

DINÁMICA TEMPORAL DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA Y VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS ASOCIADAS EN EL LAGO SANTANDER (RIONEGRO, ANTIOQUIA, COLOMBIA)

TEMPORAL DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON COMMUNITY AND PHYSICAL AND CHEMICAL VARIABLES IN THE SANTANDER LAKE (RIONEGRO, ANTIOQUIA, COLOMBIA)

Omaira Rosa Sierra A.¹, John Jairo Ramírez R.^{1,2}, Octavio Fernando Marín V.¹

Resumen

En las épocas húmeda y seca de 1999 se estudió la dinámica temporal de las variables físicas, químicas y biológicas del lago Santander. Los datos fueron obtenidos quincenalmente en la zona fótica de una estación de muestreo del lago. Para cada variable física se calcularon los valores mínimo y máximo, la media aritmética y el coeficiente de variación. Sólo la turbiedad y el porcentaje de saturación de oxígeno presentaron valores altos en el periodo húmedo. En este mismo periodo, el comportamiento temporal de las variables fue más dinámico, excepto para los perfiles térmicos en los que se observa una marcada y más constante estratificación en el periodo seco. En lo referente a la estructura de la comunidad, las Euglenophyta fueron el grupo clave en el periodo seco, mientras las Chlorophyta lo fueron en el periodo húmedo. La diversidad estuvo mayormente explicada por la dominancia y la equidad en ambos periodos debido al cambio en las concentraciones de los nutrientes nitrógeno y fósforo y en especial el amonio. La dinámica comunitaria fue independiente de las condiciones del lago en uno u otro periodo y posiblemente fue causada por la influencia de la pluviosidad en la condición trófica del cuerpo de agua.

Palabras clave: lago tropical somero, cinética de lago, fitoplancton, dinámica temporal.

Abstract

Temporal dynamics of physical, chemical and biological characteristics in wet and dry periods in Lake Santander during 1999 was studied. Data were obtained every two weeks in the photic zone in a single sample station. For each physical and chemical variable the minimum and maximum values, the mean and the variation coefficient of were calculated. Only turbidity and oxygen saturation percentage presented high mean values in the wet period. In this same period, temporal behavior was more dynamics, except the thermal profiles in which a heavy stratification in the dry period were observed. In the community structure Euglenophyta was the key group in the dry period, whereas Chlorophyta was in the wet one. Diversity was mainly explained by dominance and evenness in both periods, due to the change in nitrogen and phosphorus concentrations, and especially, in the ammonium concentration. The community dynamics was independent of the lake conditions in both periods and due possibly to the influence of pluviosity in the trophic condition of the water body.

Key words: tropical shallow lake, lake kinetic, phytoplankton, temporal dynamics.

INTRODUCCIÓN

El fitoplancton consta de un conjunto de pequeñas plantas con capacidad locomotora restringida o nula y cuya distribución está más o menos sujeta a los movimientos del agua. Algunas algas

planctónicas tienen cierto poder de locomoción, desplazándose mediante flagelos y otros mecanismos que alteran su distribución gracias a los cambios de flotabilidad; sin embargo, la mayoría

Recibido: abril de 2003; aceptado para publicación: mayo de 2004.

¹ Instituto de Biología, Universidad de Antioquia.

² Autor para correspondencia: jjram@matematicas.udea.edu.co, Grupo de investigación en Limnología básica y experimental, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, A. A. 1226, Medellín, Colombia.

flota libremente. En general, esta comunidad está compuesta por un conjunto diverso de organismos pertenecientes a la mayoría de los principales grupos funcionales que coexisten bajo condiciones físicas y químicas similares que regulan su crecimiento temporal y desempeñan un papel crítico en la sucesión de la comunidad, como son: luz, temperatura, perturbaciones (mezcla) y nutrientes orgánicos e inorgánicos (Cole, 1988; Margalef, 1983; Wetzel, 1981, 2001).

Los nutrientes, según su concentración, pueden llegar a aumentar la densidad de la comunidad fitoplanctónica a tal punto que reduzcan progresivamente la luz disponible y consecuentemente la profundidad de la zona fótica. Inmediatamente se alcanza un punto en el cual la propia sombra inhibe cualquier incremento de la productividad (Cole, 1988; Margalef, 1983; Wetzel, 1981, 2001).

La comunidad fitoplanctónica es quizás una de las más estudiadas en Colombia, donde se han llevado a cabo numerosas investigaciones, principalmente, en Bogotá, Medellín, Leticia y Popayán. Por ello el interrogante planteado en esta investigación está enmarcado en el esquema clásico de dominancia de una comunidad. Él es: ¿Cuál es la magnitud de la variación temporal de la comunidad fitoplanctónica durante el periodo de tiempo propuesto y en la estación de muestreo elegida en el lago Santander? La hipótesis afirma que existen cambios en la estructura numérica de la comunidad fitoplanctónica del lago Santander entre las épocas seca y húmeda, y que están ligados a las variaciones en las condiciones físicas y químicas del régimen hidrológico. Consecuentemente, esta investigación se propuso establecer, en una estación de muestreo de la zona fótica, la variación de las características físicas, químicas y biológicas en las épocas seca y húmeda del año, mediante datos colectados a intervalos quincenales, con la finalidad de precisar su influencia sobre las fluctuaciones del fitoplancton.

MATERIALES Y MÉTODOS

El lago Santander es un pequeño cuerpo de agua localizado dentro del casco urbano del munic-

pio de Rionegro, Antioquia, Colombia. Su espejo de agua tiene un área aproximada de 4.352 m² y una profundidad promedio de 1,5 m (figura 1). Se caracteriza por tener una influencia antrópica, manifestada en el vertimiento de desechos líquidos y sólidos, que han ocasionado muerte de peces y una fuerte tendencia a la eutrofización. Su estudio se ha limitado a unos pocos monitores de las condiciones físicas y químicas.

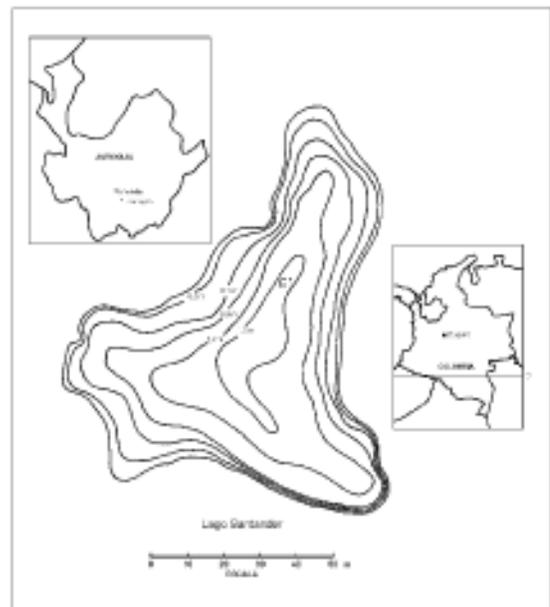


Figura 1. Mapa batimétrico y ubicación de la estación de muestreo en el lago Santander

Entre 1991 y 1993 se inició un estudio de las características del lago y su microcuenca, la definición de su estado actual y las alternativas de recuperación y mantenimiento. En este periodo un grupo de estudiantes de la Universidad Católica de Oriente desarrolló un trabajo de grado en este cuerpo de agua. Para 1994 el Municipio de Rionegro y Cornare establecieron los términos de referencia para un estudio de aproximación al área especial. En 1995 se celebró un convenio interadministrativo entre el Municipio de Rionegro y Cornare, para adelantar los estudios correspondientes a la elaboración del plan de manejo y ordenamiento del lago y su microcuenca. En 1996 se desarrolló un estudio por parte de la firma de ingenieros J. E.

H. & Cía. Ltda. sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico en el lago y su microcuenca.

En la presente investigación se realizaron diez colectas quincenales en una estación de muestreos localizada en la zona más profunda del lago (1,5 m) durante mayo, junio y julio correspondiente a la época seca (cinco muestreos) y octubre, noviembre y diciembre para la época de lluvia (cinco muestreos).

La temperatura del aire se midió con un termómetro a escala en grados centígrados (°C), la transparencia (m) con un disco Secchi de 20 cm de diámetro y bandas blancas y negras alternadas; la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con un conductímetro marca YSI y los sólidos suspendidos y volátiles (mg/L) por gravimetría.

La concentración y el porcentaje de saturación de oxígeno se midieron con un oxímetro marca WTW. El CO_2 libre (mmol/L) y el bicarbonato (mmol/L), se cuantificaron según lo propuesto por Mackereth *et al.* (1978). Se evaluaron también factores asociados a la dinámica de estos gases como el pH (con un potenciómetro WTW) y la alcalinidad total que se estimó disminuyendo el pH hasta 4,35 usando H_2SO_4 0,02 N.

El nitrógeno total se midió por el método de Kjeldhal, los nitratos en una columna de cadmio-cobre, el amonio por Nesslerización, los sulfatos por turbidimetría, el fósforo soluble reactivo y el fósforo total por el método del ácido ascórbico. Todos ellos fueron determinados en el laboratorio de aguas de Cornare (municipio El Santuario, Antioquia).

En la profundidad de la zona fótica del sitio de muestreo (estimada multiplicando la transparencia x 3) se tomaron muestras de agua de un litro, las que se fijaron con formaldehído al 4% y lugol. La identificación del fitoplancton se realizó utilizando claves taxonómicas y varias monografías. Los organismos se contaron utilizando un microscopio invertido y cámaras de sedimentación de 2,5 mL.

A los valores de las variables químicas, físicas y biológicas medidas se les realizó un análisis des-

criptivo y exploratorio usando el coeficiente de variación como medida de dispersión relativa y la media aritmética como medida de tendencia central. Se obtuvieron además los valores máximo y mínimo entre los que oscilaron las variables analizadas, así como el coeficiente de variación relativa (CV) de Pearson.

Con los datos de abundancia de las poblaciones fitoplanctónicas se elaboraron los gráficos de estructura de la comunidad y se calcularon los índices de diversidad de Shanon y Weaver (1949), equidad de Pielou (1975), dominancia de Simpson (1949) y riqueza numérica de taxones; con ellos se interpretó la estructura de la comunidad.

La comparación de los índices de diversidad se efectuó mediante la prueba de Hutcheson (1970). Esta comparación se llevó a cabo con el fin de probar si entre épocas existían diferencias en la estructura de la comunidad encontrada ($H'_{\text{ép. Seca}} = H'_{\text{ép. Lluvia}}$).

La comparación de las dinámicas de las comunidades fitoplanctónicas en cada periodo se realizó con la prueba de Dawkins (Styles com. pers.), basándonos en el supuesto de que los valores del CV permiten interpretar el dinamismo de la comunidad en cada periodo.

La relación entre las variables químicas y biológicas se obtuvo mediante un análisis de correlación no paramétrica, usando para ello el índice de correlación por rangos de Spearman.

Para detectar la posible relación entre el amonio y la densidad de *Trachelomonas volvocina* se utilizó un modelo de regresión y correlación lineal simple, transformando a logaritmo natural la densidad del organismo.

RESULTADOS

El ambiente. Para casi todas las variables, los valores medios fueron mayores en la época de sequía, con excepción de la turbiedad y el porcentaje de saturación que fueron ligeramente mayores en el periodo húmedo (tabla 1).

Tabla 1. Valores máximos y mínimos, medias aritméticas y coeficientes de variación de las variables físicas y químicas en los dos periodos de muestreo

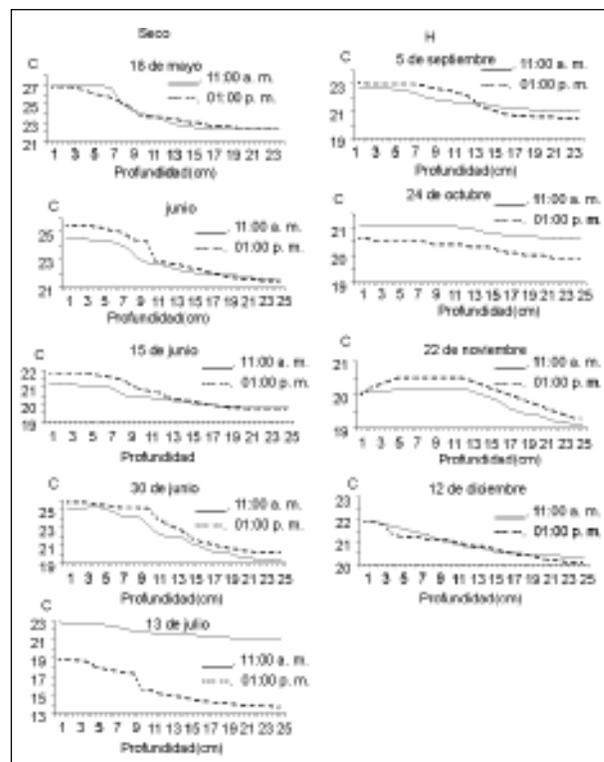
Variables	Período seco				Período húmedo			
	V _{mín}	V _{máx}	Media	CV (%)	V _{mín}	V _{máx}	Media	CV (%)
Transparencia (m)	0,300	0,400	0,360	15,200	0,300	0,400	0,320	14,000
Conductividad (μS/cm)	50,000	80,000	65,000	23,100	40,000	70,000	54,000	21,100
pH	6,100	8,000	7,080	11,900	6,000	7,900	7,160	12,000
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	30,000	36,000	33,400	9,400	25,000	35,000	28,400	13,800
Turbiedad (NTU)	5,000	43,000	30,000	50,100	6,000	127,000	42,800	112,000
Fósforo total (mg/L)	0,024	0,292	0,120	96,100	0,010	0,125	0,057	72,800
Fósforo soluble reactivo (mg/L)	0,001	0,066	0,021	129,800	0,001	0,004	0,002	83,800
Nitratos (mg/L)	0,030	0,048	0,037	18,800	0,010	0,079	0,035	72,800
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0,532	0,812	0,627	18,800	0,050	0,196	0,124	56,900
Nitrógeno total (mg/L)	0,742	0,966	1,095	32,100	0,224	1,230	0,784	46,800
Sólidos suspendidos (mg/L)	16,000	38,000	30,000	27,900	19,000	12,000	15,200	16,300
Sólidos disueltos (mg/L)	38,000	138,000	80,800	45,800	53,000	67,800	64,200	12,100
CO ₂ libre (mmol/L)	0,010	1,250	0,380	136,900	0,015	1,160	0,321	153,400
Bicarbonato (mmol/L)	0,590	0,720	0,660	9,700	0,500	0,700	0,560	13,700
Saturación de oxígeno (%)	70,000	103,000	90,800	15,900	83,000	118,000	96,800	19,300

El comportamiento de las variables en cada periodo se deduce del valor del coeficiente de variación (CV). Obsérvese en la tabla 1 que algunas variables presentaron CV muy similares en ambos periodos (transparencia, conductividad, pH y porcentaje de saturación). Con excepción del fósforo total, el fósforo soluble reactivo, los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos, el comportamiento temporal de las variables medidas fue más dinámico en el periodo húmedo.

Los perfiles de temperatura realizados en la época seca muestran la presencia de una estratificación térmica a la hora del muestreo. En la época húmeda, estos perfiles fueron menos marcados y las diferencias de temperatura entre superficie y fondo fueron menores (figura 2).

Los organismos. Se encontraron un total de 22 géneros fitoplanctónicos de los cuales 9 pertenecen a la división Chrysophyta (41% del total), 7 a la Chlorophyta (32%), 3 a la Euglenophyta (13,6 %) y 3 a la Cyanoprokariota (13,6%).

En la figura 3 se observa que las divisiones más abundantes fueron Euglenophyta y Chlorophyta

**Figura 2.** Perfiles térmicos en los periodos seco y húmedo

siendo mayor su densidad en el periodo seco. En el muestreo del 30 de junio (1999) las Chlorophyta estuvieron representadas abundantemente por *Ankistrodesmus falcatus*; en los demás muestreos este taxón presentó muy baja densidad o estuvo ausente. El 1.º de junio, *T. volvocina* mostró un comportamiento similar a *Ankistrodesmus*, aunque con una constancia temporal mayor.

En el periodo húmedo se encontraron 36 taxones. En este periodo la frecuencia de las especies se incrementó pero su densidad disminuyó ostensiblemente, aunque la importancia de las Chlorophyta y Euglenophyta se mantuvo (figura 3).

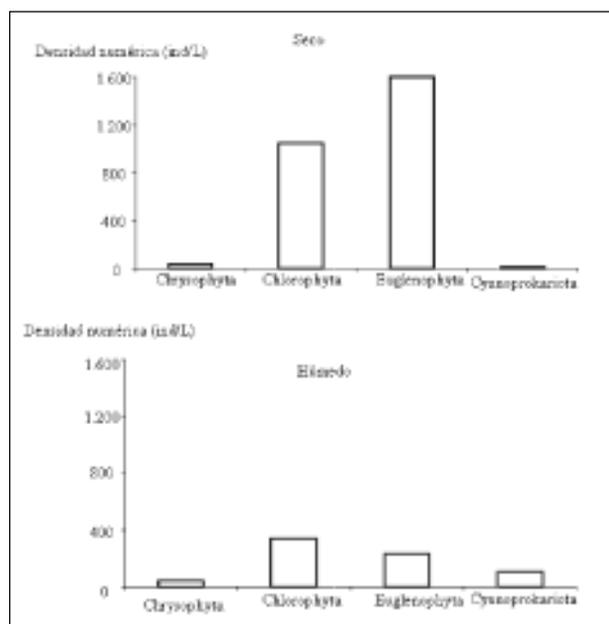


Figura 3. Variación en la abundancia de las divisiones taxonómicas halladas en cada periodo de muestreo

Las curvas de importancia para cada periodo fueron muy similares, un taxón presentó densidades superiores al 30% del fitoplancton, unos pocos tuvieron densidades superiores a 10% y hubo una cola correspondiente a taxones raros y escasos que fueron la mayoría. Vale la pena resaltar que en el periodo seco (figura 4A) la densidad de la comunidad fue mayor y la dominancia estuvo repartida entre dos fitopláncteres: *T. volvocina* y *A. falcatus*. Por ello, la disminución de la densidad en la curva generada en el segundo periodo fue menos dramática y con mayor riqueza numé-

rica y equidad. Hacia el periodo húmedo, *Cosmarium* sp. incrementó su densidad, mientras *A. falcatus* y *T. volvocina* la rebajaron ostensiblemente (figura 4B).

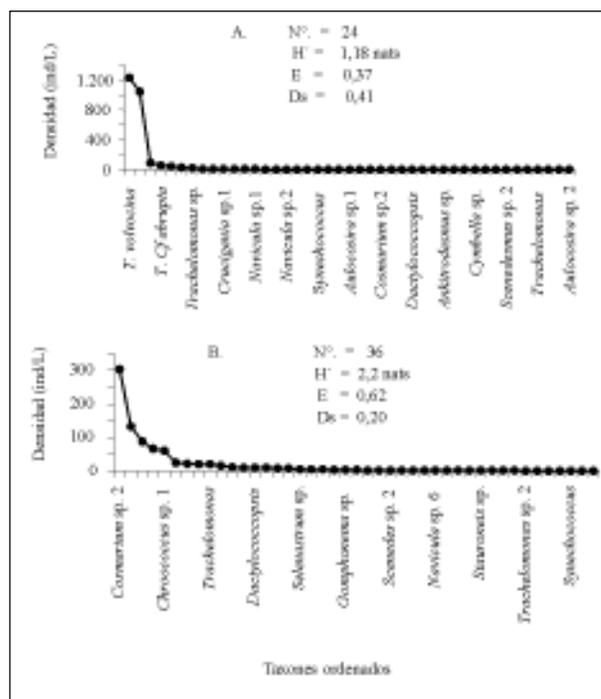


Figura 4. Curvas de dominancia y diversidad de la comunidad fitoplanctónica para los periodos seco (A) y húmedo (B)

El valor máximo de la dominancia en la época seca se presentó el 30 de junio; mientras que en la época de lluvia fue el 12 de diciembre. El mínimo valor para la dominancia en la época seca se registró el 13 de julio y en la época de lluvia el 22 de noviembre. Como era de esperarse el comportamiento de los valores de diversidad para las dos épocas fue contrario al de la dominancia y similar al de la equidad. El 13 julio (época seca) se encontraron los máximos valores y el 30 de junio, los mínimos para la diversidad y la equidad; en la época de lluvias los valores máximos para estas variables se registraron el 7 de noviembre y los mínimos el 12 de diciembre (figura 5). En la figura 6 se observa que la diversidad estuvo mayormente explicada por la dominancia y la equidad en ambos periodos. Mientras que la equidad respondió por el mayor porcentaje de la variación de la diversidad en el periodo húmedo, la dominancia lo hizo en el periodo seco. En los

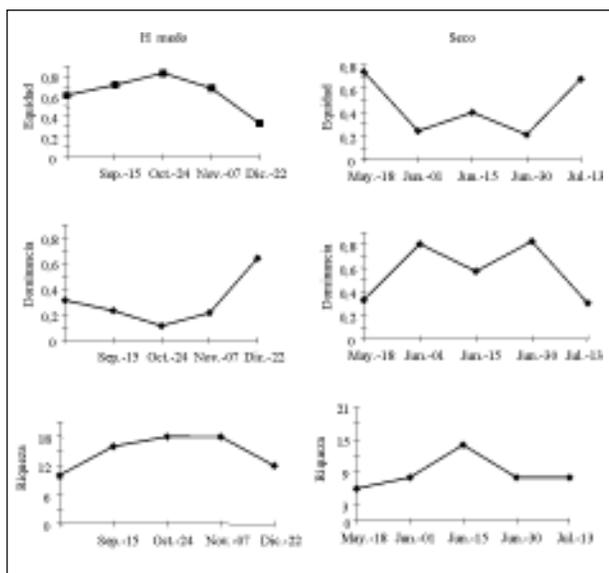


Figura 5. Variación temporal de la riqueza numérica, la dominancia, la equidad y la diversidad en los periodos seco y húmedo

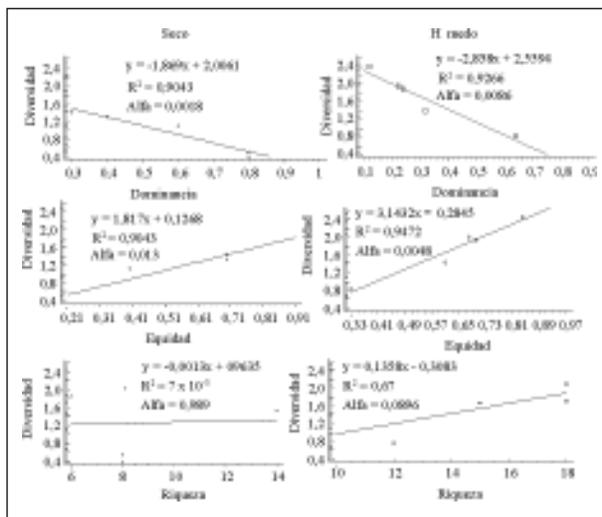


Figura 6. Relación entre la diversidad y las variables asociadas a ella para la comunidad fitoplanctónica

dos periodos la riqueza de taxa no incidió significativamente en los cambios de la diversidad.

La comparación de los índices de diversidad mostró diferencias significativas ($t = -21,1$; $a = 0,0$); la diferencia entre los valores de los CV (periodo seco: 301,1%; periodo húmedo: 235,9%) no fue significativa ($t = 0,17$; $> 0,05$).

El resultado de la regresión efectuada entre *T. volvocina* y el amonio (figura 7) resultó significativa ($F = 6,53$; $\alpha = 0,0379$; $r = 0,69$; $SE = 1,29$). La ecuación obtenida fue:

$$\text{Log}_e(T. volvocina) = 2,33 + 4,07(\text{amonio}).$$

De las 15 variables estudiadas sólo el nitrógeno amoniacal se asoció en forma significativa, pero leve, con la variación de la diversidad (tabla 2).

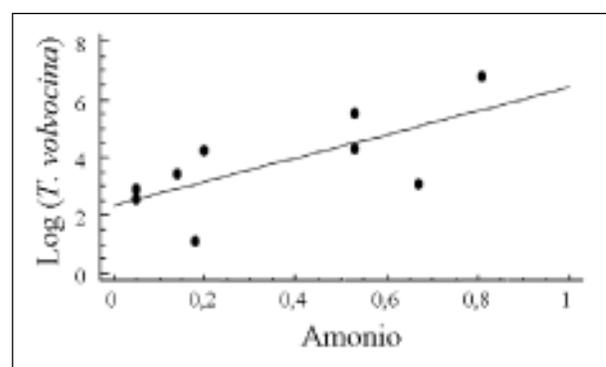


Figura 7. Relación entre la densidad numérica de *Trachelomonas volvocina* y la concentración de amonio

Tabla 2. Valores del coeficiente de correlación de Spearman para establecer la relación entre las variables físico-químicas y la diversidad

Variables	R	α
Transparencia	-0,1567	0,6655 ns
Conductividad	-0,4451	0,1973 ns
pH	0,4026	0,2488 ns
Alcalinidad	-0,1378	0,7041 ns
Turbiedad	0,1373	0,7052 ns
Fósforo total	-0,4322	0,2123 ns
Fósforo soluble	-0,4594	0,1817 ns
Nitratos	0,1696	0,6394 ns
Nitrógeno amoniacal	-0,6540	0,0402 *
Nitrógeno total	-0,5526	0,0976 ns
Sólidos suspendidos	-0,4834	0,1569 ns
Co ₂ libre	-0,2926	0,4119 ns
Bicarbonato	-0,1435	0,6924 ns
Saturación de oxígeno	-0,2803	0,4328 ns

* = Significativo con $\alpha < 0,05$;

ns = no significativo ($\alpha > 0,05$)

DISCUSIÓN

Los dos perfiles de temperatura realizados en cada muestreo evidencian los procesos de ganancia y pérdida de calor, cuya consecuencia es la permanencia de la estratificación térmica o su pérdida por la erosión de la termoclina que da paso a la mezcla. Según Margalef (1983) es frecuente que la termoclina principal aparezca enmarcada por termoclinas menores cerca de la superficie que se profundizan hasta unirse a la principal. Además, cualquier pequeña diferencia vertical de temperatura y densidad, representa aumento de estabilidad y dificulta la propagación del movimiento turbulento hacia abajo. Dicha propagación se presentó principalmente en el periodo húmedo, quizás debido a la acción combinada del viento, las lluvias, la menor entrada de calor y la pérdida del mismo por convección y evaporación, lo cual introduce perturbación al ecosistema disminuyendo las diferencias de temperaturas de superficie a fondo.

Los valores promedio más altos de la mayoría de las variables en el periodo seco se debieron a la evaporación, que en esta época disminuye el volumen de agua y aumenta las probabilidades de encontrar valores más altos.

La transparencia en el lago Santander representa el 33% de la profundidad total del lago. Este valor se mantuvo aproximadamente constante en los dos periodos muestreados, debido quizás a la mezcla diaria, la cual atenúa la penetración de luz por el incremento de los suspensoides circulantes, independientemente del periodo muestreado; por ello, los valores similares del CV.

La turbidez media y su correspondiente CV fueron mayores en el periodo húmedo, debido tal vez a los cambios en el tamaño de las partículas suspendidas circulantes y a la mayor concentración de sustancias causantes de turbidez como los coloides y las arcillas. Puede decirse entonces que el clima óptico del lago se ajusta al de un lago turbio correspondiente a un lago polimíctico cálido continuo, en el cual la penetración de luz se atenúa en los primeros centímetros de la columna; pero la

mayor atenuación es por material disuelto y no particulado, como lo muestran los valores de los sólidos suspendidos y disueltos.

La variación del CO₂ libre se ajusta a la dinámica del metabolismo en el lago, a su patrón de mezcla continua y a su estado trófico. Wetzel (1981) argumenta que los cambios verticales del CO₂ y de pH son mucho más rápidos en lagos eutróficos ya que la actividad fotosintética es más intensa en las horas diurnas, causando disminución en las concentraciones de dicho compuesto, pero en otros momentos la actividad respiratoria y el metabolismo de la materia orgánica aumentarían sus concentraciones en el medio. El alto valor del porcentaje de saturación de oxígeno y su poca variación en las dos épocas del año, indican un ecosistema con procesos de mezcla y estratificación diaria así como una alta actividad fotosintética representada por los bajos valores medios del CO₂ libre con altos de HCO₃⁻. Debido a estos altos valores, la alcalinidad del lago fue también alta y poco variable en ambos periodos. Consecuentemente, los valores medios de pH fueron muy similares entre muestreos y con una variación temporal muy reducida.

Los valores de conductividad relativamente altos y similares y además poco variables en cada periodo muestran que la carga iónica circulante es semejante, independientemente del periodo.

La mayor variación de los nutrientes en el periodo húmedo se debe básicamente al incremento de la mezcla durante este periodo, ocasionada por el enfriamiento conveccional más rápido de la superficie (obsérvense los menores valores de temperatura de superficie y las menores diferencias de temperatura entre superficie y fondo) y al cambio en la estructura de la comunidad fitoplanctónica que durante el periodo seco muestra el predominio de especies indicadoras de eutrofia (*A. falcatus* y *T. volvocina*) y para el húmedo de especies indicadoras de un estado menos eutrófico, como la desmidiacea *Cosmarium*. Este cambio en el estado trófico concuerda con la disminución en las concentraciones de nutrientes hacia el periodo húmedo.

El lago Santander recibe desechos provenientes del municipio de Rionegro y presenta, por tanto, los procesos de descomposición y transformación de la materia orgánica vertida y de la biota muerta que dan como resultado la liberación de iones como el amonio en altas concentraciones que indican a su vez contaminación reciente. La oxidación de este material reducido requiere demandas altas de oxígeno que son suministradas con creces por la aireación del sistema debido a la mezcla diaria y a la fotosíntesis de las algas; por ello, los altos valores del porcentaje de saturación de oxígeno.

El mayor número de géneros lo presentaron los taxa pertenecientes a la división Euglenophyta. Esta división está formada por organismos facultativos que se desarrollan en aguas poco profundas y con alto contenido de materia orgánica y amonio; condiciones a las que se ajusta el lago Santander. Por tanto, puede decirse que Euglenophyta, dada su frecuencia y densidad durante los muestreos, es la más adaptada a las condiciones de este sistema. Nótese que en el periodo seco cuando la concentración de amonio fue mayor, las Euglenophyta, representadas especialmente por *T. volvocina*, dominaron numéricamente. Como consecuencia la relación entre *T. volvocina* (euglenofita dominante) y el amonio fue significativa con una pendiente positiva, lo cual significa que a incrementos de amonio le siguen incrementos del alga (figura 7). La relación positiva entre ambas variables muestra que existe una provisión suficiente del nutriente para soportar la fase de expansión de la población existente y en general de la comunidad fitoplanctónica. El amonio como fuente de nitrógeno es preferido por las algas debido a que no requiere su reducción en el interior celular, lo cual implica un ahorro energético para los organismos que lo usan.

En el periodo seco las Chlorophyta estuvieron representadas por tres géneros. En tal época esta división se encuentra comúnmente colonizando aguas eutróficas con alta relación nitrógeno/fósforo (Margalef, 1983; Wetzel, 2001). En la época húmeda, el número de géneros aumentó a siete,

con *Cosmarium* sp. respondiendo por el aprovechamiento y flujo de la energía en el ecosistema.

La variación de la abundancia brinda una valiosa información acerca de la organización de la comunidad. Las comunidades dominadas por pocas especies, son propias de ambientes rigurosos en donde sólo unas pocas son capaces de subsistir (Lobo, 1983); como el sistema aquí estudiado.

Como ya se mencionó, se registró un cambio en el estado trófico del lago entre el periodo húmedo y el seco, inferido a través del cambio en los valores de la razón nitrógeno total/fósforo total. El valor medio de esta razón en el periodo seco fue de 23,2 y en el húmedo de 16,2, lo cual indica que se presentó un cambio en la fracción particulada del fósforo total entre ambos periodos. La disminución en los valores de la razón entre uno y otro periodo muestra además que se presentó el cambio ya mencionado en la condición trófica del lago, lo cual favoreció el incremento de las algas desmidiaceas (figura 4B).

En el periodo húmedo aumentaron la riqueza, la equidad y la frecuencia en los registros de especies raras, lo cual llevó a incrementos concomitantes en la diversidad. Estos cambios fueron facilitados, en buena forma, por la mudanza en el estado trófico del sistema. Donato (1991) encontró que la disminución de la densidad del fitoplancton en la laguna de Chingaza fue ocasionada por la dilución en las concentraciones de las variables físicas, químicas y biológicas, en la época de lluvia. Aunque leves, los cambios en las condiciones del sistema en el periodo húmedo favorecieron además la aparición y dominancia de especies que no se registraron en el periodo seco, como por ejemplo la ya mencionada dominancia de *Cosmarium* en esta época del año.

Según Margalef (1983) la familia Desmidiaceae parece depender exclusivamente del gas carbónico lo que explica su distribución en aguas ácidas. Sin embargo, en el lago Santander la fracción dominante del carbono inorgánico disuelto fueron los bicarbonatos. Esto significa que las con-

diciones generadas en el lago no proporcionarían un ambiente favorable para la dominancia de *Cosmarium* en el periodo húmedo. Sin embargo, este género ha sido encontrado en las colas de los embalses, lugares caracterizados por sus condiciones ambientales muy alejadas de la oligotrofia necesarias para las desmidiaceas (Márquez y Guillot, 2001).

Aunque la diversidad entre los dos periodos estudiados fue ligeramente diferente, la equidad y la riqueza fueron 1,7 y 1,6 veces mayores en el periodo húmedo, lo cual se debe al aumento de los taxones raros que, a su vez, responde al cambio de las condiciones debido a las lluvias. Sin embargo, en ambos periodos la diversidad se presentó más relacionada con la dominancia y la equidad (figura 6). La diversidad y la equidad en el periodo seco fueron más fluctuantes, presentando dos descensos ocasionados por la codominancia de *T. volvocina* y *A. falcatus*. Como consecuencia de estos cambios entre uno y otro periodo, la estructura de la comunidad, evaluada a través de la diversidad, presentó diferencias claramente significativas. Sin embargo, la dinámica de la comunidad fue igual en ambos periodos (demostrada por la ausencia de significancia en la comparación de los coeficientes de variación), debido a que en cada uno de ellos se registró una nítida dominancia de una o dos especies y rápidos altibajos debidos a la inestabilidad del sistema por su patrón polimíctico. Esta dominancia en el periodo húmedo se alcanzó más rápidamente

que en el periodo seco (observar el valor de las pendientes en la figura 6).

En conclusión, la magnitud de la variación temporal de la comunidad fitoplanctónica en la estación de muestreo fue pronunciada y sin diferencias significativas entre los dos periodos, lo cual responde la pregunta planteada inicial. Esto quiere decir que la dinámica comunitaria es independiente de las condiciones del lago en uno u otro periodo, las cuales sí afectan la estructura de la comunidad debido al cambio en la condición trófica entre periodos. Por ello, la predicción relacionada con la influencia de la variación en las condiciones físicas y químicas sobre la comunidad fitoplanctónica se cumplió significativamente. Tal predicción se demostró en los cambios en la estructura de la comunidad relacionados principalmente con los cambios en el amonio. Tales cambios permiten pensar que la pluviosidad (aunque no se midió) fue determinante en las mudanzas estructurales de la comunidad, como se ha demostrado tradicionalmente que corresponde a la zonas ecuatorial y tropical.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la *Corporación Mi Lago* por la financiación de la presente investigación y al personal del laboratorio de aguas de *Cornare* por los análisis de las muestras de agua para la cuantificación de las variables físicas y químicas.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WEF. 1995. *Standard Methods*. 19th ed. United Book Press, Baltimore.
- Cole GA. 1988. *Limnología*. Editorial Hemisferio Sur SA, Buenos Aires.
- Donato JC. 1991. Fitoplacton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Caldasia* 16:79.
- Hutcheson K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Theor Biol* 29:151-154.
- Lewis WM Jr. 1983. Revised classification of lakes based on mixing. *Can Jour Aquat Sc* 40:1779-1787.
- Lobo J. 1983. *La base de la ecología*. Editorial Fuenlabrada, Acción Divulgativa SL, Madrid.
- Lorenzen CJ. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equation. *Limnol Oceanogr* 12:343-346.
- Mackereth FJH, Heron JR, Talling JF. 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Scientific Publication 36. Freshwater Biological Association, Cumbria.
- Margalef R. 1983. *Limnología*. Omega SA, Barcelona.
- Márquez G, Guillot G. 2001. *Ecología y efecto ambiental de embalses. Aproximación con casos colombianos*. Serie de publicaciones del posgrado en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Pielou EC. 1975. *Ecological diversity*. Wiley, New York.
- Shannon CE, Weaver W. 1949. *The mathematical of communication*. University of Illinois Press, Urbana, Illinois.
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- Wetzel RG. 1981. *Limnología*. Omega SA, Barcelona.
- Wetzel RG. 2001. *Limnology of Lake and River Ecosystems*. 3rd ed. Academic Press, New York.