

EFFECTO DE LA PRESENCIA DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS EN LA VARIACIÓN DIARIA DE LA BIOMASA, LA PRODUCCIÓN PRIMARIA Y LA EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA LAGUNA FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

THE EFFECT OF THE PRESENCE OF AQUATIC MACROPHYTES IN THE BIOMASS, PRIMARY PRODUCTION AND PHOTOSYNTETIC EFFICIENCY OF PHYTOPLANKTONIC COMMUNITY IN THE LAGOON FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Johanna Arboleda¹ y John J. Ramírez²

Resumen

De septiembre de 1998 a febrero de 1999 se realizaron diez muestreos de periodicidad quincenal en dos estaciones de la laguna Francisco José de Caldas, una de ellas cubierta por la macrófita *Nymphaea ampla* y la otra sin ella. En ambas estaciones se tomaron muestras de superficie a intervalos de tres horas, iniciando a las 6:00 horas y terminando a las 18:00. Entre las zonas, tanto la producción primaria bruta como la clorofila y la eficiencia fotosintética mostraron valores medios similares. Con excepción de la producción primaria bruta y la irradiación subacuática disponible, los demás parámetros se comportaron de manera semejante en ambas estaciones de muestreo. De lo anterior se colige que la presencia de las macrófitas no influye significativamente en el comportamiento diario de las variables físicas, químicas y biológicas estudiadas. De acuerdo con los valores de clorofila y la producción primaria bruta la laguna Francisco José de Caldas es un sistema eutroficado. Los cambios relativamente bruscos de pH sugieren un ambiente poco tamponado, y las concentraciones altas de clorofila un sistema turbio y de baja transparencia en el que la penetración de luz se dificulta; por ello, se considera que la eficiencia de la comunidad fitoplanctónica en la conversión de luz en energía química es baja. Consecuentemente, los valores de producción primaria bruta también fueron bajos.

Palabras clave: limnología, laguna tropical, producción primaria fitoplanctónica, eficiencia fotosintética, estado trófico.

Abstract

From September of 1998 to February of 1999 were carried out ten samplings of biweekly rhythm in two stations of the lagoon Francisco José de Caldas, one of them covered for the macrophyte *Nymphaea ampla* and the other one without it. In both stations surface water samples to intervals of three hours were taken, beginning at the 6:00 hours and ending at 18:00 o'clock. Among areas, the gross primary production, the chlorophyll and the photosynthetic efficiency showed similar mean values. Except for the gross primary production and the available sub-aquatic radiation, the other parameters behaved in a similar way in both sampling stations. Of the above-mentioned, it is deduced that the presence of the macrophytes don't influence significantly in the day behavior of the studied physical, chemical and biological variables. According to the chlorophyll values and gross primary production the lagoon Francisco José de Caldas is an eutrophicated system. The relatively abrupt changes of pH suggest an environment little buffered, and the high concentrations of chlorophyll, a cloudy system with low transparency to make difficult the light penetration; as a consequence, it is considered that the efficiency of the phytoplanktonic community in the conversion of light in chemical energy is low. Consequently, the values of gross primary production were also low.

Key words: limnology, tropical pond, primary production of phytoplankton, photosynthetic efficiency.

Recibido: marzo de 2001; aprobado para publicación: noviembre de 2001.

¹ Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, apartado 1226, Medellín, Colombia. E-mail: audejohana@yahoo.com.

² Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, apartado 1226, Medellín, Colombia. E-mail: jram@matematicas.udea.edu.co.

INTRODUCCIÓN

La producción primaria fitoplanctónica se puede definir como la cantidad de biomasa que esta comunidad genera por fotosíntesis en un lapso de tiempo determinado. Su estimación es un bioensayo *in situ* que refleja la respuesta fisiológica de dicha comunidad. En las zonas tropical y ecuatorial, por ser la irradiación y la temperatura relativamente constantes en el ciclo anual, los factores controladores de la producción primaria son la concentración de clorofila, el régimen de luz subacuático y la disponibilidad de nutrientes. Esta última está ligada al patrón de mezcla y a la alta temperatura que ocasiona mayor tasa de descomposición. También desempeñan un papel importante la profundidad media de cada ambiente y la morfometría del mismo, pues influyen la presencia o no de estratificación térmica, que a su vez afecta la disponibilidad de nutrientes y la extensión de las zonas fótica y de mezcla (Lewis, 1983; Esteves, 1998). Dado que la mezcla intensa aumenta también la cantidad de material particulado de origen inorgánico, que a su vez acrecienta la atenuación lumínica y limita la acumulación de biomasa algal, se considera entonces que en los sistemas rasos, como el estudiado, es la radiación disponible para la fotosíntesis y no la concentración de nutrientes el factor limitante (Reynolds, 1984).

Algunas investigaciones han demostrado la existencia de una clara inhibición del desarrollo fitoplanctónico ante la presencia de densas poblaciones de macrófitas emergentes y sumergidos. Los resultados de estas investigaciones sugieren que los compuestos orgánicos excretados ejercen un efecto inhibitorio y antibiótico sobre el crecimiento del fitoplancton. Además, los macrófitas en general compiten con las algas por nutrientes, luz y otras sustancias (Wetzel, 1981; Payne, 1986; Esteves, 1998).

En Colombia las investigaciones realizadas sobre este tópico son pocas, contándose entre ellas las de Naundorf (1990), Gaviria (1991), Ramírez (1991, datos sin publicar) y Alcaraz (2000).

Considerando la posible influencia de la presencia de las macrófitas en las variables investigadas, se plantean las siguientes preguntas: ¿la producción

primaria bruta, la biomasa y la eficiencia fotosintética de la comunidad fitoplanctónica son afectadas por la presencia de las macrófitas? ¿Varía su comportamiento diurno y entre días de muestreo en zonas con macrófitas y sin ellas? Si la macrófita compite efectivamente por la luz, los nutrientes y otros factores con el fitoplancton, entonces la producción primaria, la biomasa fitoplanctónica y la eficiencia fotosintética son menores en la zona con macrófitas. Además, si las diferencias en los valores de las tres variables biológicas investigadas en cada zona son función de la presencia o ausencia de macrófitas y de la irradiación subacuática disponible, entonces en la zona con macrófitas las diferencias horarias no son contrastantes y la asociación entre la producción y las demás variables es mayor.

Descripción del área de estudio. La laguna Francisco José de Caldas está localizada en el Jardín Botánico del municipio de Medellín, Colombia, a 6° 15' N y 75° 34' W en la zona de vida bh-P. Fue 'construida' en 1918. Actualmente presenta bordes artificiales y naturales, con mediana cobertura vegetal que ha sido removida en parte causando problemas de erosión y lixiviación. Al suroriente y suroccidente de la laguna se observa un gran número de plantas acuáticas, representadas en su mayoría por *Nymphaea ampla*, una planta de hojas flotantes pero enraizada en el fondo, y que permaneció en floración durante los seis meses del tiempo de duración del estudio.

METODOLOGÍA

Entre septiembre de 1998 y febrero de 1999 se realizaron muestreos quincenales, diez en total, en dos estaciones de la laguna. La estación 1 presenta un alto porcentaje de la macrófita *N. ampla*, mientras que la estación 2 está prácticamente desprovista de la misma.

La toma de muestras en cada estación se llevó a cabo en la sub-superficie del agua a intervalos de tres horas durante el periodo iluminado, comenzando a las 6:00 horas y terminando a las 18:00 de cada día de muestreo. Los datos de pluviosidad (en mm/mes) fueron

suministrados por la Sección de Hidrometría de las Empresas Públicas de Medellín. La temperatura del agua (en °C) se midió con un termómetro de bulbo seco. Los valores de irradiación subacuática (en lux) fueron medidos con un luxómetro y convertidos a $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ multiplicándolos por el factor 0.01953 (Wetzel y Likens, 1991). Estos valores se obtienen de sustraer la radiación solar refractada y la reflejada; por lo cual representan la irradiación subacuática disponible para la fotosíntesis en la superficie del agua (I_0'). El pH y el oxígeno disuelto se evaluaron con un peachímetro WTW y por el método iodométrico de Winkler, respectivamente. La producción primaria bruta fitoplanctónica se estimó por el método del oxígeno (Gaarder y Gran, 1927). El tiempo de incubación fue de tres horas en los diferentes periodos del día. Los valores se registraron en $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$, para lo cual se utilizó el factor 0.312 y un cociente fotosintético (PQ) de 1.2 (Cole, 1983). La biomasa de la comunidad fitoplanctónica se estimó mediante la clorofila *a* activa usando etanol caliente al 96% como solvente extractor (Sartory y Grobbelaar, 1984). El extracto fue acidificado con HCl 0.1N. La eficiencia de la comunidad fitoplanctónica en la fijación de carbono se estimó relacionando la producción primaria bruta con la biomasa de la misma (Margalef, 1974).

Análisis estadístico. Se llevó a cabo un análisis descriptivo de los datos usando la media aritmética muestral y la mediana como medidas de tendencia central. Como medidas de dispersión absoluta y re-

lativa se utilizaron la desviación estándar, el intervalo de confianza del 95%, los valores máximo y mínimo y el coeficiente de variación relativa de Pearson. La exploración de datos se efectuó mediante el análisis de las cajas esquemáticas. La significancia estadística de las diferencias entre zonas de muestreo se determinó mediante un análisis de varianza de tres factores (días, zonas y horas), considerando las horas como repeticiones. Utilizando un diseño de bloques con los días de muestreo como variable de bloqueo se estableció la significancia de las diferencias para el factor horas. En todos los casos se chequearon los supuestos exigidos por el análisis de varianza; por ello, en algunos casos los datos aparecen transformados logarítmicamente. La comparación de medias se llevó a cabo mediante las pruebas de Duncan y Tukey. Para establecer el grado de dependencia entre la producción, la eficiencia fotosintética y las variables ambientales medidas se utilizaron análisis de regresión y correlación lineal simples, previa constatación de la normalidad de los datos involucrados.

RESULTADOS

El Andeva efectuado para establecer la significancia de las diferencias entre zonas para la irradiación subacuática ($F = 9.91$, $\alpha = 0.0025$), la temperatura ($F = 0.91$, $\alpha = 0.3543$) y el pH ($F = 0.47$, $\alpha = 0.5015$) sólo fue significativo para la irradiación subacuática transformada logarítmicamente. Su valor medio fue ligeramente mayor en la zona sin macrófitas (tabla 1).

Tabla 1. Laguna Francisco José de Caldas, Jardín Botánico, Medellín. Valores de tendencia central y dispersión para las variables ambientales y biológicas estudiadas

Zona	Estadístico	I_0'	pH	T agua (°C)	PPB	Clorofila <i>a</i> activa	EF
Zona con macrófitas	$m \pm \text{IC}$	551.02	7.89	23.7	120.69 ± 21.32	61.08 ± 10.64	2.41 ± 0.43
	$V_{\text{mín}}$	183.35	7.45	22.1	15.11	11.66	0.20
	$V_{\text{máx}}$	918.69	8.21	25.2	265.63	139.87	5.60
	CV(%)	89.5	3.9	6.7	56.78	56.20	57.21
	n	50	50	50	50	50	50
Zona sin macrófitas	$m \pm \text{IC}$	614.98	7.91	23.9	117.91 ± 22.79	58.23 ± 9.19	2.45 ± 0.47
	$V_{\text{mín}}$	297.35	7.66	22.4	11.46	11.66	0.35
	$V_{\text{máx}}$	935.60	8.19	25.3	306.67	134.02	5.70
	CV(%)	75.2	3.3	6.3	62.36	50.94	61.78
	n	50	50	50	50	50	50

PPB = producción primaria bruta; EF = eficiencia fotosintética; m = media aritmética muestral; IC = intervalo de confianza del 95%; $V_{\text{mín}}$, $V_{\text{máx}}$ = valores mínimo y máximo; n = número de datos; I_0' = radiación subacuática.

La temperatura del agua ($F = 11.02$, $\alpha = 0.0001$) presentó entre horas variación significativa, comportándose en forma semejante a la irradiación subacuática con incrementos hacia el intervalo entre las 9:00 y las 12:00 horas y posterior disminución. Entre horas el pH también presentó diferencias significativas ($F = 29.98$, $\alpha = 0.0000$) con un comportamiento similar en cada zona y cambios bruscos a lo largo del día (figuras 1A y 1B). En la zona sin macrófitas el logaritmo de la irradiación subacuática no presentó entre días de muestreo variaciones significativas ($F = 1.95$, $\alpha = 0.0872$), mientras que en la zona con macrófitas sí las presentó ($F = 2.44$, $\alpha = 0.0353$). El pH y la temperatura del agua mostraron diferencias significativas tanto en la primera ($F = 6.31$, $\alpha = 0.0001$; $F = 18.55$, $\alpha = 0.0000$) como en la segunda zona ($F = 50.15$, $\alpha = 0.0000$; $F = 4.14$, $\alpha = 0.000$).

La producción primaria bruta ($F = 0.078$, $\alpha = 0.7851$), la clorofila *a* activa ($F = 0.38$, $\alpha = 0.5480$) y la eficiencia fotosintética ($F = 0.02$, $\alpha = 0.8823$) no mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo en ninguno de los casos, corroboradas al comparar los valores medios, los mínimos y máximos, los intervalos de confianza y los coeficientes de variación presentados en la tabla 1, los cuales fueron similares. En la zona con macrófitas la producción primaria ($F = 16.72$, $\alpha = 0.0000$) y la clorofila *a* transformadas logarítmicamente ($F = 16.13$, $\alpha = 0.0000$) mostraron diferencias altamente significativas, en tanto que la eficiencia fotosintética no las presentó ($F = 2.30$, $\alpha = 0.0999$). En la estación desprovista de macrófitas tanto la producción primaria bruta ($F = 19.60$, $\alpha = 0.0000$) como la clorofila *a* ($F = 6.00$, $\alpha = 0.0000$), también transformadas de igual forma, y la eficiencia fotosintética ($F = 16.47$, $\alpha = 0.0000$) presentaron diferencias significativas.

Para la producción primaria bruta la comparación de medias presentó en ambas zonas el intervalo entre las 15:00 y 18:00 horas como estadísticamente diferente de los demás; en la zona con macrófitas el intervalo 9:00-12:00 horas fue considerado también de igual forma (figuras 1C y 1D). La tendencia mostrada en ambas figuras fue similar: incrementos de la mañana hacia el medio día y posterior disminución hacia el final del periodo iluminado. Vale la

pena resaltar que la variabilidad en la primera etapa en la zona con macrófitas fue mayor que en la sin macrófitas.

Entre horas de muestreo la clorofila *a* transformada logarítmicamente mostró en ambos sitios el valor medio obtenido en el intervalo 6:00 a 9:00 horas como significativamente diferente del resto. En la zona con macrófitas el intervalo 15:00 a 18:00 horas también fue considerado diferente. El patrón obtenido fue semejante en ambas zonas: disminución en los valores de clorofila desde las horas de la mañana hacia las del final del día (figuras 2A y 2B). Al igual que la producción primaria (figuras 2C y 2D), la clorofila presentó entre días de muestreo dos etapas separadas por la colecta del 4 de enero. En términos generales, la variación fue levemente mayor en la zona sin macrófitas (figuras 3A y 3B).

La eficiencia fotosintética (figuras 3C y 3D) presentó en ambas zonas dos grupos horarios bien definidos y una tendencia similar a la presentada por la producción primaria (figuras 1C y 1D) y la clorofila *a* (figuras 2A y 2B). A pesar de que el porcentaje de variación explicado por la variable independiente fue bajo, tanto en una zona como en la otra (45% y 36%, respectivamente) la producción primaria se asoció significativamente con la irradiación subacuática en los dos sitios. La relación producción-clorofila mostró coeficientes de determinación bajos en cada sitio (10% en ambos). Por su parte, la eficiencia fotosintética en la primera zona se presentó igualmente influida por la PPB y la clorofila, mientras que en la segunda incidió más en su comportamiento la producción primaria (tabla 2).

DISCUSIÓN

Aunque las hojas de *N. ampla* constituyen un obstáculo 'aparentemente' evidente para la penetración de la luz, las diferencias de irradiación subacuática entre zonas, aunque significativas, no fueron contrastantes; esto significa que la penetración de luz es, en cierta forma, independiente de la zona de muestreo. La presencia de macrófitas tampoco influyó decisivamente en las diferencias halladas para las variables temperatura y pH, debido probablemente al tamaño de la laguna y a su poca profundidad.

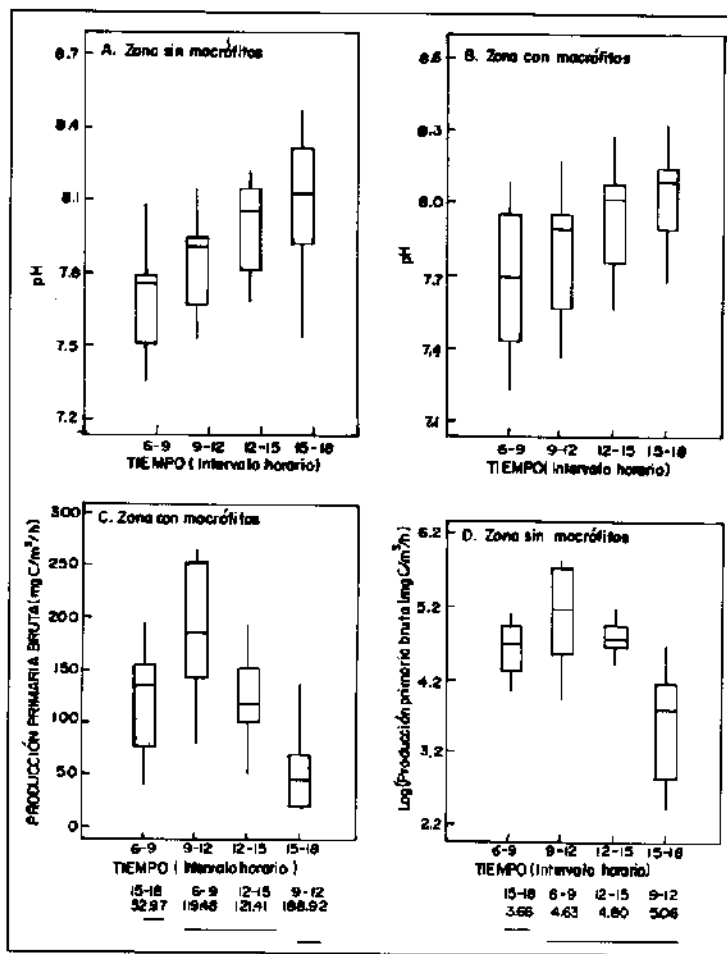


Figura 1. Laguna Francisco José de Caldas, Jardín Botánico, Medellín. Variación horaria del pH (A y B) y la producción primaria bruta (C y D) en las zona con y sin *N. ampla*

Esta última característica facilita la circulación del agua y disminuye las posibles variaciones horizontales y verticales. Se sabe que uno de los principales efectos de las macrófitas de hojas flotantes y enraizadas en el fondo es disminuir la turbulencia (Esteves, 1998).

El incremento de la temperatura del agua en ambas zonas a medida que transcurre el día, es ocasionado por la ganancia de calor por absorción en las capas superiores de las longitudes de onda correspondientes al rojo y al infrarrojo (Margalef, 1983; Cole, 1983). El comportamiento horario de la temperatura del agua y la irradiación subacuática en cada zona estuvo relacionado con las variaciones en la pluvio-

sidad, ya que en todos los muestreos en las horas de la tarde la lluvia se incrementaba, aumentando los suspensoides circulantes que atenúan la penetración lumínica.

Entre horas la tendencia presentada por el pH se debe a que durante el día se consume dióxido de carbono por la fotosíntesis del fitoplancton, aumentándose con ello sus valores por el incremento del ión bicarbonato. En general, al incrementarse la temperatura se incrementa la tasa fotosintética y con ello el pH por la razón anterior; por ello, esta variable se comportó de forma similar al pH en cada zona. Sus cambios bruscos, evidenciados por los valores del CV en cada estación, muestran una reserva al-

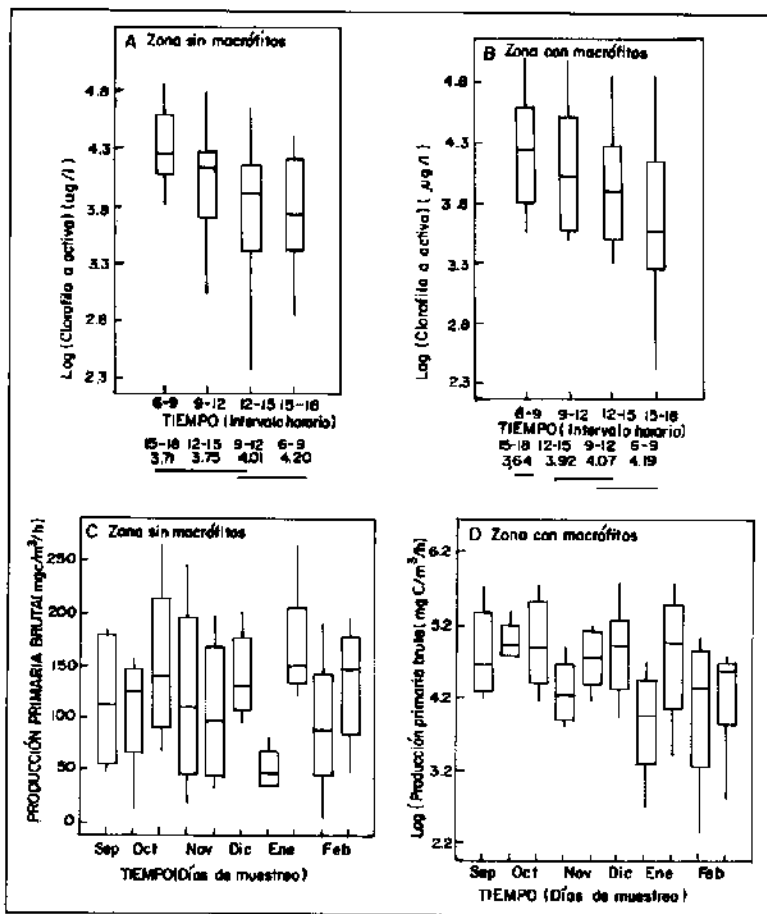


Figura 2. Laguna Francisco José de Caldas, Jardín Botánico, Medellín. Variación de la clorofila *a* activa entre horas (A y B) y de la producción primaria bruta entre días de muestreo (C y D) en las zonas con y sin macrófitas

calina baja y un alto consumo diurno del CO₂ libre por la comunidad fitoplanctónica presente.

Igual que en esta investigación, otros estudios registran las mayores tasas fotosintéticas en las horas de la mañana con una posterior reducción al medio día y algunas veces recuperación en la tarde. Aunque la producción y la curva de insolación diaria mostraron igual tendencia en los dos sitios estudiados, es menester recalcar que no siempre concuerdan (Fee, 1981; Wetzel, 1981).

La menor variabilidad de los valores de producción en la zona sin macrófitas está relacionada posiblemente con el comportamiento de la luz, puesto que ésta se distribuye mejor al no estar presentes dichas plantas. La comparación de los valores de produc-

ción hallados en la laguna estudiada con los hallados para otros cuerpos de agua similares en Colombia (tabla 3) evidenció que los encontrados no son altos, lo cual corrobora lo planteado anteriormente para los cuerpos de agua de alcalinidad baja. Por comparación con los datos de los embalses La Regadera y Chisacá, que según Gaviria (1991) son eutróficos, la laguna Francisco José de Caldas también lo es.

El patrón de variación mostrado por la clorofila se relacionó con el aumento de la irradiación subacuática, la cual es utilizada eficazmente por esta molécula en las horas matutinas hasta llegar al punto de inhibición (9:00/12:00 horas), ocasionado por el exceso de luz, presentándose lo que Morris (1980) denomina "depresión de la tarde". Los valores de

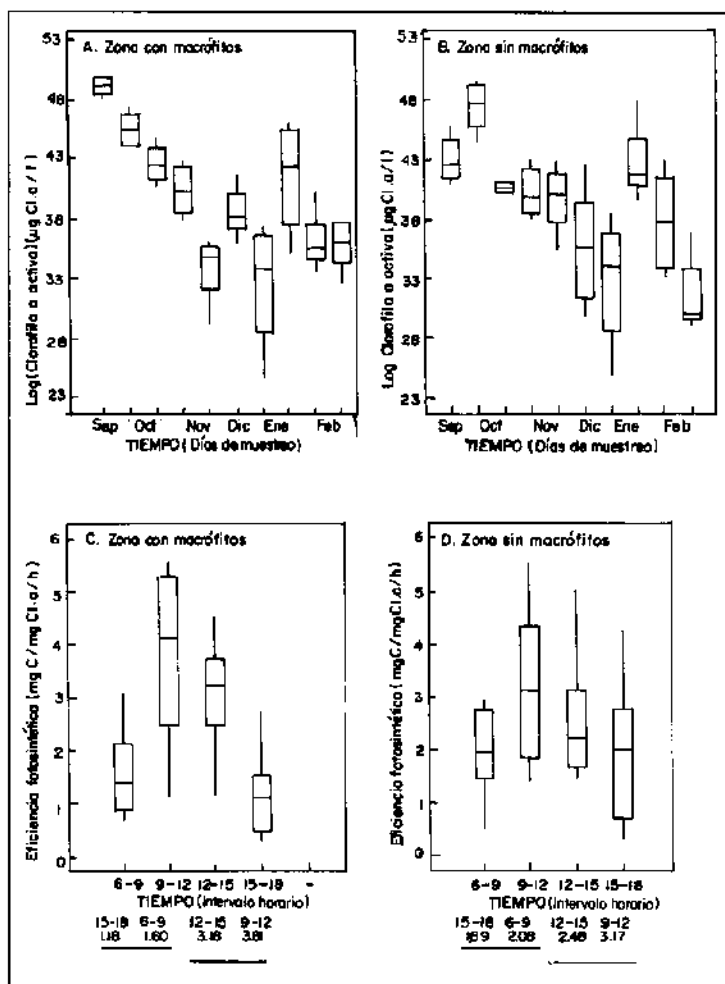


Figura 3. Laguna Francisco José de Caldas, Jardín Botánico, Medellín. Variación de la clorofila *a* entre días de muestreo (A y B) y cambios horarios de la eficiencia fotosintética en cada zona (C y D)

clorofila comúnmente encontrados en aguas dulces varían en un rango de 1-20 $\mu\text{g/l}$, y aquellos cuerpos de agua con concentraciones mayores de 10 $\mu\text{g/l}$ son considerados eutróficos (Vollenweider, 1969), por lo que la laguna Francisco José de Caldas es clasificada como tal (media = $59.6 \pm 7.0 \mu\text{g/l}$, $n = 80$). En este tipo de ambientes la penetración de luz es baja. Como consecuencia, la comunidad fitoplanctónica incrementa la concentración de clorofila *a* para poder captar la poca luz que penetra. Aunque no se tienen valores de referencia, podría entonces decirse que la eficiencia de la comunidad fitoplanctónica en la captación de energía fue baja. Según Cole

(1983), en valores de clorofila superiores a 70 $\mu\text{g/l}$ la mayoría de la radiación incidente es absorbida en el primer metro de agua, limitando entonces la capacidad fotosintética de la comunidad.

En general, la eficiencia fotosintética o razón P/B aumenta a lo largo del día para después disminuir. Parece que dicho cociente está sometido a un ritmo diario: en la mañana es mayor, con cierta depresión al medio día y un mínimo en la noche (Ginés, 1967). El patrón horario observado en esta investigación se comportó en forma similar al ya citado para la producción primaria y la irradiación subacuática.

Tabla 2. Laguna Francisco José de Caldas, Jardín Botánico, Medellín. Resultados del modelo de regresión lineal simple para las relaciones entre la producción primaria bruta-variables ambientales, eficiencia fotosintética-producción primaria y eficiencia fotosintética-clorofila *a* activa en cada zona

Zona	Var. dependiente	Var. independiente	F	α	R
Zona con macrófitas	PPB	PH	3.85	0.0570 ns	- 0.30
		Temperatura del agua	0.01	0.9136 ns	- 0.01
		Log(Io')	31.26	0.0000***	0.67
		Log(cl <i>a</i>)	4.41	0.0428*	0.32
	EF	PPB	16.19	0.0002***	0.55
		clorofila <i>a</i>	18.23	0.0001***	- 0.57
Zona sin macrófitas	Log(PPB)	PH	1.63	0.2098 ns	- 0.20
		Temperatura del agua	1.28	0.2649 ns	- 0.18
		Log(Io')	21.51	0.0004***	0.32
		Log(cl <i>a</i>)	4.28	0.0415*	0.31
	EF	PPB	28.73	0.0000***	0.66
		clorofila <i>a</i>	6.00	0.0190*	- 0.37

PPB = producción primaria bruta; EF = eficiencia fotosintética; cl *a* = clorofila *a* activa; Io' = radiación subacuática; ns = no significativo con un valor $\alpha > 0.05$; *** = significativo con un valor $\alpha < 0.001$; * = significativo con un valor $\alpha < 0.05$; R = coeficiente de correlación de Pearson.

Tabla 3. Algunos valores de producción primaria bruta en ecosistemas acuáticos colombianos

Sistema	Valor de PPB	Fuente
Laguna del Parque Norte	419.8 mgC/m ³ /h	Ramírez (1991), datos sin publicar
Laguna Los Tunjos	10.0 mgC/m ³ /h	Gaviria (1991)
Embalse Chisacá	90.0 mgC/m ³ /h	Gaviria (1991)
Embalse La Regadera	112.0 mgC/m ³ /h	Gaviria (1991)
Laguna del Parque Norte	359.8 mgC/m ³ /h	Alcaraz (2000)
Esta investigación	119.3 mgC/m ³ /h	

De las variables correlacionadas con la tasa de fotosíntesis bruta la irradiación subacuática disponible explicó un porcentaje mayor de variación de la producción que la clorofila *a* activa. Sin embargo, dados los valores bajos del coeficiente de determinación, debe considerarse que es un conjunto de variables el que determina la velocidad de la fijación del carbono, de los cuales sólo fueron evaluadas unas pocas en esta investigación.

REFERENCIAS

Alcaraz H. 2000. Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en una laguna eutrófica tropical: laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Antioquia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Álvaro Cogollo y al personal del Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe, a Omaira Sierra, y a las directivas del Departamento de Biología de la Universidad de Antioquia por permitir usar las instalaciones del Laboratorio de Limnología.

Cole G. 1983. *Textbook of limnology*. 3ª ed. The C.V. Mosby Co, Toronto.

Esteves FA. 1998. *Fundamentos de limnología*. 2ª ed. Interciência, Rio de Janeiro.

- Fee E. 1981. Importancia de la productividad primaria y métodos confiables para su medición. Reunión sobre ecología e proteção de aguas continentais. São Carlos-SP.
- Gaarder T, Gran H. 1927. Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. *Rapp Proc Verb, Cons Internat Explor Mer* 42:1-48.
- Gaviria S. 1991. Monitoreo de embalses del sistema de acueducto de Bogotá. *Rev Acodal* 147:29-47.
- Ginés H. 1967. *Ecología marina*. Talleres Gráficos Iberoamericanos, Barcelona.
- Lewis Jr W. 1983. Tropical limnology. *Ann Rev Ecol Syst* 18:159-184.
- Lorenzen C. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol Oceanogr* 12:343-346.
- Margalef R. 1974. *Ecología*. Omega, Barcelona.
- Margalef R. 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona.
- Morris I. (ed.). 1980. *The physiological ecology of phytoplankton*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Naundorf G. 1990. Caracterización de la comunidad fitoplanctónica y determinación de la productividad primaria del embalse "La Salvajina" y su área de influencia. *Rev Asoc Col Cien Biol* 4:154-163.
- Payne I. 1986. *The ecology of tropical lakes and rivers*. Wiley, New York.
- Ramírez JJ. 1991. Estudio limnológico de la laguna del Parque Norte. Proyecto de investigación aprobado por el Comité de Investigaciones de la Universidad de Antioquia.
- Reynolds CS. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sartory DP, Grobbelaar JU. 1984. Extraction of chlorophyll *a* from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114:177-187.
- Vollenweider RA. 1969. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Wetzel RG. 1981. *Limnología*. Omega, Barcelona.
- Wetzel RG, Likens GE. 1991. *Limnological analyses*. 2ª ed. Springer-Verlag, New York.