la especie más abundante en la laguna fue *Carex pichenchensis* con una abundancia relativa del 45%, seguida de *Hypericum juniperium* con 6,6%.

**Tabla No. 1** Listado de las 10 macrófitas ribereñas encontradas con mayor abundancia en Laguna Negra. Datos suministrados por Juan Pablo Betancourt y Juan Pablo Cardona estudiantes del programa de Biología. Universidad de Caldas

Nº	Familia	Genero	Epíteto específico	Abundancia absoluta/ abundancia relativa
1	<i>Cyperaceae</i>	<i>Carex</i>	<i>pichinchensis</i>	2063/45,1
2	<i>Clusiaceae</i>	<i>Hypericum</i>	<i>juniperinum</i>	302/6,6
3	<i>Rosaceae</i>	<i>Lachemillia</i>	<i>orbiculata</i>	280/2,61
4	<i>Eriocaulaceae</i>	<i>Plantago</i>	<i>sp</i>	246/5,4
5	<i>Asteraceae</i>	<i>Oritrophium</i>	<i>sp</i>	204/4,5
6	<i>Poligonaceae</i>	<i>Muhelemebeekia</i>	<i>vuleanica</i>	139/3
7	<i>Poaceae</i>	<i>Oltus</i>	<i>lahanatus</i>	137/3
8	<i>Rubiaceae</i>	<i>Nerteria</i>	<i>granadensis</i>	127/2,8
9	<i>Poaceae</i>	<i>Papalum</i>	<i>hirtum</i>	106/2,3
10	<i>Poaceae</i>	<i>Agrostis</i>	<i>sp</i>	63/1,4



**Figura No. 4** En cada color el perfil de los transectos de la batimetría. Eje X Diámetro en metros, eje Y profundidad en cm.



**Figura No. 5.** Modelo tridimensional de La Laguna Negra.

### **Abundancia de plancton presente en Laguna Negra.**

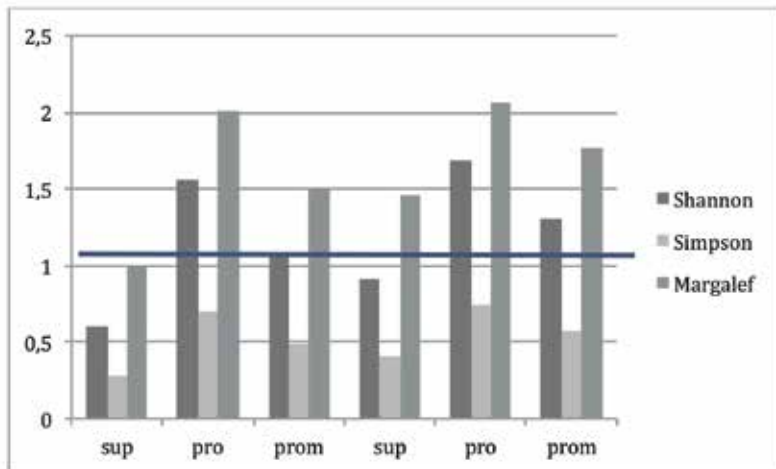
Los promedios de abundancias de individuos de plancton por litro fueron, de  $85 \times 10^5$  para el periodo de lluvias y  $28 \times 10^5$  para el periodo seco. Los resultados señalan que en general se presentó mayor diversidad planctónica en zonas de aguas profundas y que la abundancia se incrementó en periodo seco. En fase de lluvias las características fisicoquímicas predominantes fueron pH neutro y mayores valores de % de saturación de oxígeno, DQO,  $O_2$ ,  $S^{-2}$  NTK,  $SO_4^{-2}$ , DBO en comparación con el periodo seco. Respecto al plancton en el periodo de lluvias fueron predominantes



los grupos *Dinobryon sp.*, *Botryococcus sp.* y *Trachelomna sp.* En el periodo seco se destacaron los grupos *Oscillatoria sp.*, *Tabellaria sp.*, *Botryococcus sp.*, *Dinobryon sp.* y *Daphnia sp.*. La presencia y abundancia de las algas en el perfil vertical de Laguna Negra respondió a los cambios climáticos y las variaciones fisicoquímicas en el eje vertical.

El análisis fenético de las bacterias por dendrogramas de similitud se encontraron en total 50 fenones, de los cuales 22 fenones eran cocos y 28 bacilos, 29 eran Gram negativos y 21 Gram positivos. Se identificaron bacterias como *Escherichia coli*, *Aeromona hidrophila*, *Klebsiella pneumoniae* y *Bacillus subtilis*. En el empleo de los índices ICA CETEBS, ICOMO e ICOSUS para establecer la calidad del agua, se encontró un agua entre buena a regular calidad con baja contaminación por materia orgánica y sólidos suspendidos, el ACP entre las variables fisicoquímicas y su relación con los morfotipos de bacterias encontró una relación directa entre las variables turbidez Vs morfotipos de bacterias y los coliformes totales Vs DBO<sub>5</sub> y sulfuros (S<sup>2-</sup>). Los resultados encontrados en la Laguna Negra muestran un cuerpo de agua afectado climáticamente por la temperatura lo que ocasiona cambios verticales en la composición fisicoquímica y de organismos que la habitan. Se deben continuar los trabajos en este cuerpo de agua para determinar el origen de los contaminantes como los coliformes y las variaciones térmicas.

Para La Laguna Negra en el primer muestreo (Octubre 30 de 2009, periodo lluvioso), se encontraron 26 morfotipos, 25 pertenecientes a fitoplancton y 1 al zooplancton (Figura 5). Para el segundo muestreo (Febrero 26 de 2010, periodo seco), se encontraron 28 morfotipos, 25 pertenecientes a fitoplancton y 3 al zooplancton mostrando a nivel del plancton una red trófica básica (Figura 6).



**Figura 6.** Índices de diversidad del plancton para los muestreos realizados, en la Laguna Negra. Zonas: sup= superficial, pro= profundidad, prom= promedio.

Similares resultados se han encontrado en lagos de alta montaña de la cordillera central como Lago Rebolledo, L. San Rafael y el Embalse Chingaza (DONATO, 2000)

En el periodo de lluvias el morfotipo *Dinobryon* perteneciente **Chrysophyceae**, presentó un fuerte desarrollo (*Blooms*) seguido de otras especies con poca abundancia representada por diferentes grupos mientras que el periodo seco las abundancias de los morfotipos se incrementaron y se distribuyeron homogéneamente sin presentar florecimientos.

Respecto al zooplancton, este fue poco abundante y diverso. En el primer muestreo se encontró solo el **Cladóceros** *Daphnia sp.* con una abundancia relativa de 0,30% en la zona profunda.

En el segundo muestreo, los grupos de fitoplancton más abundantes fueron las **Cianophytas** representadas en *Oscillatoria sp.* 25% *Chroococcus sp.* 10,28%; las **Crysoficeas** representadas con *Tabellaria sp.* 19,31% y las **Euglenoficeas** representadas con *Guttula sp.* 1.94%

### Diversidad en Laguna Negra

En el periodo de lluvias en la superficie el Índice de Shannon fue de 0,60 el de Simpson de 0,27 y el de Margalef de 0,98. En profundidad fueron 1,54; 0,69 y 2,00 respectivamente, En el muestreo en tiempo seco los valores para superficie fueron 0,91 0,41 y 1,46 respectivamente y para profundidad de 1,61 0,7 y 2,0 (Figura 6).

De igual forma que en el primer muestreo se presenta un incremento de los valores de los índices con la profundidad lo que muestra estratificación vertical. Al comparar los promedios entre el primer y segundo muestreo (Figura 6) se observa un incremento de los índices de Shannon y de Margalef en el segundo muestreo posiblemente debido al aumento de materia orgánica implicando mayor disponibilidad de alimento.

### Bacteriológicos:

#### Recuento de mesófilos:

El recuento de mesófilos para el primer muestreo fue positivo en siete sitios de muestreo, para los sitios 2 y 9 no hubo presencia de microorganismos. Para el segundo muestreo los valores de mesófilos fueron más bajos que en el primero. Al igual que en el primer muestreo estas aguas indican un bajo grado de contaminación (ROLDAN 2003).

#### Recuento de coliformes:

Los resultados de coliformes totales y fecales por el método de NMP para los dos muestreos mostró un incremento de coliformes totales entre el primero y segundo muestreo. Con respecto a los coliformes fecales, en el primer muestreo los coliformes fecales presentaron su mayor valor en la estación 1 y 5. En el segundo muestreo no hubo presencia de coliformes fecales

La presencia de coliformes fecales durante el primer muestreo, puede deberse a la actividad antrópica en la cuenca de la laguna y por escorrentía o por contaminación del agua del nivel freático ya que a menos de 100 metros existe una vivienda y un restaurante.

## Diversidad bacteriana Análisis de clasificación fenética

Como resultado del análisis por dendrogramas de similitud en total se encontraron 50 fenones, de los cuales 22 fenones eran cocos y 28 bacilos de los cuales 29 eran Gram negativos y 21 Gram positivos. Además, algunos de los microorganismos se encontraron compatibles con *Escherichia coli*, *Aeromonas hydrophila*, *Klebsiella pneumoniae* y *Bacillus subtilis*. Estos mismos resultados fueron hallados por (AVILA & ESTUPIÑAN; 2008)

**Tabla No 2.** Valores fisicoquímicos encontrados en La Laguna Negra en los dos muestreos realizados en superficie y en profundidad.

PARAMETRO	Primer muestreo		Segundo muestreo		Observaciones
	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	
Temperatura °C	10.4	10	12	127.07	Valores esperados para esta altitud.
pH	7.07	7.2	6.18	6.41	Los valores encontrados en general en los cuerpos de aguas oscila entre 6.0 y 8.0 (ROLDAN, 2003) el rango de pH para las lagunas Tota-Boyaca y Cocaha-Nariño son de 6.5-8.5 y 6.5-7.5
Oxígeno mg/L	7	5.92	7.52	7.41	El agua se encuentra de buena calidad propia de aguas frías y aptas para el consumo humano, la pesca y la preservación de flora y fauna.
Oxígeno %	65.67	55.53	75.15	71.25	
Sólidos totales mg/L	85	100,44	133,33	162	Los valores de SDT que presenta la Laguna la caracteriza dentro del rango de Lagos y Ríos Neo tropicales con valores entre 10 y 200 mg/L (ROLDAN 2008). Los SS de la laguna varían entre 46 y 84 mg/L, valores que según el índice se encuentran entre 50 y 75 mg/l corresponden a aguas de cuencas bajas y de buena calidad y los valores entre 75 y 150 mg/L corresponden a aguas medianamente contaminadas
Sólidos disueltos mg/L	38,22	45	60,77	76,66	
Sólidos suspendidos mg/L	46,78	55,54	72,55	84,33	
DBO mg O <sub>2</sub> /L	12.18	14.7	16.71	21.47	Según el índice I.C.A. los lagos que tengan valores entre 15-100 mg/L se caracterizan como aguas polisapróbicas.
DQO mg O <sub>2</sub> /L	36.03	44.49	55.73	43.89	Estos valores se encuentran por encima del rango de aguas naturales no intervenidas que es 10mg/L (CORPOCALDAS, 2009).



PARAMETRO	Primer muestreo		Segundo muestreo		Observaciones
	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	
Temperatura °C	10.4	10	12	127.07	Valores esperados para esta altitud.
Fosforo µg/L	400	390	370	290	Valores mayores de 200 µg/L indican eutrofia según ROLDAN 2008, valores por encima de 100 µg/L indican un estado politrófico de Laguna Negra.
Azufre mg/L	1.71	1.83	2.22	2.34	(ROLDAN, 2003). En nuestro país se han encontrado valores de 8,0 mg/L para la laguna de Tota y 4,0 mg/L para Cocha y 12,0 mg/l en promedio para los embalses colombianos.
Sulfuros mg/L	1.74	0.8	0.88	0.93	Los anteriores valores indican las aguas que alimentan la laguna no son de origen volcánico.

## RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

La relación de los parámetros Físicoquímicos entre superficie y profundidad (Tabla 3) con una prueba de hipótesis para la comparación de dos muestras no mostró diferencias significativas ( $P= 0.524$ ). Así mismo se encontraron diferencias significativas ( $P<0,05$ ) entre el primer y segundo muestreo, pero no se encontró diferencias dentro de los muestreos ( $P= 0.1973$ ).

### Correlación de resultados

#### Análisis de Componentes Principales (ACP), bacteriológicos

El Análisis de factores con métodos de extracción por componentes principales (ACP), según este criterio se encontró que la variable Morfotipos de bacterias presenta una relación directamente proporcional con la turbidez. Asimismo, se encontró que los coliformes totales tienen una relación directamente proporcional con las variables DBO,  $SO_4^{-2}$ . De acuerdo con la clase de hábitat acuático, la composición de la flora bacteriana difiere ampliamente, dependiendo no solo del contenido en el agua de material orgánico e inorgánico, su pH, turbidez, temperatura, sino también de las fuentes que puedan introducir microorganismos al agua (ROLDAN, 2003). La relación directa entre el parámetro físicoquímico turbidez y la variable morfotipos de bacterias se debe principalmente a que la diversidad de microorganismos es beneficiada por lo oferta de sustratos de composición diferente. (ATLAS & BARTA, 2002). La materia orgánica e inorgánica suspendida en el agua ocasiona la turbidez y a su vez estimula el desarrollo de diferentes microorganismos.

La turbidez está relacionada directamente con el sustrato y sedimentación de las partículas en el fondo, como consecuencia de ésta los lagos poco profundos se colmatan más rápido además, en el centro de los lagos hay corrientes de turbidez, que decantan partículas finas que han llegado en suspensión en el centro del lago.

La actividad bacteriana puede verse influida por la calidad del sustrato. Así mismo, los microorganismos que se encuentran en el sedimento de los lagos de agua dulce suelen ser diferentes de los que ocupan las capas superiores del agua, haciéndose notorio los mayores recuentos de microorganismos en el sedimento (ATLAS & BARTHA 2002); estos resultados enfatizan la importancia de los sedimentos como almacenadores y protectores de la población bacteriana, lo cual podría tener implicaciones en la calidad del agua ya que contribuirían a acentuar el problema de la eutrofización.

Por otro lado el ACP dio como resultado que la variable Coliformes Totales presenta una relación directamente proporcional con los parámetros DBO<sub>5</sub>, S<sup>2</sup>. Dicha relación Coliformes Totales Vs. DBO<sub>5</sub> se da por la capacidad de reproducción de ellos, ya que es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica DBO<sub>5</sub> (ARCOS, M. *et al.*, 2003). La descomposición de la materia orgánica proveniente de la materia fecal además de aportar coliformes produce metano, H<sub>2</sub>S y otros gases muy solubles; otra fracción de H<sub>2</sub>S procede de la reducción de los sulfatos por la acción de las bacterias (MARGALEF, 2002).

### **ACP entre las variables fisicoquímicas y la riqueza abundancia y diversidad del plancton.**

La correlación de las variables fisicoquímicas sobre las comunidades planctónicas merece algunas consideraciones. En primer lugar es notoria la influencia negativa del pH neutro (7.15) sobre casi todos los morfotipos sin incluir *Dinobryon sp.*, y *Desmidiium sp.*, de la clase Crisoficeas y de la clase cloroficeas (Desmidiales) respectivamente. Por otra parte los niveles de % de saturación de oxígeno (62.09 %), S<sup>2</sup> (0.76 mg/L) NTK (7.32 mg/L) SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (1.76 mg/L), DBO<sub>5</sub> (12.74 mg O<sub>2</sub>/L) y temperatura del agua (10.14°C) son variables que se correlacionan positivamente con estos morfotipos, lo que indica que un aumento o descenso en estos valores podría modificar la presencia de estos morfotipos.

El análisis muestra como significativa la presencia de *Daphnia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Closterium sp.* y *Guttula sp.*. Este grupo a su vez se relaciona con valores mayores de las variables físicas y químicas: pH (6.33); NTK (9.68 mg/L), SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (2.26 mg/L), S<sup>2</sup>(0.91mg/L), DBO<sub>5</sub> (19.21 mg O<sub>2</sub>/L), % de saturación de oxígeno (71.25), y temperatura del agua (11.42), a su vez estos valores se relacionan negativamente con la presencia de *Desmidiium sp.*

### **CALIDAD DEL AGUA:**

**ÍNDICE ICOMO:** Representa variables de contaminación como nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforo, oxígeno, DBO<sub>5</sub>, DQO y Coliformes Fecales y Totales. El índice se definió en función de la DBO<sub>5</sub>, Coliformes Totales y porcentaje de saturación de Oxígeno. Las dos primeras variables reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica, y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo de agua a este tipo de polución.

En la tabla 3 se encuentran los valores obtenidos para el índice ICOMO durante los muestreos realizados en Laguna Negra

**Tabla 3.** Índice ICOMO de las aguas de Laguna negra y su interpretación

índice ICOMO		Clasificación de la Contaminación
SUPERFICIE	0,20566415	Baja
PROFUNDIDAD	0,25551204	Baja
SUPERFICIE	0,24881651	Baja
PROFUNDIDAD	0,28721615	Baja

Las aguas de la Laguna Negra son de Baja contaminación por materia orgánica

## INDICE ICOSUS

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en laguna Negra en el periodo de lluvias y seco es mayor el valor en profundidad, además el índice es mayor en el periodo seco que en el de lluvias. En General la laguna presenta baja Contaminación por sólidos suspendidos. Estos valores son observados en otros cuerpos de agua donde las lluvias aumentan la dilución de los sólidos y en periodo seco se aumentan la concentración de sólidos.

**Tabla 4.** Índice ICOSUS para la Laguna Negra

Índice ICOSUS de Laguna Negra		Contaminación
SUPERFICIE	0,12034	Muy baja
PROFUNDIDAD	0,14662	Muy baja
SUPERFICIE	0,19765	Muy baja
PROFUNDIDAD	0,23299	Baja

## Estimación del Índice de Calidad de Agua General “ICA-CETESB”

En la tabla 6., se encuentran los resultados del análisis ICA de las aguas de Laguna Negra para la superficie y profundidad, tanto para el primer como el segundo muestreo.

**Tabla 6.** Calidad ICA del agua de Laguna Negra para consumo humano

Muestreo	Lugar	Valor	INDICE DE CALIDAD ICA CETESB
PRIMER MUESTREO	SUPERFICIE	64	Buena Calidad
	PROFUNDIDAD	59	Buena Calidad
SEGUNDO MUESTREO	SUPERFICIE	55	Buena Calidad
	PROFUNDIDAD	50	Regular Calidad

Según los resultados obtenidos las aguas son clasificadas como de Buena Calidad en el primer muestreo y de Buena calidad y regular calidad en el segundo muestreo, se observa que el índice de calidad ICA SETESB disminuye del primer al segundo muestreo.

## CONCLUSIONES

La Laguna Negra tiene una profundidad promedio de 1.2 m con una orilla gradual favoreciendo el establecimiento de macrofitas que van cerrando el espejo de agua. Posee un fondo lodoso rico en materia orgánica, el impacto ambiental generado en sus alrededores es bajo, la mayor responsable de la pérdida del espejo de agua es la especie *Carex pichincensis* lo que pronostica para este sitio en pocos años se convertirá en un humedal.

Las variaciones en la diversidad de la comunidad fitoplanctónica entre el primer muestreo (periodo lluvioso) y el segundo muestreo (Periodo seco) indican que este ambiente es cambiante y por lo tanto la comunidad de algas se mantiene en constante dinamismo. La secuencia del periodo de lluvias y de menos lluvias (seco), son los aspectos que determinan la distribución del fitoplancton en Laguna Negra, además de las condiciones tróficas generales. En general el fitoplancton fue diverso en profundidad posiblemente debido al incremento de materia orgánica y el zooplancton escaso y poco diverso y estuvo compuesto principalmente por cladóceros y rotíferos. Los grupos dominantes de microalgas fueron Crysophyta, Euglenophyta, Cyanophyta, Chlorophyta.

Las aguas de Laguna Negra según los índices ICA, ICOSUS e ICOMO presentaron una calidad entre aceptable y ligeramente contaminadas, necesitando un tratamiento de potabilización indispensable, para ser usada como agua potable. De acuerdo al valor de los coliformes totales y fecales de la laguna la calidad bacteriológica del agua requiere para su consumo del empleo de métodos habituales de tratamiento como desinfección y filtración.

Entre el primer muestreo en periodo seco y el segundo en periodo de lluvias se presentó un incremento de la mayoría de parámetros esto se puede deber a los cambios de temperatura de la laguna, a flujos internos del agua que remueven el fondo lodoso de la laguna. No existen diferencias significativas entre los valores obtenidos de los nueve puntos muestreados en la laguna, en cambio existen diferencias entre la superficie y un metro de profundidad para algunos parámetros evaluados. Mostrando una estratificación en el cuerpo de agua que la acerca más a condición de humedal.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARCOS M., AVILA S., ESTUPIÑAN M., GOMEZ A. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Revista Nova, 3(4), 69-79. Colegio mayor de Cundinamarca.
- ATLAS & BARTHA, 2002. Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental Edit Addison Wesley.
- AVILA, S.; ESTUPIÑAN, S. 2008. Calidad microbiológica del agua de los Humedales Arcial, El Porro y Cintura (Río San Jorge), y los Humedales Baño, Pantano Bonito y Charco Pescado (Río Sinu) en el Departamento de Córdoba Colombia. p.p 107-132.
- CASALLAS, J.E; GUNKEL, G. 2001. Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. [En línea]: Asociación Ibérica de Limnología. Consultado el 21 de Mayo de 2010. En: [http://www.limnetica.com/Limnetica/limne20b/Limnetica-vol20\(2\)-pag215-232.pdf](http://www.limnetica.com/Limnetica/limne20b/Limnetica-vol20(2)-pag215-232.pdf).

- CONDE-PORCUNA, J.M., RAMOS-RODRÍGUEZ, E. Y MORALES-BAQUERO, R. 2004. El zooplancton como integrante en la estructura trófica de los sistemas acuáticos lénticos. *Ecosistemas* 2004/2
- CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas); Aguas de Manizales. 1999. plan de ordenamiento ambiental del territorio de la cuenca del río Chinchiná. Tomo II. CORPOCALDAS, Manizales.
- DONATO, J.CH. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución. Universidad de Barcelona, academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras. No 19. Bogotá, Colombia. Editora Guadalupe LTDA. pp 232
- DONATO, J.CH. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución. Universidad de Barcelona, academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras. No 19. Bogotá, Colombia. Editora Guadalupe LTDA. pp 232
- GARRIDO, GLADYS GRACIELA 1998. estructura de la comunidad zooplanctónica de mbalse yacretá en las etapas del posllenado
- HUISMAN, J., JONKER, R., ZONNEVELD, C. and WEISSING, F. 1999. Competition for light between phytoplankton species: experimental tests of mechanistic theory. *Ecology*, vol. 80., No 1, pp. 211-222.
- MADIGAN, 2010 *Brooc, Biología de los microorganismos*. Edit Prentice Hall. 11 Ed.
- MARGALEF, R. 1983. Limnología. Editorail omega . Barcelona . pp 1010
- MARGALEF, R. 2002. Teoría de los sistemas ecológicos. alfaomega. México. 290 pp.
- PINILLA, G. 2000. Indicadores biológicos en los ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Edit. Fund. Universitaria Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- RAMÍREZ, J.J. 2000. Fitoplancton de agua Dulce. Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín
- RANGEL J.O. 2000. Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna de Colombia. Editorial Unibiblos. universidad Bogotá, Colombia. pp. 902
- ROLDAN, G. 2003. Bioindicacion de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/ Col. Editorial Universidad de Antioquia
- ROLDAN, G. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. segunda edición. Medellín. 529 pp.
- VÁSQUEZ, C., ARIZA, A., PINILLA .2006. Descripción del estado trófico de diez humedales del Altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*. pp 61-75.
- WILLEY, SHERWOOD, WOOLVERTON, 2008. Prescott, Herley y Klein Microbiología. 7ª Ed. Mac Graw Hill. España.
- YOUSEF, A & CARLSTROM, C. 2003 Microbiología de los Alimentos: Manual de Laboratorio. Editorial Jhon Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New York. Pp 303