

**VARIACIÓN TEMPORAL DEL FITOPLANCTON EN LA LAGUNA SABANAS
DEL PÁRAMO DE BELMIRA. ANTIOQUIA, COLOMBIA**

GERARDO ANDRÉS BARBOSA MENDOZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA**

2009

**VARIACIÓN TEMPORAL DEL FITOPLANCTON EN LA LAGUNA SABANAS
DEL PÁRAMO DE BELMIRA. ANTIOQUIA, COLOMBIA**

GERARDO ANDRÉS BARBOSA MENDOZA

Directora

Msc Biología Omaira Rosa Sierra Arango

Estudiante de doctorado, Brasil

Trabajo de Investigación para optar el título de Biólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE BIOLOGÍA

2009

AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen a:

-César Augusto Velásquez Ruiz, Luis Norberto Parra Sánchez, Neil Vásquez y en general a la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín por el espacio, equipos, apoyo institucional para en esta investigación.

-A Rosa Aura Gavilán por el apoyo recibido del laboratorio de Limnología de la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander.

-A Paulo Alves de Souza por la corrección del inglés del resumen de este documento.

-A Corantioquia por permitir la investigación y el suministro de los guías.

- A señor Augusto del cabildo verde por el apoyo logístico recibido y al señor Albeiro por su valiosa colaboración en cada una de las salidas de campo sin su ayuda desinteresada este proyecto no se hubiera podido llevar a cabo, mil gracias

Por mi parte, considero que este camino largo, lleno de tantas angustias y pesares, hubiera sido imposible recorrer sin la compañía de grandes persona que en su tiempo confiaron en mí, que me dieron un hombro en cual apoyarme y que compensaron dichas angustias con millones de risas, momentos inolvidables y un sin fin de lecciones de vida, las cuales me ayudaron a formarme, no solo como biólogo si no como persona, parte de lo que soy hoy se los debo a ellos y ellas. Mencionando esto, la lista de agradecimiento se vuelve algo grande porque tuve la fortuna de toparme con buenas personas que llegaron a mi vida en el momento

adecuado, algunas ya no están pero estarán siempre en mi corazón, comenzare entonces agradeciendo:

-A Dios que curiosamente me reencontré con él en esta etapa de mi vida.

-A mis amigos y compañeros de secuestro en especial a Clara Inés Téllez, Oriana Serna, Juan Carlos Agudelo, Liliana Serrano, Adriana Puentes, Alexander Mendez, Jorge Monsalve y Claudia Quijano por las interminables charla en el pasillo y lógicamente por los días en los que el sol nos sorprendió con una botella en la mano.

-Asimismo quisiera agradecer a mi directora de proyecto, Omaira Rosa Sierra Arango que sin conocerme me tendió su mano y compartió conmigo su vida y sus conocimientos, le estaré eternamente agradecido.

-Otras magnificas mujeres que compartieron conmigo, su vida y su amor a la biología fueron mis compañeras de laboratorio: Viviana Samboni, Diana Vergara y Marcela Jojoa, a ellas mil gracias por esas horas interminables horas de conteo, por compartir su almuerzo conmigo y en especial por demostrarme que aún quedan en el mundo mujeres que a pesar de sus luchas internas salen adelante, así sea comiendo arroz con lentejas, las adoro y siempre las llevare en mi corazón.

-A Jean Pierre Granados por no dejarme caer en los momentos en los que la vida y la biología me golpearon, sin su apoyo mi objetivo no lo hubiera logrado, simplemente gracias.

-A Johan Alexander Brand, por estos últimos meses de compañía y apoyo

-A Maira Liseth Sanabria, siempre la llevare en mi corazón, gracias por estar ahí

-Por último, aunque no la menos importante, quisiera expresar que a lo largo de este camino pude ver, palpar y sentir que el amor de una madre mueve montañas y cumple sueños, a ti mama este triunfo es solo suyo, mil gracias.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado solo a ti mama, este triunfo es mas tuyo que mío.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MATERIALES Y MÉTODOS	17
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	17
1.2 MUESTREO	18
1.3 VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS	18
1.4 VARIABLES BIOLÓGICAS	19
1.5 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	20
1.6 VARIABLES AMBIENTALES	21
1.7VARIABLES BIOLÓGICAS	25
2. DISCUSIÓN	33
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFIA	40
ANEXOS	49

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores mínimo, máximo, media y varianza de las variables Químicas, físicas y ambientales que se analizaron en la estación de muestreo la laguna Sabanas del páramo de Belmira.	21

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del páramo de Belmira, Municipio de Belmira, Antioquia. Colombia.	17
Figura 2. Variación temporal de la transparencia, nitratos, ortofosfatos, precipitación, biomasa y materia orgánica fitoplanctónica durante los meses de muestreo en la laguna sabanas, Páramo de Belmira.	24
Figura 3. Variación temporal de la densidad fitoplanctónica total durante los meses de muestreo en la laguna sabanas, Páramo de Belmira.	25
Figura 4. Variación temporal del fósforo total y el <i>Dynobryon pediforme</i> durante el muestreo en la laguna Sabanas.	26
Figura 5. Variación temporal de la riqueza y la precipitación durante el tiempo de estudio en la laguna Sabanas del páramo de Belmira, Antioquia, Colombia.	27
Figura 6. Variación temporal de la precipitación y los índices de diversidad, equidad y dominancia del fitoplancton en la laguna Sabanas del paramo de Belmira, Antioquia, Colombia	28
Figura 7. Correlación de la diversidad de Shannon-Weanner con el pH	29
Figura. 8 Análisis de ordenación, correspondencia canónica (ACC) para las especies encontradas en la laguna Sabanas del paramo de Belmira, Antioquia-Colombia	30
Figura 9. Análisis de ordenación (ACP) de las variables ambientales, nutrientes y sólidos medidos en la laguna.	31
Figura 10. Correlación inversa entre la biomasa por clorofila y los nitratos en la laguna Sabanas del páramo de Belmira, Antioquia-Colombia.	32

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXOS A. LISTADO TAXONÓMICO DE LA ALGAS ENCONTRADAS EN LA LAGUNA SABANAS DEL PARAMO DE BELMIRA, ANTIOQUIA-COLOMBIA	49
ANEXO B. TABLA DE PRESENCIA-AUSENCIA DE LAS ALGAS ENCONTRADAS EN LA LAGUNA SABANAS DEL PARAMO DE BELMIRA, ANTIOQUIA- COLOMBIA EN LOS DIFERENTES MUESTREOS.	54

RESUMEN

TITULO: VARIACIÓN TEMPORAL DEL FITOPLANCTON EN LA LAGUNA SABANAS DEL PÁRAMO DE BELMIRA. ANTIOQUIA, COLOMBIA*

AUTOR: GERARDO ANDRÉS BARBOSA MENDOZA**

PALABRAS CLAVES: Fitoplancton, Laguna, Alta Montaña

DESCRIPCIÓN

Se reporta la variación temporal del fitoplancton y su relación con las variables físicas y químicas medidas en la laguna Sabanas del páramo de Belmira, Antioquia, Colombia. En la laguna se fijó una estación (punto mas profundo) en la cual se realizó un muestreo semanal entre el 25 de febrero y 6 de mayo de 2008. En cada campaña se integró 5 litros de agua de las profundidades superficie, cincuenta centímetros y un metro de profundidad. Posteriormente, de esos 15 litros se colectaron 1200 ml de agua, (600 ml para la identificación y conteo del fitoplancton y 600 ml para estimar la clorofila). Igualmente, se tomaron 2L de agua para calcular la concentración de nutrientes. Se encontró que la laguna es polimictica, tóxica, desmineralizada y con transparencia total. En cuanto a la composición del fitoplancton esta es similar a otros lagos colombianos de alta y montaña y esta representada por algas de distribución cosmopolita. La variación de la biomasa, la estructura y la concentración de nutrientes está influenciada por la pluviosidad que ejerce un lavado hidráulico y disolución de los nutrientes, por lo que ésta variable es la principal responsable de la dinámica de la comunidad fitoplanctónica. Además, la biomasa también es controlada por la intensidad lumínica que puede estar inhibiendo la fotosíntesis y la productividad del fitoplancton en la laguna. Se hace necesarios mas estudios de estos ecosistemas para su futura conservación.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Directora Msc Biología Omaira Rosa Sierra Arango
Estudiante de doctorado, Brasil

ABSTRAC

TITTLE: VARIATION TEMPORAL OF PHYTOPLANKTON IN THE SABANAS LAGOON OF BELMIRA PARAMO, ANTIOQUIA, COLOMBIA*

AUTHOR: GERARDO ANDRÉS BARBOSA MENDOZA**

KEY WORDS: Phytoplankton, Lagoon, High Mountain

DESCRIPCIÓN

This paper presents the temporal variation of phytoplankton and its relationship with physical and chemistry measured variables in the Sabanas Lagoon, of Belmira Paramo, Antioquia, Colombia. A station was placed in the lagoon (deep max), which allowed a weekly sampling between February 25 and May 6, 2008. In each sampling 5 ml of water was collected mixing at the surface and subsurface levels (0,5 m and 1 m). Subsequently, of the 15l was collected 1200 ml of water (600ml to biomass and 600ml to count). Besides, 2 l of water were collected to nutrient analysis. Results suggest that the lagoon is polimictic, oxic, with no mineral water and with total transparency. The phytoplankton composition is similar to others Colombia high mountain lakes and are algae with cosmopolitan distribution. Variation in the biomass, structure and the nutrient concentration was influenced by the rainfall, which acts as a hydraulic washer and dissolving nutrients, by this, the rainfall is the principal variable that influenced the phytoplankton dynamic. Furthermore, analysis demonstrated that biomass is controlled by the brightness intensity, which can be inhibiting photosynthesis and phytoplankton productivity in the Sabanas lagoon. It is necessary more studies of these ecosystems for its future conservation

* Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Directora Msc Biología Omaira Rosa Sierra Arango
Estudiante de doctorado, Brasil

INTRODUCCIÓN

Los sistemas acuáticos de alta montaña se caracterizan por recibir alta radiación UV, aunque dicha radiación varíe de intensidad y distribución en los diferentes cuerpos de agua (Margalef, 1983). En Colombia, además se caracterizan por ser de aguas blandas, de baja mineralización, conductividad, alcalinidad, dureza y limitados por nitrógeno; el grado de trofia varía de oligotróficos a mesotrófico, (Donato, 1991; 2001; Donato *et al.*, 1996; Gaviria, 1993). Además, la trofia, el grado de mineralización y la temperatura dependen del origen, tamaño, ubicación geográfica, de la geología de la cuenca y de procesos regionales (Donato, 2001; Rivera *et al.*, 2005).

El fitoplancton registrado en estos ecosistemas paramunos es de distribución cosmopolita, por el cual, un alto porcentaje de las especies se reportan en lagos templados. Según Donato (2004) y Coesel (1992) las especies neotropicales y endémicas empiezan a desaparecer a los 2500 msnm. En general, en la composición fitoplanctónica se destacan tres grupos principales formados por: diatomeas, Desmidiáles y en menor cantidad las Clorococales. Sin embargo, existen otros grupos que pueden llegar a ser dominantes de acuerdo con los gradientes químicos presentados en las cordilleras. Los lagos ubicados en la cordillera central están caracterizados por estar dominados por desmidias, diatomeas y dinofitos. Mientras que, en lagos con vulcanismo reciente, las clorococales representan el grupo dominante (Donato, 2001).

La estructura y dinámica del fitoplancton se ve influenciada por la intensidad de la luz, la disponibilidad de nutrientes, los movimientos del agua (Margalef, 1983; Graham, 1986; Reynolds, 1984) y por interacciones biológicas (Tilman *et al.*, 1982). Los estudios realizados en el país por Donato *et al.*, (1996), Donato (2001),

Zapata *et al.*, (2006) y Florido (1998), responden al tipo de patrón A descrito por Melak (1979), por que la lluvia y la velocidad del viento desestratifican la columna de agua e incrementan la concentración de nutrientes y turbidez, cuya consecuencia es la variación del fitoplancton. Sin embargo, por la falta de estudios que abarquen monitoreos por varios años no se puede predecir el patrón de comportamiento del fitoplancton a largo plazo porque este puede cambiar abrupta o gradualmente (Melak, 1979). La influencia de las lluvias en la comunidad fitoplanctónica tropical de alta montaña es diversa; Rivera *et al.*, (2005) en la laguna Guatavita concluye que la diversidad del fitoplancton aumenta en periodos de pocas lluvias, cuando la columna del agua permanece estratificada, por que se incrementa el número de nichos o ambientes que pueden soportar mayor diversidad de organismos.

En cuanto a la biomasa fitoplanctónica existen pocos estudios sobre la variación de ella en cuerpos de agua neotropicales de alta montaña, se ha establecido que éstas son influenciadas por la carga de nutrientes, la presión por depredación (Alcoser *et al.*, 2004) y por la precipitación (Zapata *et al.*, 2006). El efecto de la precipitación sobre la biomasa es confuso, por ejemplo Zapata *et al* (2006), establece que el aumento de los nutrientes, con la temporada de lluvias, generan un aumento en la biomasa y Donato (2001), establece que el efecto de la precipitación sobre la biomasa en el Cumbal, es aleatorio ya que los valores de biomasa incrementaron en épocas de lluvias altas y bajas. En estos estudios se investigó y comparó la variación intra e inter épocas de la biomasa. Sin embargo, Reynolds (1984), afirma que la biomasa puede cambiar en cuestión de semanas, días e inclusive de horas.

Pinilla (2006), encontró que la eficiencia fotosintética del fitoplancton es menor en periodo seco, mientras que en época de lluvia, la columna de agua se mezcla y da como resultado un incremento y distribución de los nutrientes, que incrementan la eficiencia fotosintética de las algas. Igualmente, la productividad primaria neta,

presenta un patrón particular con picos máximos al comienzo de la mezcla debido al incremento de nutriente en el epilimnio y disminuye cuando la mezcla es total, ya que los sedimentos provenientes del fondo disminuyen la radiación subacuática. Por lo cual, se convierte en el factor limitante. Aunque se incrementa cuando la radiación solar es baja y disminuye con alta o moderada radiación solar (Zapata & Donato., 2001).

A pesar que el efecto de las lluvias sobre el fitoplancton es claro, la estructura y dinámica está influenciada por otros factores como la concentración de nutrientes, la disponibilidad lumínica, los movimientos del agua (Margalef, 1983; Graham, 1986; Reynolds, 1984) y variables biológicas (Tilman *et al.*, 1982), algunas de estas variables pueden variar en cuestión de días y podrían provocar variaciones en las proporciones y distribución del fitoplancton en cada una de las estaciones de lluvias. Por lo tanto, en el trópico las algas están controladas por varias variables que determinan su distribución espacial y temporal en los cuerpos de agua. Por ello, la estructura y dinámica del fitoplancton podría presentar una mayor correlación con la precipitación que con otra variable. Además, los estudios realizados han sido enfocados a cuerpos de agua con profundidades mayores a tres metros y existen pocos estudios en lagunas, charcas o pantanos. Por tal motivo, el objetivo general de este estudio fue establecer la variación temporal del fitoplancton en la laguna Sabanas del Páramo de Belmira, Antioquia-Colombia.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Belmira (Antioquia) está ubicado al norte de Medellín a $6^{\circ} 43' 31''$ N, $75^{\circ} 41' 43''$ W (Fig 1) y hace parte del sistema de Páramos del norte de la cordillera Central de Antioquia, se encuentra en la zona de vida de bosque pluvial montano con un régimen de precipitación bimodal, presenta dos máximos de precipitación (mayo y octubre) y dos mínimos entre diciembre-febrero (época más seca) y junio-julio (Corantioquia, 2004). La laguna Sabanas se ubica a 3100 m.s.n.m., tiene agua permanente de origen subterráneo. En época seca es fuente de agua para la biota del páramo.

Figura 1. Ubicación geográfica del páramo de Belmira, Municipio de Belmira, Antioquia. Colombia.



Fuente: Los autores

1.2 MUESTREO

Cada ocho días y por tres meses, en el sitio más profundo, se colectaron muestras de agua y de parámetros ambientales y se guardaron en embases plásticos debidamente rotulados y marcados. Posteriormente se transportaron al laboratorio de Paleoecología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín en nevera de icopor.

1.3 VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS

El oxígeno y la temperatura fueron estimados en la superficie, a cincuenta centímetros y al metro de profundidad. El resto de variables se midieron de una muestra integrada de las profundidades: superficie, cincuenta centímetros y un metro. La conductividad, alcalinidad y pH se midieron en el laboratorio de Paleoecología de Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. En una muestra de dos litros, en el laboratorio ANALTEC LTDA en Medellín, se estimó la concentración de nitrógeno total, nitratos, amonio, fósforo total y ortofosfatos y por último, los valores de pluviosidad del sitio fueron obtenidos del IDEAM.

Los sólidos, la materia orgánica e inorgánica total del agua, se estimaron según lo establecido por Apha, Awwa y Wef (1995). Para ello, se utilizaron 600 ml de agua colectada de la muestra integrada. Posteriormente, en el laboratorio de Génesis de Suelos UNAL, sede Medellín, se filtraron al vacío 500 mL de la muestra, usando filtro de fibra de vidrio Whatman® GF/F.

1.4 VARIABLES BIOLÓGICAS

En cada muestreo se integró la columna de agua tomando muestras con la botella Van Dorn de cinco litros, en la superficie, a 0,50 m y 1 metro de profundidad, del cual, se tomó 600 ml que fueron utilizados para la identificación y conteo del fitoplancton previamente fijadas con formol al 4%. Estas muestras se llevaron al laboratorio de Paleoecología UNAL, sede Medellín. Allí, las células, cenobios, colonias y filamentos se consideraron como individuo y se contaron hasta 300 de la especie más abundante en campos elegidos al azar, bajo microscopio invertido y cámara de utermoülh.

El número de células por volumen de agua se estimó mediante el método de Ros (1979).

$$\text{Organismos por mililitro} = nF / sch$$

Donde:

n = Número de organismos contados

F = Factor de conversión = $10^3 \text{ mm}^3/1\text{ml}$

s = Superficie en mm^2 del campo del microscopio

c = Número de campos contados

h = Altura de la cámara en mm

Para la identificación de las algas se utilizaron las siguientes claves y artículos en los que describen algas: Gonzales *et al.*, (1995); Matos & Parra (1986); Banderas (1997); Taylor (1935); Coesel (1983, 1985); Teiling (1967); Prescott *et al.*, (1981); Komárek & Anagnostidis (1999); Tell & Conforti (1986); Tell & Mosto (1982); Printz (1964); Bourrely (1968, 1970); Lange-Bertalot, (1998, 2000); Kramer & Lange-Bertalot (1991); Kramer (1992, 1997a, 1997b, 1999); Desikachary (1959); Parra *et al.*, (1982a, 1982b, 1982c); Parra *et al.*, (1983); Whitford & Schumachor (1973);

Hanus (1978); Croasdale *et al.*, (1994); Croasdale & Flint (1986, 1988) y Patrick & Reimer (1966).

La biomasa por clorofila se estimó de 600 ml de agua colectados de la muestra integrada en botella oscura, aislada de la penetración lumínica, guardada y transportada en un ambiente con 5°C al laboratorio de Paleoecología de UNAL, sede Medellín. Posteriormente 500 mL de la muestra se filtraron al vacío empleando un filtro de celulosa con un diámetro de poro de 0,45 µm y se estimó mediante el método de clorofila a, usando como solvente extractor etanol caliente al 96%. Se procesaron las absorbancias de los extractos a 750 y 665 nm. Para discriminar entre clorofila activa y feopigmentos, se acidificó el extracto con HCl 2 N (Sartory & Globellar, 1984). La concentración de clorofila activa (µg/L) se estimó con la siguiente ecuación:

$$\text{Clorofila activa} = (29,14 (A_{665-750} - A_{665a-750a})v)/V \cdot l$$

Donde:

A₆₆₅₋₇₅₀: Absorbancia de la muestra sin acidificar

A_{665a-750a}: Absorbancia de la muestra después de acidificar

v: Volumen utilizado de etanol, en mililitros

V: Volumen filtrado de muestra, en litros

l: longitud de paso de la celda del espectrofotómetro, en cm.

1.5 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para evaluar la variación ambiental, físicas y químicas del ecosistema, a estos valores medidos se les estimó la media, el valor máximo, mínimo y la varianza. Asimismo, a los valores de biomasa, índice de diversidad Shanonn-Weaver (1949), de dominancia de Simpson y el de equidad se les realizó estadística

descriptiva y posteriormente se correlacionaron con las variables físicas y químicas. La influencia de las variables físicas y químicas en la dinámica de la comunidad fitoplanctónica se estableció a través de un análisis de correspondencia canónica (ACC), aplicada a las especies más abundantes y a las más persistentes durante estudio.

- **Resultados**

1.6 VARIABLES AMBIENTALES

Durante el periodo de estudio, la laguna Sabanas presentó polimixis, valores bajos y poca variación de la conductividad, el pH, temperatura y alcalinidad. El CO₂ no fue detectable bajo el método de medición utilizado (Tabla 1). La transparencia llegó hasta el fondo en casi todos los muestreos, sin embargo, en algunas salidas la transparencia disminuye. Por su parte, el oxígeno disuelto presenta una media de 6,31mg l⁻¹ y saturación media de 60,59%. Además, los valores de oxígeno en la superficie coinciden con los valores en el fondo de la laguna.

Tabla 1. Valores mínimo, máximo, media y varianza de las variables Químicas, físicas y ambientales que se analizaron en la estación de muestreo la laguna Sabanas del páramo de Belmira.

Variables	Media	V. máximo	V.mínimo	Varianza
Temperatura (°C)	13,58	15,0	12,0	1,53
Profundidad máxima (m)	1,35	1,4	1,3	0,002
Transparencia (m)	1,23	1,4	1,0	0,34
Conductividad (µscm ⁻¹)	15,07	30,7	8,6	40,4
Ph	4,96	5,96	4,44	0,18

Alcalinidad ($\mu\text{eq l}^{-1}$)	80,5	280,0	0,0	9835,0
CO ₂	ND*	-	-	-
Oxígeno (mg l^{-1})	6,49	10,0	5,0	2,03
Saturación de oxígeno (%)	59,59	80,77	46,42	80,83
Nitrógeno total (mg l^{-1})	0,922	2,29	0,30	0,404
Amonio (NH ₄) (mg l^{-1})	0,104	0,23	0,05	0,003
Nitratos (NO ₃) (mg l^{-1})	0,225	0,5	0,03	0,0001
Fósforo total (mg l^{-1})	0,0118	0,034	0,001	0,00009
Ortofosfatos (mg l^{-1})	0,0156	0,072	0,002	0,00036
Sólidos totales disueltos (mg l^{-1})	15,13	31	9,0	41,9
				$8,9 \times 10^{-10}$
Sólidos totales (mg l^{-1})	0,0000116	0,000033	0,0000020	$2,6 \times 10^{-10}$
Materia inorgánica (mg l^{-1})	0,0000057	0,0000167	0,0000033	$3,7 \times 10^{-10}$
Materia orgánica (mg l^{-1})	0,0000059	0,000023	0,0000067	10^{-10}
Precipitación (mm)	7,52	12,72	3,37	9,99

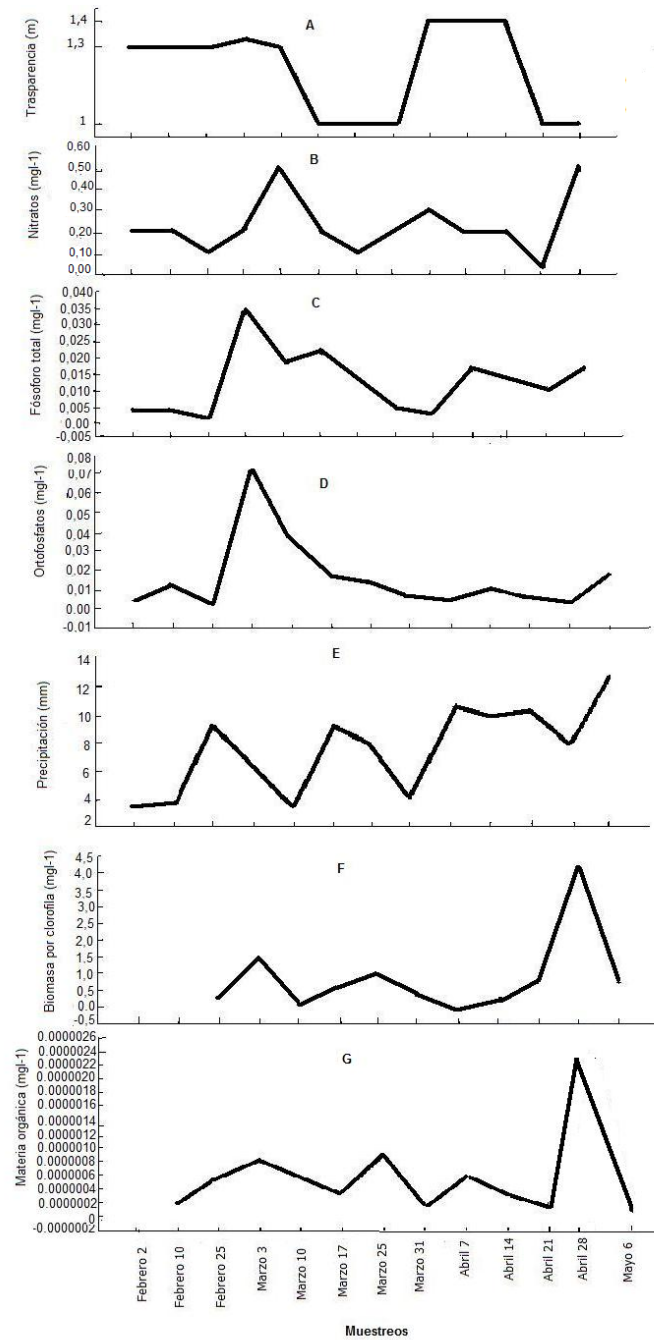
Fuente: Los autores

El nitrógeno total, el amonio, los nitratos, el fósforo total y los ortofosfatos presentaron una media de 0,922, 0,104, 0,225, 0,0118 y 0,0115 respectivamente y se incrementaron en el muestreo de marzo 3, el cual coincide con el inicio de la temporada de lluvias. Sin embargo, la concentración disminuyó a partir del muestreo de marzo 10 (fig. 2). De todas las formas del nitrógeno y fósforo medidas, únicamente el nitrato presentó correlación estadísticamente significativa con el amonio ($r = 59,79$; $p = 0,025$) y el oxígeno ($r = 69,91$; $p = 0,017$) (Tabla 1, fig. 2).

Los sólidos totales, la materia orgánica y la materia inorgánica se comportan de manera similar. En el muestreo de marzo 3, la materia inorgánica presentó la máxima concentración, mientras que el 28 abril se registró el máximo en la materia orgánica, estos valores coinciden con el máximo de los sólidos totales y de la clorofila. En los picos secundarios de precipitación también se observa una disminución de los valores de la gama de sólidos (fig. 2G).

La precipitación presentó una media de 7,52 mm con un mínimo de 3,37 mm en el muestreo de marzo 10 y un máximo de 12,72 mm el 6 de mayo, además presenta unos picos secundario altos en los muestreos de febrero 25, marzo 17, y en los muestreo realizados el 7, 14 y 21 de abril (fig. 2E). Así mismo, presentó correlaciones negativas significativas con el amonio ($\alpha = 0,10$; $r = - 67,49$; $P = 0,023$) y el nitrógeno total ($\alpha = 0,10$; $r = 61,89$; $P = 0,042$). En general la precipitación y la transparencia influyen negativamente en las formas del fósforo, nitrógeno, sólidos y en la clorofila (fig. 2, fig. 3).

Figura 2. Variación temporal de la transparencia, nitratos, ortofosfatos, precipitación, biomasa y materia orgánica fitoplanctónica durante los meses de muestreo en la laguna sabanas, Páramo de Belmira.

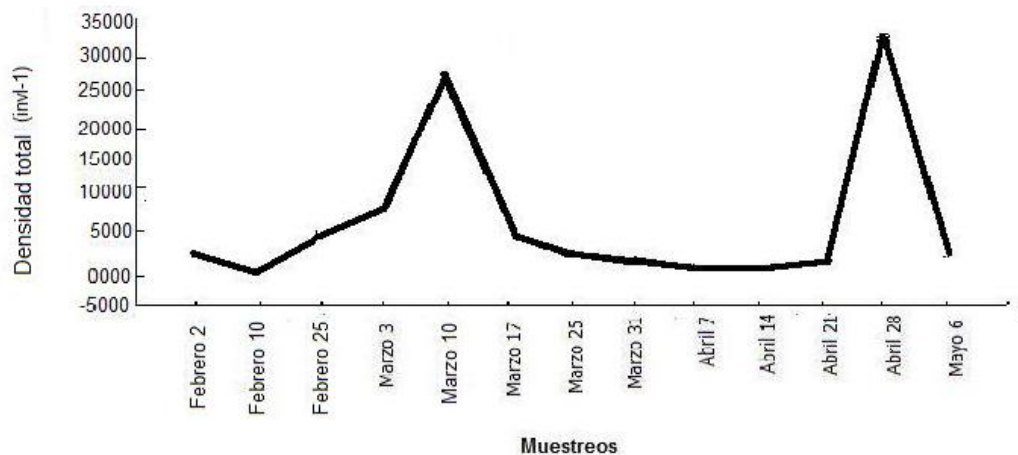


Fuente: Los autores

1.7 VARIABLES BIOLÓGICAS

Se identificaron un total 81 morfo-especies repartidos en 8 clases, 14 órdenes, 29 familias y 50 géneros (Anexo 1). De las cuales, *Dynobryon pediforme* (Lemm), *Chroococcus turgidus* (Kützting) y una especie no determinada de la clase Raphidophyta son las especies con mayor abundancia. Mientras que que *Bambusina brebissonii* (Kütz), *Navicula* sp2, *Pinnularia* sp5, *Navicula* sp3, *Pinnularia* sp4, *Chroococcus prescottii* (Drouet et Daily), *Pinnularia* sp3, *Phacus lefeuri*, *Kentrosphaera bristolae* (G.M. Smith) y *Scenedesmus* sp presentaron abundancias secundarias pero persistieron durante todo el muestreo (ver Anexo 2)

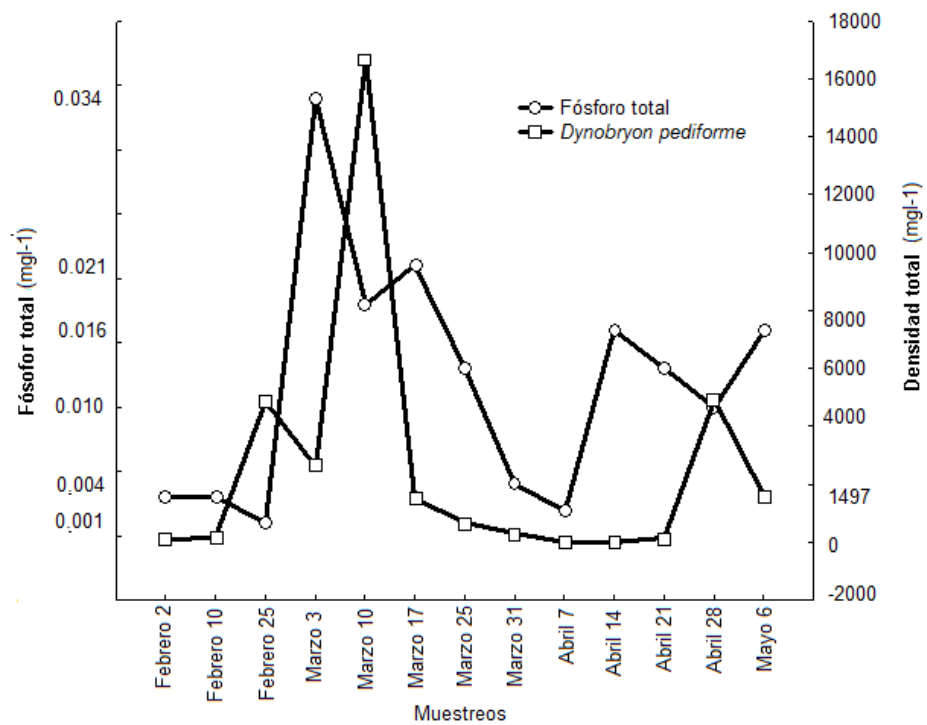
Figura 3. Variación temporal de la densidad fitoplanctónica total durante los meses de muestreo en la laguna sabanas, Páramo de Belmira.



Fuente: Los autores

La variación fitoplanctonica total presento sus picos máximos en los muestreos del 10 de marzo y 28 de abril, mientras que los mínimos se presentaron el 7 y 14 de abril (Fig. 3).

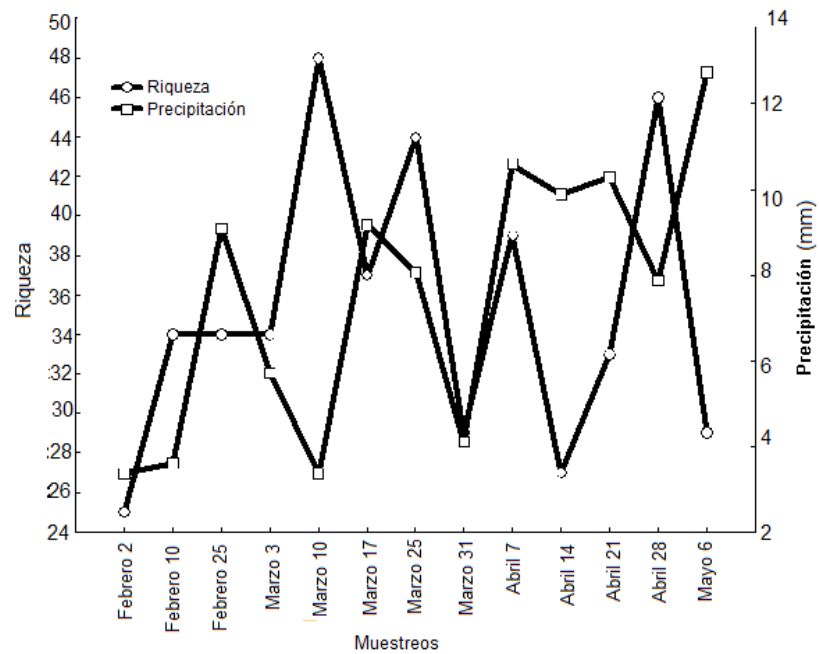
Figura 4. Variación temporal del fósforo total y el *Dynobryon pediforme* durante el muestreo en la laguna Sabanas.



Fuente: Los autores

D. pediforme incrementó su densidad en el muestreo siguiente al que se registró bajas concentraciones de fósforo (Fig. 4).

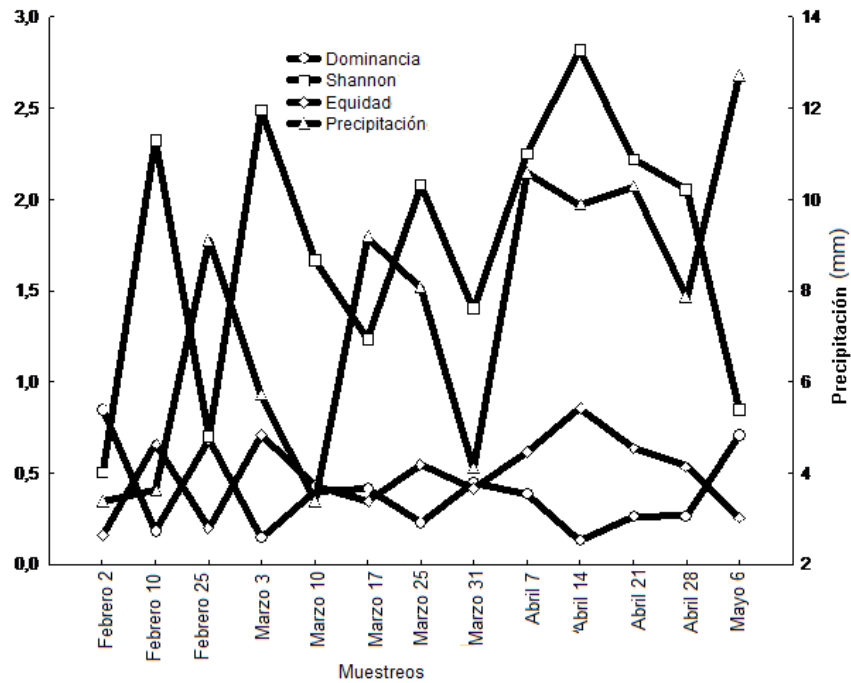
Figura 5. Variación temporal de la riqueza y la precipitación durante el tiempo de estudio en la laguna Sabanas del páramo de Belmira, Antioquia, Colombia.



Fuente: Los autores

La riqueza taxonómica de especies presentó su máximo valor en el muestreo de marzo 10 y el mínimo en el muestreo de febrero 2. Con excepción de los muestreos de marzo 31 y 7 de abril, el comportamiento de la riqueza taxonómica de especies es contrario al de la precipitación (Fig. 5)

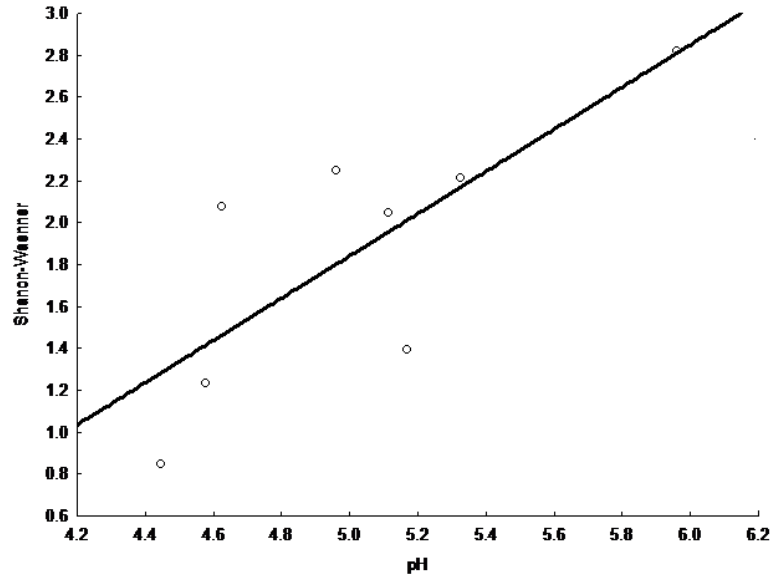
Figura 6. Variación temporal de la precipitación y los índices de diversidad, equidad y dominancia del fitoplancton en la laguna Sabanas del paramo de Belmira, Antioquia, Colombia



Fuente: Los autores

La diversidad de Shannon-Weaver (media = 1,74) y la equidad (media = 0, 48) presentaron valores máximos el 14 de abril (2,82 y 0,85 respectivamente) y mínimos el 2 de febrero (0,51 y 0,16 respectivamente). Por el contrario, la dominancia de Simpson (media = 0,39) obtuvo el máximo valor el día 2 de febrero (0,85) y el mínimo el 14 de abril (0,13) (Fig.6).

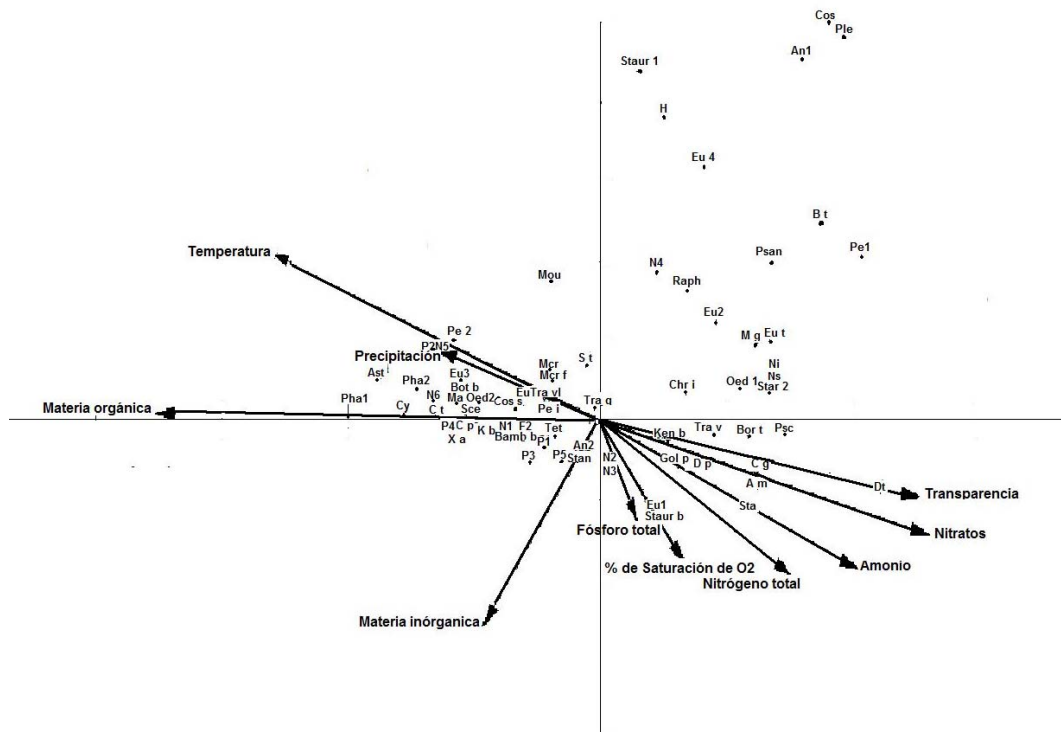
Figura 7. Correlación de la diversidad de Shannon-Weanner con el pH



Fuente: Los autores

La diversidad se correlacionaron positiva y significativamente con el pH ($r = 76,97$ %; $p = 0,026$; $\alpha = 0,05$;) (Fig. 7), y negativa pero no significativamente con los nitratos ($r = -50.42$ %, $p = 0.20$, $\alpha = 0.05$). Por su parte, la dominancia se correlacionó positiva y significativamente con los nitratos ($r = 78,72$ %; $p = 0,020$; $\alpha = 0,05$) y negativa pero no significativamente con el pH ($r = -67,97$ %; $p = 0,06$; $\alpha = 0.05$).

Figura. 8 Análisis de ordenación, correspondencia canónica (ACC) para las especies encontradas en la laguna Sabanas del paramo de Belmira, Antioquia-Colombia

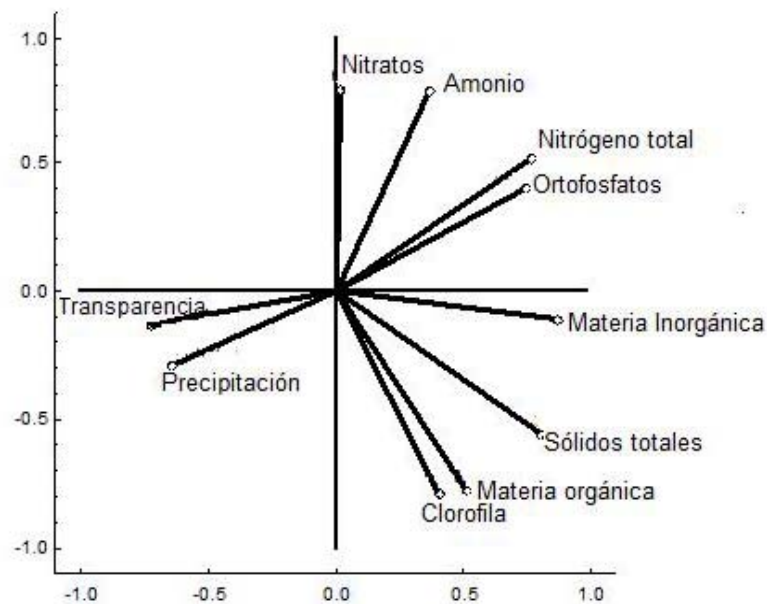


Fuente: Los autores

Los dos primeros ejes del ACC explican el 86,72 % de la varianza de las especies y un 98,7 % de la relación especies-variables ambientales. El primer eje está asociado principalmente y de forma negativa con la materia orgánica, la temperatura y la profundidad máxima y positivamente con la transparencia y los nitratos. Mientras que en el segundo eje se correlacionan negativamente a la materia inorgánica, porcentaje de saturación de oxígeno, amonio y el nitrógeno total. El peso de la precipitación no es alto y se encuentra entre los dos ejes. En esta variación multidimensional las especies se distribuyen alejándose de las formas de la materia inorgánica y se asocian en mayor número a la temperatura y

precipitación como por ejemplo *D. pediforme*, *C. turgidus*, *B. brebisonii*, *Pinnularia* sp5, *Pinnularia* sp4, *Chroococcus prescottii*, *Pinnularia* sp3, *Phacus lefeuri*, *K. bristolae* y *Scenedesmus* sp están asociadas al primer eje. Mientras que la Raphidophyta ND, *Navicula* sp2, *Pinnularia* sp5 y *Navicula* sp3 lo están al segundo eje y forman grupos definidos (Fig. 8, anexo 1), asimismo, las especies codominantes y persistentes se encuentran fuertemente asociadas a los dos primeros ejes.

Figura 9. Análisis de ordenación (ACP) de las variables ambientales, nutrientes y sólidos medidos en la laguna.

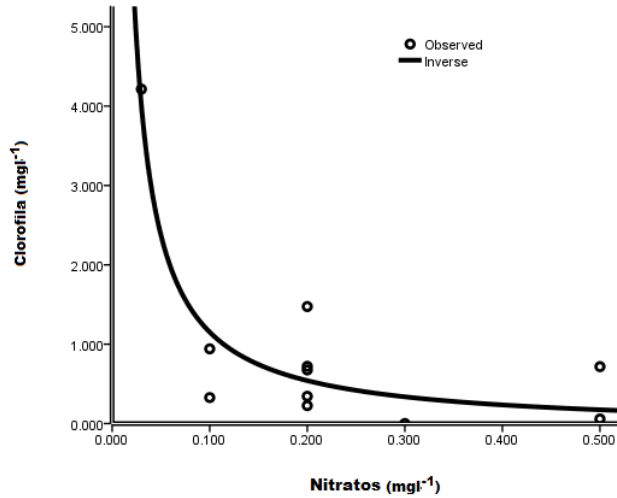


Fuente: Los autores

La biomasa por clorofila registró una media 0,88, con valor mínimo de 0 en abril 7 y un máximo de 4,21 en abril 28. Además se correlacionó inversa y significativamente con el nitrato ($\alpha = 0,10$; $r = 80,26$; $P = 0,03$) (Fig. 10) y

negativamente con la transparencia ($\alpha = 0,10$; $r = -57,13$; $P = 0,09$) (figs. 2A, 2F, 3), no presentó correlación significativa con la precipitación ($\alpha = 0,10$; $r = -1,3$; $P = 0,969$). Sin embargo, los valores de biomasa se incrementan y disminuyen en la medida que la precipitación aumenta o disminuye (figs. 2F, 9)

Figura 10. Correlación inversa entre la biomasa por clorofila y los nitratos en la laguna Sabanas del páramo de Belmira, Antioquia-Colombia.



Fuente: Los autores

2. DISCUSIÓN

La polimixis diaria y la alta transparencia registrada en la laguna durante el estudio (Fig. 2A) homogenizan las concentraciones de los nutrientes y la biomasa fitoplanctónica en la laguna (Moss 1980). Igualmente, le confiere y explica el estado óxico de la misma (Tabla 1). Los bajos valores de conductividad son similares a los registrados en varios lagos de alta montaña Colombianos, entre ellos, el lago Buitrago, San Rafael y Santiago (Donato, 2001). Para Steves (1998); la variación en el trópico depende de las características geoquímicas de la región, más que por el estado trófico del cuerpo de agua, según esto y Margalef (1983), esta laguna se ubica en el rango de los más desmineralizados del mundo.

Por otra parte, las bajas concentraciones de nitrato y amonio registradas (Fig. 2B, Tabla 1), pueden indicar alto consumo del fitoplancton, con lo que se concuerda con Esteves (1998), y/o también puede indicar lentitud en los procesos de nitrificación y amonificación como consecuencia de la baja temperatura y por lo cual se incrementa la concentración de materia orgánica (Tabla 1). Otra variable que puede estar influyendo en la disminución de los compuestos en el ecosistema es el lavado hidráulico (Champman, 1992; Allan, 1995); que en época de lluvias, exporta de la laguna todo el material disuelto y/o suspendido en la columna de agua (Fig. 2). En consecuencia, si esta condición persiste en el tiempo, el ecosistema presentaría stress por limitación debido a la escases de estos elementos. Sin embargo, los valores de las formas del nitrógeno medidos son altos en comparación con los resultados de otros lagos de alta montaña (Donato, 2001), posiblemente, se deba a que el ciclo del nitrógeno no es completo por el estado oxígeno y polimictico de la misma, cuya consecuencia es el incremento en la concentración de estos en la columna de agua y el sedimento. Por lo cual, no se cumple lo expresado por Lewis (2002), que en los ecosistemas tropicales, el ciclo

del nitrógeno es más rápido que en la zona templada ya que el hipolimnio anóxico acelera la desnitrificación y favorece la limitación y se concuerda con Esteves (1998). Las correlaciones positivas que presentaron el nitrato con el amonio y el oxígeno son esperadas ya que altos valores de estas variables favorecen los procesos de nitrificación para producir nitratos en el ecosistema.

Cuando la precipitación es alta, las concentraciones de los nutrientes tienden a disminuir por dilución, (Figs, 2C, 2D); igual efecto es reportado por Margalef (1983); Cole (1983); Reynolds (1984) y Wetzel (1988), y a la pérdida de nutrientes por el lavado hidráulico (Chapman, 1992, Allan, 1995). Este lavado hidráulico posiblemente también es el responsable de la dinámica presentada por los sólidos totales, la materia orgánica e inorgánica. Por el cual, la concentración de ellos disminuye en la columna de agua (Fig. 2G, Tabla 1).

La composición de las especies es similar a otros trabajos realizados en lagos de alta montaña colombianos (Donato *et al.*, 1996; Donato 2001), la cual se caracteriza por ser especies con distribución cosmopolita, y se concuerda con Donato (2004) y Coesel (1992). Esto se debe a la alta capacidad adaptativa a diferentes ambientes e incluso a las condiciones extremas que el medio de alta montaña les impone (Löffler, 1964). Igualmente, la asociación del fitoplancton registrada está formada por especies que se distribuyen en diferentes estados tróficos, entre ellas *C. turgidus* y *Merismopedia glauca* reportadas por Hutchinson (1993) en ecosistemas oligotróficos, *Peridium incospicuum*, reportada por Reynolds (1977) como indicadora de aguas mesotróficas, y *Trachelomonas volvocina*, la cual fue reportada por Donato (1996) como característica de aguas eutróficas. La convergencia de todas estas especies en la laguna y las concentraciones de nitrógeno pueden indicar que el ecosistema tiende a la eutroficación, sin embargo, las bajas temperaturas y el lavado hidráulico desaceleran dicho proceso, por lo que el ecosistema se mantiene con bajas concentraciones de nutrientes asimilables.

Los valores de diversidad registrados (0,5 – 2,82 nat/ind), son bajos para el índice utilizado (0 – 5 nat/bit) (Fig 6), a pesar que se registra alta riqueza taxonómica de especies (Fig. 5), sin embargo, el resultado está influenciado por la disponibilidad y aprovechamiento del recurso. En la laguna Sabanas depende del efecto de la temperatura, la pluviosidad y el régimen hidrológico sobre el contenido de materia orgánica, o sea depende del metabolismo del ecosistema. El estado óxico y la concentración de nutrientes aumentan o disminuyen según la variación temporal de estas dos variables, por lo tanto, se explica la asociación de la mayoría de las especies con la temperatura y precipitación (Fig 8, anexo 1). Por consiguiente también se explica la codominancia registrada durante el estudio de *D. pediforme*, *C. turgidus* y Raphidophyta ND. Con lo cual, se concuerda con Reynolds (1984), quien planteó que las especies del fitoplancton se ven afectadas por la concentración de los nutrientes, algunas de ellas disminuyen su abundancia mientras que otras la aumentan cuando estos suben o bajan. Esto podría explicar porque los índices de diversidad y equidad se correlacionan negativamente con los nitratos, e indica que la mayoría de las especies requieren bajas concentraciones de este nutriente o de las formas del nitrógeno, por lo cual, la distribución de ellas en la figura 8 es contraria a la distribución del nitrato, sin embargo, las especies que se ven favorecidas son las que incrementan la dominancia del fitoplancton en la laguna.

Según Margalef (1995), el inicio de toda sucesión ecológica está asociada a valores altos de diversidad, en el muestreo de abril 14, muy posiblemente el fitoplancton de la laguna se encontraba en esta etapa de renovación celular por lo que se obtuvo el valor más alto de diversidad (Fig 6.), en el muestro de abril 7 se registró muy pocas especies de fitoplancton y las registradas estaban muertas (Fig 3). Igualmente, en ese día, la biomasa fue cero; lo que indica, el fin de la sucesión (Fig 2F). La alta dominancia *C. turgidus*, en el muestreo del 28 de abril, puede estar indicando el establecimiento de la sucesión iniciada el 14 del mismo mes,

concordando con lo expuesto por Ramírez (2000) esta especie es indicadora de estados de sucesión tardía.

El Comportamiento temporal de *D. pediforme* está relacionado con el aumento y la disminución de las concentraciones de fósforo total en la columna de agua, la especie presenta un comportamiento contrario a la del fósforo. Reynolds (1984) y Dokulil & Skolaut (1991) han reportado este comportamiento para el género *Dinobryom*, por tanto, la alta densidad de *D. pediforme* indica bajas concentraciones de fósforo en los ecosistemas acuáticos (Fig 4).

A pesar que el género *Chroococcus* está asociado con aguas estratificadas (Ramírez, 2000), en el estudio se encontraron tres especies pertenecientes a este género, del cual *C. turgidus* es la especie con mayor densidad y *C. prescottii* presenta dominancia secundaria, pero permanente. Esto se puede deber a que muy posiblemente la laguna se esté estratificando en las horas de la noche como ocurre en los lagos polimictos neotropicales (Esteves, 1998). Sin embargo, la presencia de estas especies también puede ser explicada por las bajas concentraciones de nutrientes, ya que dicho género, cuando es abundantes, es indicador de esta característica (Marquez y Guillot, 1987)

El ACC muestra a las especies dominantes asociadas fuertemente a los dos primeros ejes, lo que implica que estas especies están aportando la mayoría de la varianza de los datos ya que al eliminar las especies raras, no hay variación de la distribución en la ordenación. Por lo cual, se infiere que es un sistema muy dinámico. La especie con mayor abundancia o las especies codominantes varían de un muestreo a otro y corresponde a los picos de precipitación. Sin embargo, esta variable para la comunidad fitoplanctónica no representa mayor peso (Fig 8), estos cambios de codominancia y dominancias se pueden deber a que el fitoplancton se comporta como una partícula suspendida en la columna de agua (Reynolds, 1984), por lo tanto, posiblemente también este sujeto a lavado

hidráulico al cual están sometidos en la laguna todo el material suspendido y/o disuelto.

El incremento de la biomasa en marzo 3 de 2008 a pesar de que los valores de la transparencia y precipitación son altos (Figs 2A, 2E, 2F), se debe a la alta densidad de *Chroococcus turgidus* (Kützing), *Navicula* sp3, las especies de del Género *Pinnularia*, y principalmente por la Chlorophyta *Bambusina brebissoni* (Kützing), especie grande y con grandes cloroplastos; por el cual, cualquier variación en ella, se refleja en la biomasa de la comunidad, a la contribución del perifiton desprendido. Además, la exportación algal de la laguna no fue alta porque lavado hidráulico no era intenso (Figs 2F, 3). La alta reducción en el muestreo de marzo 10 muy posiblemente se deba a la inhibición por la alta intensidad lumínica que para el trópico (Alcocer *et al.*, 2004 y Pinilla, 2000) reportan como inhibición por radiación UV, y al efecto retardado del lavado hidráulico, el cual explica la disminución de la densidad de la comunidad del fitoplancton registrada en ese día (Barbosa y Sierra-Arango en construcción). El valor cero de biomasa registrado en el muestreo de abril 7 y muy bajo el 14 del mismo mes, corresponde con los máximos valores de la transparencia y precipitación, lo que implica que la luz y la pluviosidad son las variables de control del ecosistema ya que en estos muestreos se registró los valores más bajos de la densidad del fitoplancton (Figs. 2A, 2E, 2F y 3). Esteves (1998), Ramírez (2000) y Sierra *et all.*, (2004), reportan a la pluviosidad y al viento como las variables de control en el trópico, según esta investigación, en el páramo, parece ser la pluviosidad y la luz las variables que controlan a la biota acuática del páramo (Fig. 8).

La correlación inversa presentada entre la biomasa y los nitratos (fig.9), se debe a que las algas del fitoplancton lo incorporan a su metabolismo disminuyendo su concentración en el medio, hecho reportado por Reynolds, (1994). En un ambiente tan dinámico, con altas pérdidas cualquier aumento o disminución se

reflejaran en la biota y por consiguiente en la biomasa, cuando el nitrato es alto es porque la rata de incorporación algal es muy baja, además, concuerda con baja biomasa y densidad algal; los cuales también pudo estar influenciado por la posible limitación en las concentraciones de ortofosfato (fig. 2D, 2F, 8), para esta fecha también se obtuvo la menor concentración de fósforo, el cual puede estar actuando como limitante en el ecosistema(2C). Sin embargo, de este hecho, el ecosistema se recuperó quizás debido al aumento de la disponibilidad de nutrientes en el medio (Fig. 2B, 2C, 8) que pudo entrar a la laguna por esorrentía. Asimismo, la transparencia (luz), también juega un rol importante en la producción de biomasa, explicada por la correlación negativa, estadísticamente significativa presentada entre ellas, posiblemente debido a la inhibición de la fotosíntesis por la intensidad de luz, estos hallazgos han sido publicado por varios expertos entre ellos Margalef (1983) y Reynolds (1984). Además, Pinilla (2006) quien reportó deficiencia fotosintética del fitoplancton en la laguna Guatavita por UV y limitación de nutrientes.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca es responsable por la concentración de nutrientes en la laguna, ya que cuando se inician las lluvias, por escorrentía, estos son incorporados al cuerpo de agua, posteriormente, de acuerdo a la intensidad, frecuencia y cantidad de precipitación por lavado hidráulico, los vuelve a sacar. Por esta dinámica, la laguna Sabanas exporta sus excesos de nutrientes, densidad y la biomasa del fitoplancton y se mantiene en estado oligotrófica, limitada por nitrógeno y fósforo. Además, se destaca la importancia de la cuenca en el metabolismo de la laguna ya que es la fuente de nutrientes que sirve para que la comunidad productora inicie su fotosíntesis.

A pesar de que en algunas variables ambientales la laguna sabanas presenta características similares a los lagos de alta montaña colombianos, existen marcadas diferencias que provocan un cambio en el comportamiento de la dinámica de la comunidad fitoplanctónica, por lo tanto se hace importante el estudio sistemático de estos pequeños cuerpos de agua para poder establecer planes de conservación.

A manera de recomendación se resalta la alta fragilidad y susceptibilidad a cualquier alteración antrópica y natural del ecosistema. Por lo cual, se requiere disminuir el acceso de turistas y visitantes a la laguna Sabanas, ya que cualquier perturbación puede causar daños irreversibles en el ecosistema.

BIBLIOGRAFIA

Alcoser, J. Oseguera, L. Escobar, E. Peralta, Lugo, A. 2004. Phytoplankton biomass and water chemistry in two high mountain tropical lake in central Mexico. *Artic, Antartic, and Alpine Research* 35 (3) 342-346 pp

Allan, JD. 1995. *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*. Chapman & Hall, London, XII+388

Apha, Awwa, Wef. 1995. *Standart methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. United Book Press. Baltimore.

Banderas-Tarabay, A. 1997. Phycoflora of the tropical high-mountain lake Sol, El Sol, Central Mexico, and some biogeographical relationship. *Hydrobiologia* 354: 17-40

Bourrely, P. 1968. *Les algues d'eau douce. Tomo II. Les algues jaunes et brunes*. Edt. N. Boubée cie. Paris. 350 PP

_____. 1970. *Les algues d'eau douce. Tomo III. Les algues blues et rouges*. Edt. N. Boubéecie. Paris. 230 PP.

Cardona, F. Alzate, F. 1997. *Patrones de Distribución de Epífitas Fanerógamas en el Municipio de Belmira*. Memorias I Congreso Colombiano de Biología de la Conservación. P 35-36

Chapman. 1992. *Water quality assessmnets*. Chapman and Hall ltda. London. 214pp

Cole, G.A. (1988). (Ed). *Limnología*. Editorial Hemisferio Sur S.A

Coesel, P.F.M. 1983. *De desmidiaceae van Neerland*. Dell 2, Fam. Closteriaceae. K.N.N.V. Hoogwood

_____.1985. *De desmidiaceae van Neerland*. Dell 3, Fam. Desmidiaceae. K.N.N.V. Hoogwood

_____.1992. Desmid assemblies along altitude gradients in Colombia. *Hedwigia* 55, 353-366

Corantioquia. 2004. *Sistemas de páramos y bosques altoandinos del Noroccidente medio antioqueño. Medellín, Antioquia*. Documento preparatorio del plan de acción.

Croasdale, H. Flint, E. 1986. *Flora of New Zealand. Freshwater algae, Chlorophyta, Desmids. With the ecological comments on their habitats* Vol I. Wellington: gov print. New Zealand. 87pp

Croasdale, H. Flint, E. 1988. *Flora of New Zealand. Freshwater algae, Chlorophyta, Desmids. With the ecological comments on their habitats* Vol II. Christchurch: DSIR, Botany division. New Zealand. 147pp

Croasdale, H. Flint, E & Racine 1994. *Flora of New Zealand. Freshwater algae, Chlorophyta, Desmids. With the ecological comments on their habitats* Vol III. Lincoln, N.Z: Mannaiki whenua press. 218pp

Desikachary, H. 1959. *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi. 684pp

Donato, J. 1991. Los Sistemas acuáticos de Colombia: síntesis y revisión. Cuadernos divulgativos No 4. *Universidad Javeriana*. Facultad de Ciencias.

_____. 2001. *Fitoplancton de los lagos Andinos del Norte de Sudamerica: Composición y Factores de Distribución*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y naturales., Bogotá

_____. 2004. *Consideraciones generales sobre el estado de los ambientes acuáticos de agua dulce en Colombia*. En *Humedales de Iberoamérica*, 1 Edición. CITED

Donato, J. Gonzales, L. & Rodriguez, C. 1996. *Ecología de dos sistemas acuáticos de paramo*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, física y naturales. Bogotá

Dokulil M.T. y Skolaut C. (1991) Aspects of phytoplankton seasonal succession in Mondsee, Austria, with particular reference to the ecology of Dinobryon. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, 24, 968–973.

Esteves, F. 1988. *Fundamentos de limnología*. Interciencia limitada, Río de Janeiro.

Florido, H. 1998. Composición y distribución de la comunidad fitoplanctónica, de la laguna de Iguaque, Santuario de flora y fauna de Iguaque, Boyaca- Colombia. Universidad de la Salle departamento de química. *Biol. Diógenes* Vol 3 No 1

Gaviria, S. 1993. *Aspectos limnológicos de las lagunas de Chingaza*. En Andrade, G. 1993. *Carpatan, Ecología y conservación de un ecosistema Altoandino en Bogotá*. Fundación Natura 190-205pp

Gonzales, L. Mora, L. Donato, J. Duque, S. 1995. *Estudio taxonómico de las desmidias de las lagunas de alta montaña tropical (cordillera central y oriental) de Colombia*. Thesis de Maestria. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias. Bogota, Colombia. pp 216

Graham, H. 1986. *Phytoplankton ecology: Structure, Function and Fluctuation*. Chapman and Half. Gran Bretaña 384pp

Hanus, E. 1978. *Xanthophyceas*. Gustav fischer Verlag Stuttgart. New York. 530pp

Hutchinson, G. E. 1999. *A treatise on limnology*. New York. 1115pp

Komárek, J. Anagnostidis, K. 1999. *Cyanoprokaryota*, edit. Gustav Fischer VerlagJena. Alemania 546pp

Kramer, K & Lange-Bertalot, H. 1991. *Bacillariophyceae. Achnanthes, Navicula y Gomphonema*; Teil. 4. Edit. Gustav Fischer Verlag.440 pp. New York.

Kramer, K. 1992. *Pinnularia in Bayen K*. Verlag des Geselischaff Regensburg 308pp

_____. 1997a. *Bacillariophyceae. Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae*. Edit. Gustav Fischer Verlag: 610 pp. New York.

_____. 1997b. *Bacillariophyceae. Naviculaceae*. Teil1. Edit. Gustav Fischer Verlag. 880 pp. New York.

_____. 1999. *Bacillariophyceae. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Teil 3. Edit. Gustav Fischer Verlag: 600 pp. New York.

Lange-Bertalot, H. 1998. *Iconografia Diatomologica*, Edit. Sven Koeltz. Vol. 5. 695 pp. Alemania.

_____. 2000. *Iconografia Diatomologica*, Edit. A.R.G. Gantner Verlag, Vol. 9. 672pp. Alemania.

Lewis, W. 2002. Causes for the high frequency nitrogen limitation in tropical lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol* 28, 210-215.

Löffler, H. 1964. The limnology of tropical high-mountain lakes. *Verien. Limnol.*15:176-193

Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 1050pp

Margalef, R. 1995. *Ecología*. Omega, Barcelona, 951p

Marquez, G y Guillot. 1987. *Estudios ecológicos de embalses colombianos*. Informe final del proyecto de investigación fonfo FEN Colombia-Universidad Nacional, Bogota

Matos, M. Parra, O. 1986. Ficoflora de lagos altoandinos: Desmidiaceas de la laguna Mucubajl, Merida, Venezuela. *Gayana, Bot*, 43:111-147

Melak, J. 1979. Temporal variability of phytoplankton in tropical lakes. *Oecologia* 44,1-7

Moss, B. 1980. Phytoplankton biomass In Westlake, D.F. (coord.), primary production. pp. 141-246. In le Gren, E. D., and lowe McConnell, R. H. (eds.), The Functioning of freshwater Ecosystems. Cambridge University spress. 147-149.

Parra, O. Gonzales, M. Dellarosa, V. Rivera, P. Orellana, M. 1982a. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae.* Universidad de Concepción (Chile), Santiago. 71pp

_____.1982B. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. III. Cryptophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae.* Universidad de Concepción (Chile), Santiago. pp 99

_____.1982c. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile.IV. Baccilariophyceae .* Universidad de Concepción (Chile), Santiago. pp 97

Parra, O. Gonzales, M. Dellarosa, V. 1983. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. V. Clorophyceae. Parte I.* Universidad de Concepción (Chile), Santiago. pp 151

Patrick, R. Reimer, C. 1966. *The diatoms of the United States.* The academy of natural sciences of Philadelphia, Philadelphia. pp688

Pinilla, G. 2006. Evaluación de la eficiencia fotosintética del fitoplancton en un lago amazónico (Lago Boa) y en un lago andino (Lago Guatavita). *Acta Amazónica* 36(2), 221-228

Prescott, G. Croasdale, H. Vinyard, W & Bicudo, E. 1981. *A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae*. Section 3. University of Nebraska Press. Lincoln and London. pp 720

Printz, H. 1964. *Die Chaetophorales der Binnengewässer, Eine systematische Übersicht*. REV. Hydrobiologia. XXIV (1-3), 1-376pp

Ramirez, J.J. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Universidad de Antioquia. 207pp

Reynolds, CS. 1997, *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. In: O. Kinne (ed.), Excellence in ecology, 9. Ecology Institute, Germany, 371pp

Reynolds, C.S. 1984. *Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University Press.

Reynolds CS, 1994, Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes?. *Hydrobiologia*, 290: 1-21

Rivera, C. Solano, D. Zapata, A. Donato, J. 2005. Phytoplankton diversity in a tropical high mountain lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol* 29,418-421

Sartory, D. and Globbelaar, J. 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*. 114, 177-187

Serna, E. 2000. *Estudios Biofísicos y Paleoecológicos Preliminares de la Ciénaga del Morro Paramo de Belmira.*, Programa: Plan de Ordenamiento y Manejo del Sistemas de Páramos y Bosques Alto andinos del Centro de Antioquia. Medellín, 64p

Sierra, A.O.R., Ramírez, R. J.J. y Marín, O F. 2004. Dinámica Temporal de la Comunidad Fitoplactonica y Variables Físicas y Químicas Asociadas en el Lago Santander Ríonegro, Antioquia Colombia). *Actualidades Biológicas* vol 26 (80) 30-38p

Taylor. R. 1935. Alpine algae from the Santa Marta mountains, Colombia. *American Journal of Botany* Vol 22 No 9, 763-781

Teiling, G. 1967. *The desmid genus Staurodesmus. A taxonomic study.* Arkiv for Botanik. Band. 6 nr 11 Almquist & wisksell. Stockholm

Tell, G. Conforti, C. 1986. *Euglenophyta Pigmentadas de Argentina.* Edit. J. Cramer. Berlin. 301pp.

Tell, G. Mosto, P. 1982. *Clorophyceae. Clorococcales. Tomo VI Fasciculo 2.* Fundación para la educación, la ciencia y la cultura. Buenos Aires. Argentina. pp 165

Tilman, D. Kilham, S. Kilham, P. 1982. Phytoplankton community ecology: The role of limiting nutrients. *Ann.Rev.Ecol.Syst* 13, 34-372

Wetzel, RG Likens GE. 1983. *Limnology.* 2nd ed. Saunders College, Philadelphia, 767p.

Whitford, L. Schumacher. 1973. *A manual of freshwater algae.* Sparks press. North Carolina. 324pp

Zapata, A. Donato, J. 2001. *Variaciones diarias y mensuales de la productividad primaria en un lago Andino (Laguna Guatavita - Cundinamarca).* Tesis de

maestría. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia

Zapata, A. Rivera, C. Donato, J. 2006. Dynamics of photosynthetic pigments in Adealan lake in Colombia. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 11, 29-38.

ANEXOS

**ANEXOS A. LISTADO TAXONÓMICO DE LA ALGAS ENCONTRADAS EN LA LAGUNA SABANAS DEL
PARAMO DE BELMIRA, ANTIOQUIA- COLOMBIA**

Clase	Orden	Familia	Especie	Abreviación
Clorophyceae	Clorococcales	Chlorochytriaceae	<i>Kentrosphaera bristolae</i>	Ken b
		Micractinaceae	<i>Golenkinopsis phythelius</i>	Gol p
		Characiaceae	<i>Characium sp</i>	Ch
			<i>Pseudocharacium sp</i>	Psc
		Botryococcaceae	<i>Botryococcus braunii</i>	Bot b
		Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus sp</i>	Sce
	Chlorococcaceae	<i>Borodinellopsis texensis</i>	Bor T	
	Ulotrichales	Microosporaceae	<i>Microospora floculossa</i>	Mcr f
			<i>Microospora sp</i>	Mcr
	Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium sp1</i>	Oed1
			<i>Oedogonium sp2</i>	Oed2

Zygnemaphyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia sp</i>	Mou
	Conjugales	Mesotaeniaceae	<i>Netrium oblongum</i>	Nob
		Desmidiaceae	<i>Bambusina brebisonii</i>	Bam b
			<i>Cosmarium sp</i>	Cos
			<i>Cosmarium sublubatum</i>	Cos s
			<i>Micrasterias sp</i>	Mic
			<i>Pleurotaerum sp</i>	Ple
			<i>Tetmemorus sp</i>	Tet
			<i>Xanthidium antilopaeum</i>	X a
			<i>Staurastrum sp</i>	Stau
			<i>Staurodesmus brevispinia</i>	Staur b
			<i>Staurodesmus sp1</i>	Staur1
			<i>Staurodesmus sp2</i>	Staur2
			<i>Euastrum sp</i>	Eu
			<i>Euastrum tuneri</i>	Eu t
Chrysophyceae	Ochromonadales	Dynobryonaceae	<i>Dynobryon pediforme</i>	D p
Baccillariophyceae	Bidduphiales	Achantaceae	<i>Achnantes minutissima</i>	A m
		Fragilariaceae	<i>Asterionella sp</i>	Ast

	Diatomaceae	<i>Diatoma sp</i>	Dt
	Tabellariaceae	<i>Tabellaria sp</i>	T
	Eunotiaceae	<i>Eunotia sp1</i>	Eu1
		<i>Eunotia sp2</i>	Eu2
		<i>Eunotia sp3</i>	Eu3
		<i>Eunotia sp4</i>	Eu4
		<i>Eunotia sp5</i>	Eu5
	Naviculaceae	<i>Stauroneis sp</i>	Sta
		<i>Frustulia sp1</i>	F1
		<i>Frustulia sp2</i>	F2
		<i>Ghomphonema sp</i>	Gh
		<i>Navicula sp1</i>	N1
		<i>Navicula sp2</i>	N2
		<i>Navicula sp3</i>	N3
		<i>Navicula sp4</i>	N4
		<i>Navicula sp5</i>	N5
		<i>Navicula sp6</i>	N6
		<i>Navicula sp7</i>	N7
		<i>Nitchia sp</i>	Ni
		<i>Pinnularia sp1</i>	P1

			<i>Pinnularia sp2</i>	P2
			<i>Pinnularia sp3</i>	P3
			<i>Pinnularia sp4</i>	P4
			<i>Pinnularia sp5</i>	P5
			<i>Kobayasia sp</i>	Kb
			<i>Cymbella sp</i>	Cy
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Phacus lefeuri</i>	Pha l
			<i>Phacus sp1</i>	Pha1
			<i>Phacus sp2</i>	Pha2
			<i>Phacus sp3</i>	Pha 3
			<i>Trachelomonas globularis</i>	Tra g
			<i>Trachelomonas volvocina</i>	Tra v
			<i>Trachelomonas sp</i>	Tra vl
Raphidophyceae	Raphymonadales		<i>Raphidophyta ND</i>	Raph
Dynophyceae	Peridinales	Perinidiaceae	<i>Peridinium incospicuo</i>	Pe i
			<i>Peridinium sp1</i>	Pe 1
			<i>Peridinium sp2</i>	Pe 2

			<i>Chrysarachium insidians</i>	Chr i
Cyanoprocariotas	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus turgidus</i>	C t
			<i>Chroococcus gomontii</i>	C g
			<i>Chroococcus prescottii</i>	C p
		Merismopediaceae	<i>Merismopedia angularis</i>	M a
			<i>Merismopedia glauca</i>	M g
		Hyellaceae	<i>Hyella fontana</i>	Hy
	Microcystaceae	<i>Gleocapsa sp</i>	Gl	
	Stigonematales	Stigonemataceae	<i>Stigonema lavardei</i>	S t
			<i>Hapalosiphon sp</i>	H
	Nostococales	Nostocaceae	<i>Nostoc cf spongiaeforme</i>	N s
			<i>Anabaena sp</i>	An1
	Oscillatoriales	Pseudoanabaenaceae	<i>Pseudanabaena sp</i>	Psan
		Borziaceae	<i>Borzia cf trilocularis</i>	B t
Phormidiaceae		<i>Phormidium sp</i>	Ph	

**ANEXO B. TABLA DE PRESENCIA-AUSENCIA DE LAS ALGAS ENCONTRADAS EN LA LAGUNA SABANAS
DEL PARAMO DE BELMIRA, ANTIOQUIA- COLOMBIA EN LOS DIFERENTES MUESTREOS.**

	02-feb	10- feb	25-feb	03- mar	10- mar	17- mar	25- mar	31- mar	07- abr	14- abr	21- abr	28- abr	06- may
<i>Chroococcus turgidus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chroococcus gomontii</i>	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Chroococcus prescottii</i>	—	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Merismopedia angularis</i>	—	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-
<i>Merismopedia glauca</i>	—	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-
<i>Gleocapsa sp</i>	—	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stigonema lavardei</i>	—	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-
<i>Hapalosiphon sp</i>	—	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Nostoc cf spongiaeforme</i>	—	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+
<i>Anabaena sp1</i>	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Pseudanabaena sp</i>	—	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Borzia cf trilocularis</i>	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-

<i>Phormidium</i> sp	—	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anabaena</i> sp2	—	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-
<i>Dynobryo pediforme</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Achnantes minutissima</i>	—	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-
<i>Asterionella</i> sp	—	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
<i>Diatoma</i> sp	—	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tabellaria</i> sp	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-
<i>Eunotia</i> sp1	—	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia</i> sp2	—	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia</i> sp3	—	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+
<i>Eunotia</i> sp4	—	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
<i>Eunotia</i> sp5	—	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stauroneis</i> sp	—	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Frustulia</i> sp1	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Frustulia</i> sp2	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>Ghomphonema</i> sp	—	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp1	—	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+
<i>Navicula</i> sp2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula</i> sp3	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula</i> sp4	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+
<i>Navicula</i> sp5	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+

<i>Navicula</i> sp6	—	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula</i> sp7	—	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia</i> Sp	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia</i> sp1	—	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
<i>Pinnularia</i> sp2	—	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-
<i>Pinnularia</i> sp3	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Pinnularia</i> sp4	—	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pinnularia</i> sp5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rophalodia</i> sp	—	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Kobayasia</i> sp	—	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+
<i>Cymbella</i> sp	—	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Kentrosphaera</i> <i>bristolae</i>	—	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Golenkinopsis</i> <i>phythelius</i>	—	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
<i>Characium</i> Sp	—	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Pseudocharacium</i> sp	—	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botryococcus</i> <i>braunii</i>	—	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-
<i>Scenedesmus</i> sp	—	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+
<i>Borodinellopsis</i> <i>texensis</i>	—	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Microspora</i> <i>floculossa</i>	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-
<i>Microspora</i> sp	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
<i>Oedogonium</i> sp1	—	—	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-

<i>Oedogonium</i> sp2	—	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+
<i>Mougeotia</i> sp	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-
<i>Bambusina brebisonii</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Cosmarium</i> sp	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium sublubatum</i>	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Micrasterias</i> sp	—	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Pleurotaerum</i> sp	—	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetmemorus</i> sp	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>Xanthidium antilopaeum</i>	—	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+
<i>Staurastrum</i> sp	—	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Stauroidesmus brevispinia</i>	—	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stauroidesmus</i> sp1	—	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Stauroidesmus</i> sp2	—	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Euastrum</i> sp	—	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-
<i>Euastrum tuneri</i>	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-
<i>Phacus lefeuri</i>	—	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>Phacus</i> sp1	—	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Phacus</i> sp2	—	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-
<i>Phacus</i> sp3	—	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas</i>	—	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-

globularis

Trachelomonas

— + + + + + + - + + + - -

volvocina

Trachelomonas cf

+ - - + + + + - + - - + -

volvocinopsis

Raphidophyta Sp

+ + + + + + + + + + + + +

Peridinium incospicuo

+ - + + + + + + - - + + +

Peridinium sp1

— + + - - - - - - - - - -

Peridinium sp2

— + - - - + - - - + - + -

Chrysarachium insidians

+ - + + + + + + + + + + +