

CAMBIOS DIURNOS DE TEMPERATURA Y VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN LA LAGUNA DEL PARQUE NORTE, COLOMBIA

JOHN JAIRO RAMÍREZ R.*; ABEL DÍAZ C.**

*Departamento de Biología, Universidad de Antioquia.

**Departamento de Matemáticas, Universidad de Antioquia.
Apartado aéreo 1226. - Medellín, Colombia.

RESUMO: Trocas diurnos de temperatura e variação física e química em duas épocas do ano na Lagoa Parque Norte, Colômbia. Efetuaram-se quatro amostragens nictemerais na Lagoa do Parque Norte, (6° 17' N, 75° 33.4' W), Medellín, Colômbia: duas na época seca, uma na chuva e outra num período de transição. A temperatura do ar mostrou uma pequena variação sazonal (CV = 9.4%) e a pluviosidade foi mais irregular (CV = 58.9%) que corresponde ao comportamento sazonal destas duas variáveis climáticas na zona tropical. Os maiores valores de transparência de Secchi foram obtidos na época seca. As variações de CO₂, pH, alcalinidade e condutividade não foram significativas entre a superfície e o fundo por causa da instabilidade da coluna de água que não permite a formação de uma estratificação química definida. A estratificação térmica mostrou um ciclo definido de 24 horas, tanto no verão quanto no inverno, assemelhando-se ao apresentado em outros ecossistemas similares.
PALAVRAS CHAVE: Variação nictemeral, limnologia tropical, lagoas, variações sazonais.

ABSTRACT: Diurnal changes of temperature and physico-chemical variables in two epochs of the year in the Parque Norte Lagoon, Colombia. Four diurnal samplings were carried out in El Parque Norte Lagoon (6° 17' N, 75° 33.4' W), Medellín, Colombia: two of them during the dry season, another in the rainy season and the other in a transitional period. Air temperature showed little seasonality variation (CV = 9.4%) while pluviosity was found to be more irregular (CV = 58.9%). These results are in accordance with the seasonal behaviour of these two variables in the tropical zone. The highest values of transparency were found during the dry season. Variations in surface and bottom for CO₂, pH, alkalinity and conductivity were not statistically meaningful, which reflects the instability of the water column. This fact doesn't allow the formation of a defined chemical stratification. Stratification period showed a twenty-four-hour-defined cycle in the dry and rainy season. This fact is in agreement with it has happened in other similar tropical ecosystems.

KEY WORDS: Nictemeral variation, tropical limnology, lagoons, seasonal variations.

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de variaciones estacionales reducidas de temperatura y radiación solar es un hecho bien comprobado en la zona tropical. Este hecho contrasta con el dominio que ejercen los cambios estacionales en la zona templada, donde la presencia de estaciones climáticas

bien definidas promueve variaciones físico-químicas y biológicas que dan origen a eventos cíclicos. Esta estacionalidad ofrece condiciones para el desarrollo de poblaciones planctónicas que se suceden a lo largo del año según sea su grado de adaptación a los cambios en la estructura físicoquímica del agua. (King, 1972).

Para la región tropical esta estacionalidad es diferente y menos pronunciada, pues las estaciones son caracterizados por los regímenes de lluvia y sequía (Burgis, 1969; Hardy *et al.*, 1984). La homogeneidad estacional relativa en la mayoría de las características climáticas tropicales permite suponer que los estudios que aborden las variaciones espacio-temporales en períodos cortos de tiempo son de vital importancia, pues permitirán identificar el comportamiento específico de este tipo de aguas, el cual sería subestimado si se efectuaran sólo análisis estacionales (Barbosa *et al.*, 1988). Para esta región, los estudios efectuados en ecosistemas de poca profundidad han mostrado que los ciclos diarios son tan importantes como los ciclos estacionales en la regulación y periodicidad de las tasas de producción y descomposición. Igualmente, las fluctuaciones diurnas influyen patrones de heterogeneidad espacial, que producen gradientes de densidad, los cuales pueden interferir con las tasas de hundimiento del fitoplancton y la distribución de los nutrientes y el zooplancton en la columna de agua (Talling, 1965; 1969; Ganf & Viner, 1973; Melack & Kilham, 1974; Ganf & Horne, 1975; Gavilán, 1990). Como consecuencia, los ciclos limnológicos pueden fluctuar grandemente en períodos cortos, lo cual implica que un aumento en la frecuencia de las colectas y en el intervalo de las mismas en esta región es necesario, con el fin de detectar los rápidos patrones de variación en la estructura de las comunidades planctónicas entre las épocas de lluvia y estiaje (Hart, 1981). Dicha variación dependerá de la posición latitudinal y altitudinal del cuerpo de agua, al igual que de sus características morfométricas específicas.

Las informaciones más recientes, sostienen que la gran mayoría de lagos tropicales, aún aquellos cercanos al ecuador geográfico, muestran una estacionalidad predecible en lo que se refiere a la mezcla y la estratificación, aunque la variación no estacional es probablemente más significativa que en las latitudes templadas (Talling, 1969; Lewis, 1973). Los datos que sostienen el concepto de estacionalidad limnológica en los trópicos, consisten principalmente de registros a corto plazo. Los registros a largo plazo para lagos tropicales individuales se requieren para producir una comprensión más definida del grado de variación a ser esperado entre años (Lewis, 1984).

El presente artículo describe el comportamiento diario de la temperatura del aire, la temperatura del agua y la resistencia termal relativa en dos épocas del año: lluvia y sequía en la Laguna del Parque Norte. Establece además los cambios diarios de conductividad, pH, dióxido de carbono, oxígeno disuelto y alcalinidad en superficie y fondo durante el mismo período de tiempo y señala los cambios entre las épocas de muestreo para las variables mencionadas.

Las hipótesis de trabajo hacen referencia a la no variación de las características propuestas ni con la profundidad ni con las horas y a la no existencia de variaciones significativas entre las épocas de muestreo para las características estudiadas.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La laguna del Parque Norte (6° 17' N, 75° 33.4' W) es una depresión de poca profundidad ($Z_{\text{máx}} = 2.10 \text{ m}$, $\bar{Z} = 1.61 \text{ m}$) que cubre un área superficial de 40.8 m² al norte de Medellín a una altura de 1480 m en un bh-PM (fig. 1). La vegetación enraizada y las macrófitas acuáticas

están prácticamente ausentes. El fitoplancton presente consiste principalmente de cianofíceas (*Microcystis aeruginosa*, *Anabaenopsis* spp, *Oscillatoria* spp y *Aphanizomenon aphanizomenoides*, entre otras) y clorofíceas (*Oocystis lacustris*, *Scenedesmus* spp, *Tetraedron* spp y *Pediastrum tetras* como más comunes). Presenta una sola especie de dinoflagelado (*Peridinium inconspicuum*) y pocas diatomeas (*Navicula* sp y *Nitzschia* sp). El zooplancton está conformado principalmente por *Brachionus plicatilis*, *Thermocyclops* sp y *Arctodiaptomus* sp. Los sedimentos son arcillosos y ricos en materia orgánica. Es un ecosistema de carácter polimfético cálido, en donde el viento sopla en el sentido norte-sur y tiene gran influencia en el patrón de circulación. Otros datos sobre esta laguna pueden hallarse en Ramírez (1987; 1993) y Ramírez & Díaz (1993).

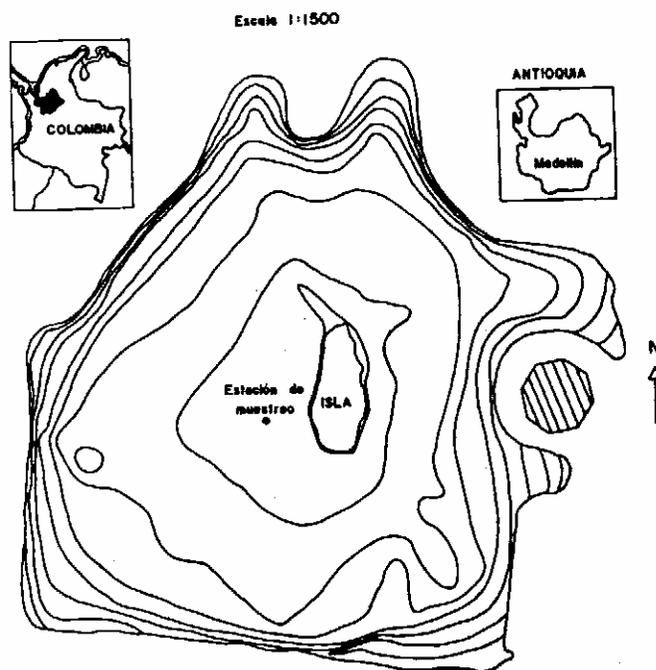


Figura 1 - Mapa batimétrico de la Laguna del Parque Norte y localización de la estación de muestreo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio forma parte de uno más amplio llevado a cabo entre abril de 1991 y enero de 1992 en una sola estación de colecta de aproximadamente 1.60 m de profundidad. En la misma se efectuaron un total de 19 muestreos de periodicidad quincenal de las variables temperatura del aire y del agua, precipitación pluvial, transparencia, conductividad eléctrica, turbiedad, oxígeno disuelto, CO_2 , pH, alcalinidad total, demandas bioquímica y química de oxígeno, durezas total, de calcio y magnesio, cloruros, N^-NH_4^+ , N^-NO_3^- , $\text{P}^-\text{PO}_4^{3-}$, SO_4^{2-} , fitoplancton, zooplancton, productividad primaria y clorofila *a*. Los resultados de algunas de las variables estudiadas en dicha investigación fueron utilizados en este artículo (precipitación pluvial, turbiedad y clorofila *a*) y por ello, sus métodos de estudio son también descritos.

En la estación mencionada fueron realizados cuatro muestreos nictemerales: dos en verano (abril 30 y julio 19), uno en invierno (octubre 18) y otro en una época de transición (diciembre 13) de 1991.

La temperatura en la columna de agua se tomó cada 0.25 m con un termómetro termistor digital. La temperatura ambiente se estimó con un termómetro de escala centígrada y precisión de un grado. Los datos de pluviosidad fueron suministrados por la Sección de Hidrometría de las Empresas Públicas de Medellín (EPPMM). Los valores mostrados en la Fig. 2 para esta variable representan promedios mensuales.

Las muestras de agua de superficie y fondo para conductividad, pH, alcalinidad y oxígeno disuelto fueron extraídas con una botella Kemmerer de un litro de capacidad.

La transparencia se estimó con un disco Secchi de 0.20 m de diámetro y bandas blancas y negras alternadas. La turbiedad fue medida en un turbidímetro Metrom.

El oxígeno disuelto fue medido por el método de Winkler.

A partir de la temperatura del agua, la alcalinidad total y el pH se estimó el dióxido de carbono según la metodología citada en Cole (1983).

La alcalinidad total en mg.l^{-1} de CaCO_3 se midió por el método potenciométrico y con ácido clorhídrico 0.02N.

Con un pH-metro Schött Gerate CG-818 y un conductímetro Cole Parmer 1481-50 se midieron el pH y la conductividad respectivamente.

La resistencia termal relativa se estimó según lo propuesto en Cole (1983).

La clorofila *a* fue medida usando como solvente extractor una mezcla de metanol-acetona (1:1 v/v) y la ecuación monocromática de Talling & Driver (1963).

Para verificar las hipótesis propuestas se utilizó un análisis de varianza de dos vías, de bloques aleatorios, modelo I. Las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey. La asociación entre variables se detectó con análisis de regresión lineal simple y su significancia con la prueba t de Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fig. 2 muestra la variación temporal durante 10 meses para la temperatura del aire, con un valor máximo de 32°C (27-I-92) y un mínimo de 20.7°C (29-XI-91). A pesar de haberse obtenido un coeficiente de variación pequeño, la amplitud térmica hallada fue relativamente grande (11.3°C), lo cual muestra que la variación estacional fue considerable. En la misma figu-

ra se observan dos picos de lluvia típicos de la formación vegetal bh-PM, donde se encuentra Medellín: uno en mayo, con un valor medio de 76.6 mm y otro en octubre, el cual presentó el mayor valor medio (120.1 mm). La época de estiaje se caracteriza por ser caliente y seca y la de lluvias por presentar una disminución no acentuada de la temperatura y ser húmeda. Aunque la amplitud pluvial fue pequeña (33.3 mm), la variación entre meses fue alta (CV = 58.9 %).

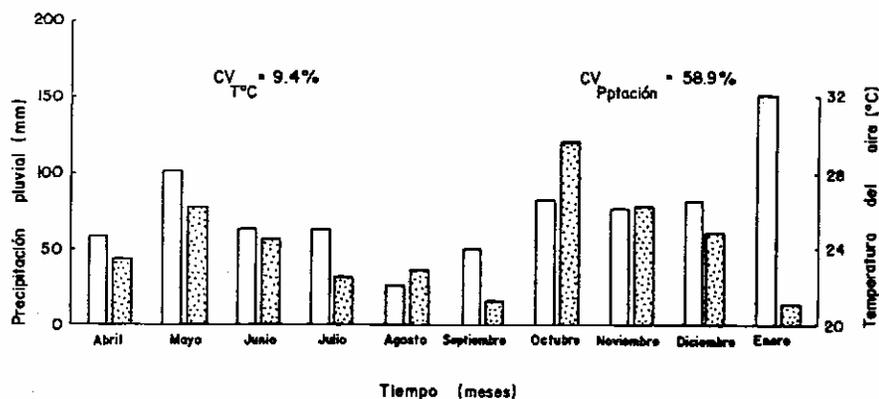


Figura 2 – Variación temporal de la temperatura del aire (—) y la precipitación pluvial (□).

La variación nictemeral de la temperatura del aire se muestra para las fechas de muestreo en la fig. 3. Se observa que durante las dos primeras colectas la temperatura presentó valores mínimos de 20°C (correspondientes a las últimas horas del período nocturno) y un pico oscilante entre 25 y 30°C (correspondiente a las horas de la tarde). Los dos últimos muestreos presentaron variaciones bastante próximas, con valores mínimos de 15 y 19.5°C y máximos de 23 y 26.5°C respectivamente. Nuevamente, vale la pena destacar que la amplitud térmica obtenida fue relativamente alta, aunque los valores de dispersión alrededor de la media, mostrados por el coeficiente de variación, fueron bajos (tab. I).

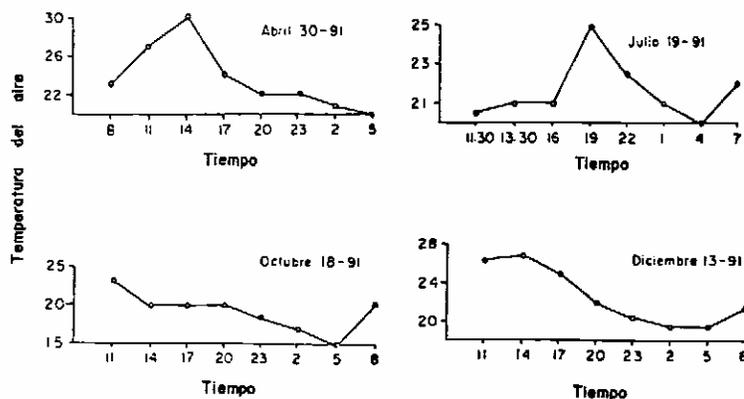


Figura 3 – Variación nictemeral de la temperatura del aire en las épocas de muestreo.

Aunque varios autores, entre ellos Talling (1969), Roldán (1982) y González (1988) destacan la constancia estacional y diurna de la temperatura y la radiación solar en los trópicos y por tanto su poca incidencia en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, debe tenerse en cuenta que en esta zona pequeñas variaciones de temperatura afectan fuertemente el comportamiento de la densidad y la resistencia termal relativa a lo largo del año, incidiendo con ello en los patrones de circulación y en la resuspensión de materiales del fondo que afectan la penetración de luz y tornan disponibles en toda la columna de agua materiales orgánicos e inorgánicos. Además, las temperaturas más elevadas prevalecientes en regiones tropicales tienen efectos rápidos en la dinámica sucesional de las poblaciones planctónicas, provocando disminuciones en el tiempo generacional e incrementos en el crecimiento poblacional. Payne (1986), González (1988) y Barbosa & Tundisi (1989) resaltan además la incidencia de los períodos de lluvia y sequía en el comportamiento de los ecosistemas lacustres tropicales, pues están altamente asociadas con cambios en el patrón de vientos. Dicho patrón en los ecosistemas lacustres poco profundos como el presente, afecta también la turbulencia y los cambios diurnos en la estructura térmica y la distribución de nutrientes.

La variación de la transparencia del agua durante las horas de luz en cada nictemeral mostró valores mínimos de 0.23 m a las 11:00 horas del día 18 de octubre y máximos de 0.43 m a las 8 horas del día 30 de abril (fig. 4). Los menores valores correspondieron al muestreo de invierno, debido a la poca radiación solar incidente y a la mezcla producida por lluvias persistentes que ocurrieron el día anterior, resuspendiendo materiales que disminuyeron la calidad óptica del agua. Como es de esperarse los mayores valores de transparencia correspondieron a la época de sequía. En esta misma investigación, se observó que la transparencia del lago estuvo inversamente correlacionada con la biomasa de fitoplancton medida como clorofila *a* ($r = -0.64$, $p = 0.0032$, $n = 19$) y con la turbiedad ($r = -0.81$, $p = 0.00002$, $n = 19$), lo cual indica que el fitoplancton y los sólidos suspendidos (de los cuales éste forma parte) son los principales componentes en la atenuación vertical de la luz.

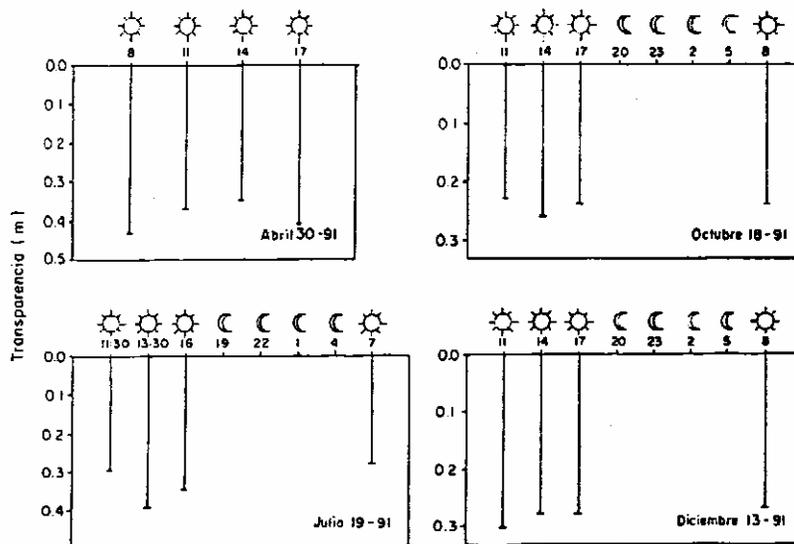


Figura 4 - Variación de la transparencia en las épocas de muestreo

En la tab. I se observa que los coeficientes de variación de la conductividad eléctrica, la alcalinidad y el pH tanto en superficie como en fondo fueron bajos, lo cual muestra la poca variación de estas características entre horas para cada nictemeral. Estos cambios fueron considerados no significativos y aquellas pocas variaciones que aparecen como tales en la Tab. II, principalmente para pH y CO_2 , tienen su explicación en el bajo valor de la varianza residual más bien que en diferencias reales entre horas para cada nictemeral. Vale la pena resaltar que en esta laguna los valores medios de estas características son bastante altos, como corresponde a un sistema eutroficado (Ramírez, 1987; 1994; Ramírez & Dfáz, 1993). Los valores altos de conductividad están muy relacionados con los de alcalinidad ($r = 0.60$, $p = 0.00008$, $n = 19$), mostrando con ello que uno de los principales iones responsables de los valores de conductividad es el bicarbonato (HCO_3^-). La poca variación diurna de los valores de pH en superficie y fondo muestra la capacidad tamponadora del agua de esta laguna, dada por los valores altos de la alcalinidad. En la misma Tabla se observa que los valores medios de CO_2 son bastante bajos como corresponde a un ecosistema con tasas fotosintéticas altas, alta producción de oxígeno y pH alto.

Con respecto al oxígeno, en la tab. I puede verse que presentó valores medios relativamente bajos en el nictemeral del 18 de octubre, correspondiente a invierno, lo cual permite pensar en la luz como factor limitante en este ecosistema (Ramírez & Dfáz, 1993). En la tab. II se observa además que en esta fecha hubo diferencias significativas para esta variable entre profundidades, a pesar de las bajas diferencias de temperatura halladas en la columna de agua. Dichas diferencias fueron debidas principalmente a la fotosíntesis disminuída de

Tabla I - Valores de la media y el coeficiente de variación entre horas para las características estudiadas.

Variable	Abril 30		Julio 19		Octubre 18		Diciembre 13		
	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	
Temperatura del aire(°C)		14.1	23.60	7.2	21.50	11.7	19.20	12.6	22.70
Transparancia (m)		7.7	0.39	12.1	0.33	4.2	0.24	3.6	0.28
Conductividad	S	1.6	2157.5	2.8	2000.8	3.3	1957.5	1.1	1913.8
	F	0.0	2150.0	0.9	1991.3	1.0	1967.5	0.6	1923.8
pH	S	1.3	9.49	0.95	9.06	1.9	8.29	1.0	8.84
	F	1.2	9.45	0.98	9.06	0.6	8.18	0.7	8.81
$\text{CO}_2(\text{mg.l}^{-1})$	S	26.5	0.18	36.5	0.43	37.1	2.31	20.4	0.67
	F	28.5	0.21	37.2	0.41	11.5	2.92	20.1	0.67
Alcalinidad total (mg.l^{-1})	S	4.1	299.6	13.8	244.5	2.9	228.5	2.5	231.8
	F	3.5	295.0	12.6	247.8	3.1	229.0	4.4	230.5
Temperatura del agua (°C)	0.0	4.8	26.5	4.4	25.7	2.8	24.0	3.4	24.2
	0.25	3.8	26.3	4.1	25.6	1.9	23.8	3.2	24.2
	0.50	1.9	25.9	3.7	25.2	1.4	23.6	2.3	24.1
	0.75	2.4	25.7	3.1	24.9	1.3	23.5	1.7	23.9
	1.00	2.2	25.4	1.7	24.2	0.9	23.4	1.2	23.7
	1.25	1.8	25.1	2.0	23.9	0.9	23.4	1.6	23.5
	1.50	2.2	25.0	1.7	23.6	0.8	23.4	2.0	23.4
Oxígeno disuelto (mg.l^{-1})	S	7.7	11.4	19.4	10.48	59.8	3.60	30.3	7.70
	F	11.1	10.6	19.1	9.21	4.91	1.77	30.0	6.95

CV : Coeficiente de variación

Tabla II - Resultados del Análisis de Varianza entre horas y profundidades para las características analizadas.

Variable	Abril 30		Julio 19		Octubre 18		Diciembre 13		
	F	P	F	P	F	P	F	P	
Temperatura del agua (°C)	Profundidad	9.53	0.0000***	12.42	0.0000***	6.16	0.0001***	3.45	0.0074***
	Horas	6.03	0.0001***	4.57	0.0007***	10.09	0.0000***	3.20	0.0082**
Conductividad eléctrica (µs.cm ⁻¹)	Profundidades	0.39	0.56n.s	0.67	0.45n.s	0.00	1.00n.s	1.65	0.24n.s
	Horas	1.00	0.50n.s	2.60	0.12n.s	0.85	0.58n.s	1.22	0.40n.s
pH	Profundidades	2.56	0.15n.s	0.009	0.93n.s	4.07	0.08n.s	1.54	0.25n.s
	Horas	11.84	0.002**	1.40	0.34n.s	1.05	0.48n.s	3.45	0.06n.s
	Varianza residual		0.022		0.006	0.013		0.003	
CO ₂ (mg.l ⁻¹)	Profundidades	2.94	0.13n.s	0.10	0.76n.s	2.82	0.14n.s	0.025	0.88n.s
	Horas	2.76	0.10n.s	2.15	0.17n.s	0.60	0.74n.s	8.37	0.06n.s
	Varianza residual		0.0016		0.012	0.528		0.004	
Alcalinidad total (mg.l ⁻¹ CaCO ₃)	Profundidades	0.54	0.49n.s	0.10	0.77n.s	0.04	0.85n.s	0.15	0.71n.s
	Horas	0.66	0.70n.s	3.86	0.05n.s	2.87	0.94n.s	2.30	0.15n.s
Oxígeno disuelto (mg.l ⁻¹)	Profundidades	22.62	0.002**	5.46	0.05n.s	9.55	0.017*	2.13	0.19n.s
	Horas	17.58	0.0000***	5.14	0.02*	2.84	0.09n.s	13.19	0.0015**
	Varianza residual		0.116		1.181	1.40		0.672	

* = significativo (p < 0.05)

*** = altamente significativo (p < 0.001)

** = altamente significativo (p < 0.01)

n.s = no significativo (p < 0.05)

este día aunque para esta fecha el trabajo del viento fue relativamente fuerte y la RTR fue baja (fig. 8). Lo anterior permite pensar que la principal fuente de oxígeno en este ecosistema es la fotosíntesis y no la difusión del mismo por el viento. Igualmente, en esta fecha no hubo diferencias significativas de oxígeno entre horas, lo cual corrobora lo anteriormente propuesto. Para las demás fechas, los mayores valores del coeficiente de variación del oxígeno disuelto entre horas estuvieron relacionados con la presencia de fluctuaciones en el intercambio gaseoso a través de la mezcla ocasionada por el viento y en los niveles de radiación que incidieron en la producción del mismo por fotosíntesis.

La variación de las medias de oxígeno entre horas para abril 30, julio 19 y diciembre 13 fue considerada estadísticamente significativa (tab. II). En la fig. 5, se observa que para el 30 de abril las medias de oxígeno disuelto diferentes de las demás fueron aquellas de las 14:00 y 17:00 horas cuando la Resistencia Termal Relativa (RTR) fue alta en la columna de agua y hubo tendencia a la formación de termoclinos múltiples (fig. 6). Para el 19 de julio las medias

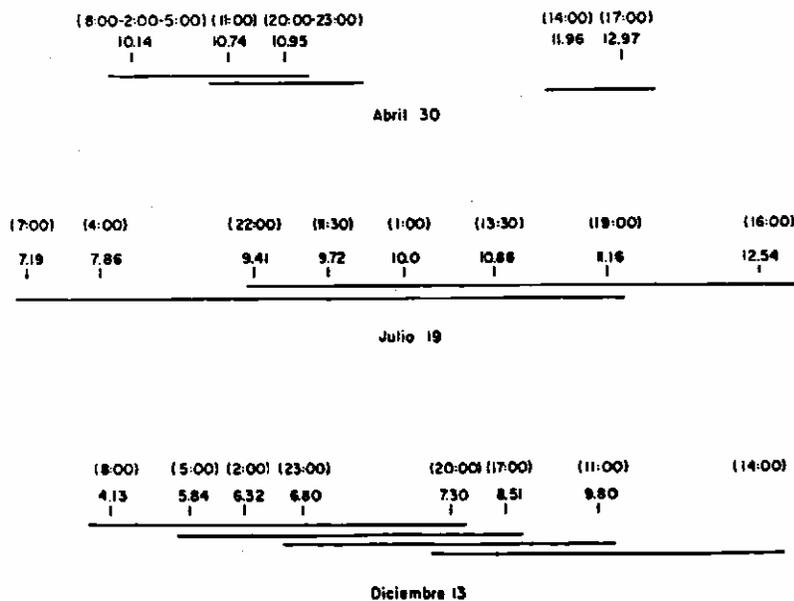


Figura 5 - Comparación de medias de oxígeno disuelto entre horas para los nictemerales del 30 de abril, 19 de julio y 13 de diciembre de 1991. Las líneas unen aquellas medias no halladas significativamente diferentes.

de oxígeno distintas correspondieron a las 16:00 horas con respecto a las 4:00 y 7:00 horas. Estas diferencias fueron debidas a que en las dos últimas horas citadas la columna de agua se mostró isotérmica y como consecuencia, el oxígeno se distribuyó uniformemente (fig. 7). Para el 13 de diciembre, las diferencias significativas se presentaron entre las horas en que hubo formación de termoclinos y alta RTR (11:00, 14:00 y 17:00) y aquellas en que la columna de agua fue isotérmica (23:00, 2:00, 5:00 y 8:00 horas) (figs. 5 y 9). El mayor número de

horas isotérmicas en esta fecha es debido al mayor efecto del viento que para esta fecha comienza a incrementar su acción.

En el ecosistema estudiado los valores hallados para la temperatura del agua en el período luminoso estuvieron entre un máximo de 28.5°C en la superficie y un mínimo de 22.7°C a 1.50 m de profundidad. Durante la noche se registró un valor máximo de 26.5°C en la superficie y un valor mínimo de 23.2°C. La máxima diferencia de temperatura entre superficie y fondo fue de 4.2°C a las 13:30 del 19 de julio, correspondiente a la época de verano. Las menores temperaturas se registraron en la época de invierno (octubre 18, tab. I).

En las figs. 6 a 9 se observa que la estratificación térmica siguió un ciclo de 24 horas tanto en verano como en invierno, similar al hallado por Ganf & Horne (1975) en el Lago George (Uganda). Durante las primeras horas matutinas se mostraron en todos los nictemerales gradientes pronunciados de temperatura facilitados por la poca acción del viento y la alta RTR que impedía su acción. Dichos gradientes fueron menores en el invierno. La formación de un termocline bien establecido comenzó hacia las primeras horas del crepúsculo. A partir de este momento, la altura del epilimnio aumentó hacia las 20:00 horas. Lo anterior ocurrió por el aumento en la fuerza del viento que mezcló las capas superiores venciendo la RTR presente para luego llegar a la isoterminia y ocasionar la mezcla completa de la masa de agua. La estratificación durante todo el período de medición estuvo restringida al primer metro y la altura del epilimnio osciló entre 0.89 m en verano y 0.71 m en invierno. Un ciclo similar mostró la RTR. Las diferencias no significativas entre los valores hallados en la superficie y el fondo para conductividad, CO₂, pH y alcalinidad (tab. II) confirman la poca estabilidad de las estratificaciones térmicas presentadas, las cuales no permanecen el tiempo suficiente para promover una estratificación química definida. En este comportamiento incidieron la poca protección del sistema contra el viento y las características morfométricas del mismo que facilitan su acción. Entre estas últimas, vale la pena destacar la baja profundidad media, el fondo relativamente plano (Índice de desarrollo de volumen = 2.29) y la poca profundidad relativa ($Z_r = 0.91$, $\bar{Z}/Z_{\max} = 0.76$) que muestra un área superficial relativamente extensa y expuesta a la acción eólica. Además, la pequeña inclinación media de la laguna (1.06°) facilita aún más esta acción. Según Wetzel (1983), en muchos lagos, la fuerza del enfriamiento es aumentada por la acción del viento y esto puede ser particularmente importante en los lagos ecuatoriales poco profundos donde los cambios en la temperatura pueden ser insuficientes por sí solos para producir mezclas completas.

La variación de temperatura del agua para cada estrato entre horas en cada muestreo fue bastante pequeña (observar valores del coeficiente de variación en la tab. I), lo cual fue ocasionado por la turbulencia generada por el viento que mezcla las diferentes capas de agua y distribuye uniformemente la temperatura, atenuando las posibles diferencias. Esta poca variación de la temperatura del agua entre horas y profundidades fue considerada significativa en todas las épocas, siendo mayor entre horas en el período de lluvias ($F = 10.087$, $p = 0.0000$, tab. II). Puede notarse que los coeficientes de variación para la época de lluvia fueron menores dado el enfriamiento superficial y la tendencia a la isoterminia en la columna de agua.

Las temperaturas de los primeros estratos medidos fueron consideradas distintas de las de fondo (a pesar de la poca profundidad), lo cual se debió a la RTR que impidió la mezcla total durante todo el tiempo (figs. 10 y 11). En las mismas figuras se observa que entre horas, las de la tarde (14:00 a 17:00) fueron consideradas diferentes de las primeras de la mañana, por el ciclo normal de calentamiento y enfriamiento.

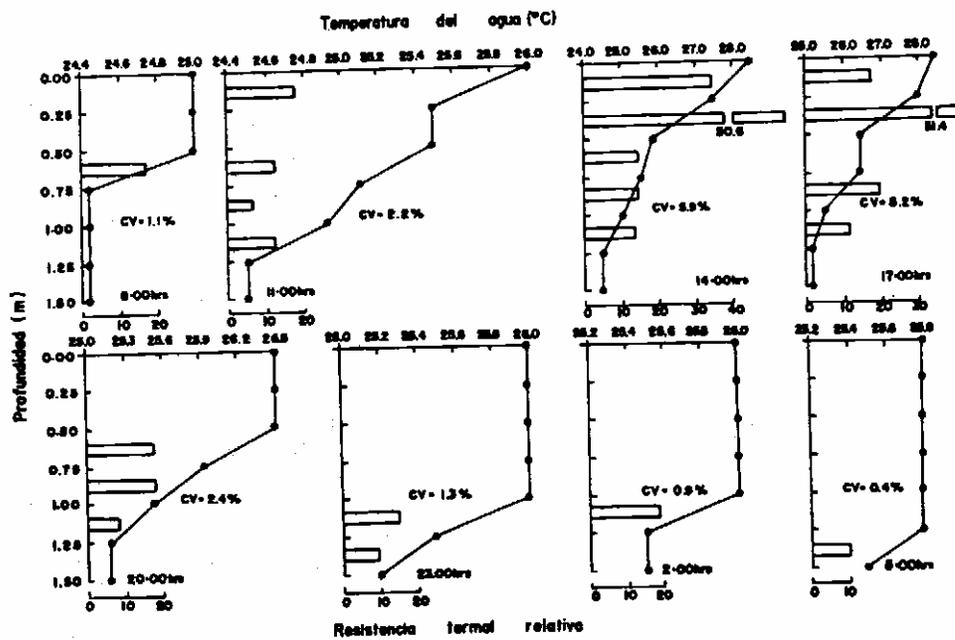


Figura 6 - Variación nictemeral de la temperatura del agua y la Resistencia Termal Relativa el 30 de abril de 1991.

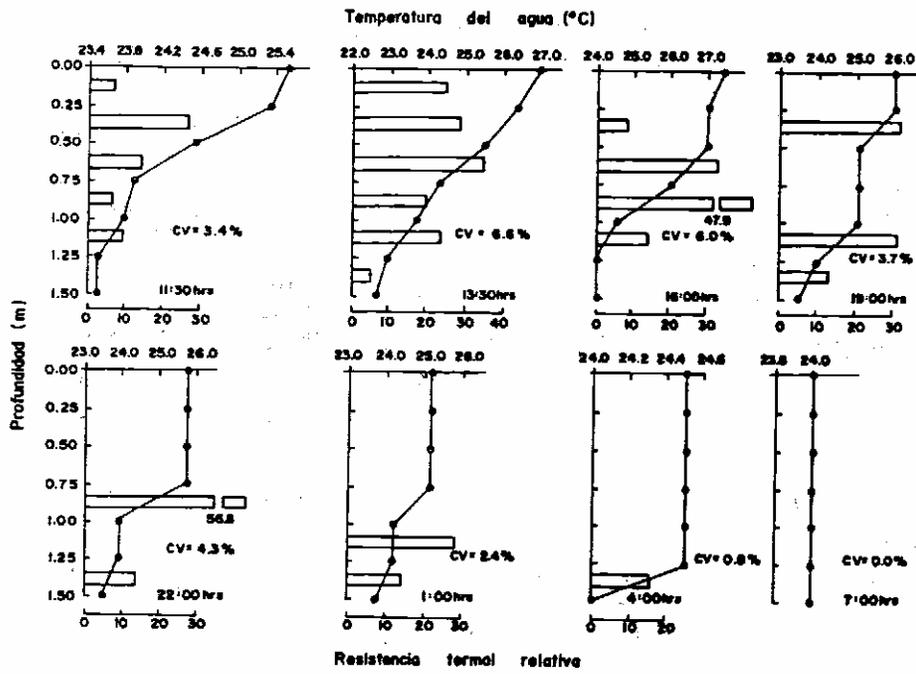


Figura 7 - Variación nictemeral de la temperatura del agua y la Resistencia Termal Relativa el 19 de julio de 1991.

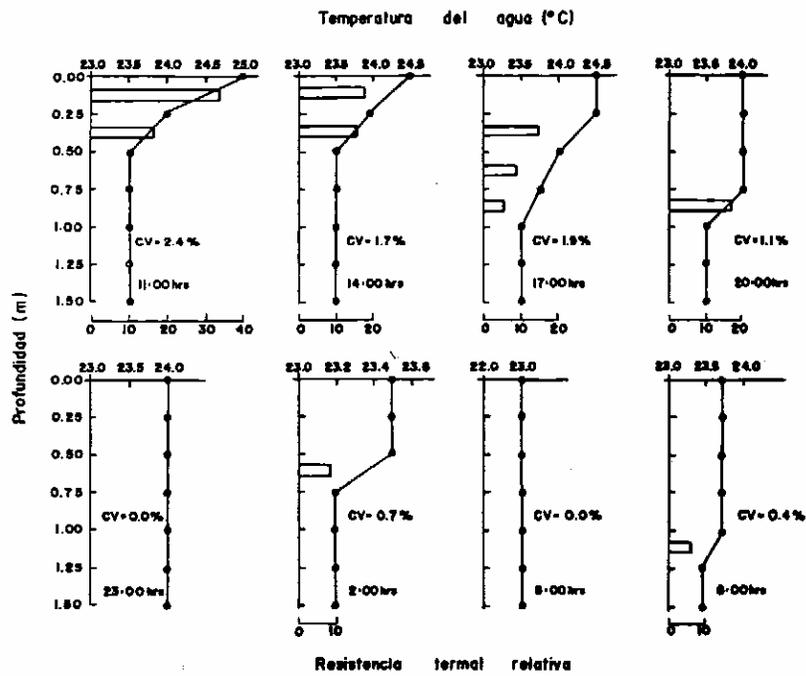


Figura 8 - Variación nictemeral de la temperatura del agua y la Resistencia Termal Relativa el 18 de octubre de 1991.

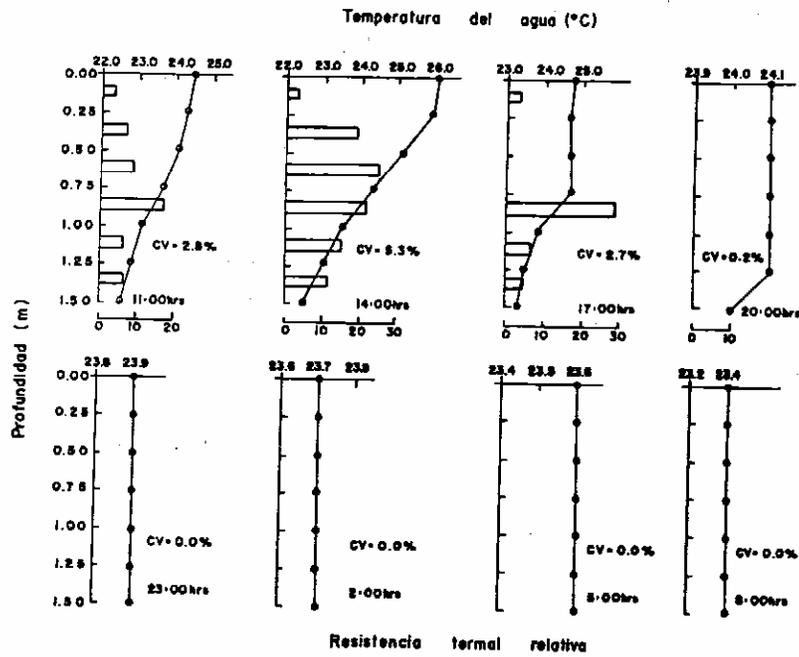


Figura 9 - Variación nictemeral de la temperatura del agua y la Resistencia Termal Relativa el 13 de diciembre de 1991.

Abril 30-91							
A.	(1.50)	(1.25)	(1.00)	(0.75)	(0.50)	(0.25)	(0.00)
	25.04	25.08	25.34	25.68	25.91	26.29	26.79
B.	(8)	(11)	(5)	(23)	(20)	(14)	(2)
	24.7	25.1	25.75	25.81	25.91	25.92	26.11
							(17)
							26.46
Julio 19-91							
A.	(1.50)	(1.25)	(1.00)	(0.75)	(0.50)	(0.25)	(0.00)
	23.64	23.91	24.24	24.86	25.19	25.55	25.66
B.	(7)	(130)	(4)	(1330)	(1)	(19)	(22)
	24.00	24.30	24.43	24.69	24.74	24.93	24.96
							(16)
							25.73

Figura 10 - Comparación de medias de temperatura del agua entre profundidades (A) y entre horas de muestreo (B) para los nictemerales del 30 de abril y el 19 de julio de 1991. Las líneas unen aquellas medias no halladas significativamente diferentes.

Octubre 18-91							
A.	(1.25)	(1.50)	(1.00)	(0.75)	(0.50)	(0.25)	(0.00)
	23.40	23.43	23.51	23.59	23.78	23.96	
B.	(5)	(2)	(23)	(8)	(14)	(11)	(17)
	23.00	23.33	23.50	23.64	23.71	23.79	23.89
Diciembre 13-91							
A.	(1.50)	(1.25)	(1.00)	(0.75)	(0.50)	(0.25)	(0.00)
	23.43	23.53	23.68	23.94	24.09	24.19	24.21
B.	(8)	(5)	(11)	(2)	(23)	(20)	(17)
	23.40	23.59	23.66	23.71	23.90	24.09	24.21
							(14)
							24.36

Figura 11 - Comparación de medias de temperatura entre profundidades (A) y entre horas de muestreo (B) para los nictemerales del 18 de Octubre y 13 de diciembre de 1991. Las líneas unen aquellas medias no halladas significativamente diferentes.

Puede verse que para la época de lluvia más fuerte (octubre 18), los valores de oxígeno disuelto, CO_2 y alcalinidad fueron diferentes de los mostrados en los demás nictemerales (fig. 12). En la Tab. I se observa además que dichos valores, así como los de temperatura y pH disminuyeron en aquella fecha. La conductividad también disminuyó, aunque no presentó el menor valor. Lo anterior evidencia una estrecha relación entre estas variables y la precipitación pluviométrica, lo cual concuerda con lo hallado por Bozelli *et al.* (1992) en la represa municipal de Sao José do Rio Preto (Sao Paulo) y Pinto Cohelo & Giani (1985) en la represa de Paranoá.

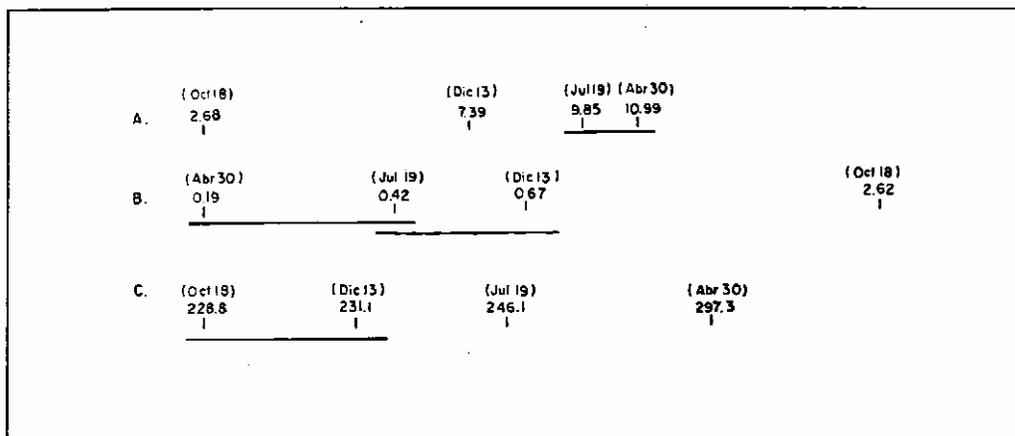


Figura 12 – Comparación de medias de oxígeno disuelto (A), dióxido de carbono (B) y alcalinidad total (C) entre nictemerales. Las líneas unen aquellas medias no consideradas significativamente diferentes.

CONCLUSIONES

— Se rechazó la hipótesis nula de la no variación de temperatura del agua y el oxígeno disuelto entre horas y profundidades de muestreo. Para la conductividad, el pH, la alcalinidad y el CO_2 no se rechazó la hipótesis nula planteada.

— Se evidenció la influencia de la precipitación pluvial en las variaciones de los valores hallados para las características medidas.

— La inestabilidad térmica de la columna de agua fue influenciada principalmente por el viento y el enfriamiento nocturno que provocaron la mezcla de dicha columna. La acción del viento se ve facilitada por la poca protección del sistema contra el mismo, por su morfometría relativamente plana y por su poca profundidad.

— Los períodos de estratificación hallados son el resultado de la influencia del calentamiento solar diario, quien acrecentó la Resistencia Termal Relativa del agua, impidiendo el trabajo del viento para desestabilizar la columna de agua.

— La renovación diaria del sistema en términos de composición iónica y nutrientes está influenciada grandemente por las mezclas diarias, pues este sistema se comporta como una trampa de nutrientes, donde estos circulan internamente.

— La variación diaria en la estructura térmica evita la limitación de nutrientes y disminuye las diferencias de biomasa fitoplanctónica en la columna de agua por las mezclas diarias.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de la investigación "Estudio limnológico de la Laguna del Parque Norte", financiado por el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Exactas y naturales de la Universidad de Antioquia (CIEN) (Proyecto n° IN 36CE). El artículo fue escrito durante una beca-crédito concedida al primer autor por Colciencias para efectuar estudios de doctorado en la Universidad de São Paulo, Brasil.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BARBOSA, F. A. R., TORRES, G. E. & COUTINHO, M. E. (1988). Ciclo anual de temperatura e sua influencia nas variações sazonais de alguns parâmetros físico-químicos e da clorofila e ficofitina *a* na lagoa Carioca - Parque Florestal do Rio Doce, M.G. *Acta Limnol. Brasil.* 2: 129-151.
- _____. & TUNDISI, J. G. (1989). Diel variations in a shallow tropical brazilian lake. I. The influence of temperature variation on the distribution of dissolved oxygen and nutrients. *Archiv. Hydrobiol.* 116(3): 333-349.
- BOZELLI, R. L.; THOMAZ, S. M.; ROLAND, F. & ESTEVES, F. (1992). Variações nictemerais e sazonais de alguns fatores limnológicos na represa municipal de São José do Rio Preto, São Paulo. *Acta Limnol. Brasil.* 4: 53-66.
- BURGIS, M. J. (1969). A preliminary study of the ecology of zooplankton in lake George, Uganda. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 17: 297-302.
- COLE, G. (1983). *A Textbook of Limnology*. Toronto, The C. V. Mosby Co. 401p.
- DUNN, I. G. (1967). Diurnal fluctuations of physico-chemical conditions in a shallow tropical pool. *Limnol. Oceanogr.* 12: 151-154.
- GANF, G. G. (1974). Diurnal mixing and vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *J. Ecol.* 62: 641-659.
- _____. & HORNE, A. J. (1975). Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogen fixation in a shallow equatorial Lake (Lake George, Uganda). *Freshwat. Biol.* 5: 13-19.
- _____. & VINER, A. B. (1973). Ecological stability in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *Proc. R. Soc. Lond. B* 184: 321-346.
- GAVILÁN, R. A. (1990). *Flutuações nictemerais dos fatores ecológicos na represa de Barra Bonita - Medio Tietê - S.P.* São Carlos, UFScar. 154p. (Tese Mestrado).
- GONZÁLEZ DE I., A. (1988). *El plancton de las aguas continentales*. Washington, D.C. Secretaría General de la O.E.A. 125p.
- HARDY, E. R.; ROBERTSON, V. & KOSTE, W. (1984). About the relationship between the zooplankton and fluctuating water level of Lago Camaleão, a central amazonian várzea lake. *Amazoniana.* 9(1): 43-52.
- HART, R. C. (1981). Population dynamics and demography of an stuarine copepod (*Pseudodiaptomus hessel*) in Lake Sibaya, a subtropical freshwater coastal lake. *J. Limnol. Soc. Afr.* 7: 13-23.
- KING, C. E. (1972). Adaptation of rotifers to seasonal variation. *Ecology.* 48: 111-128.
- LEWIS, W. M. J. (1973). The thermal regime of Lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes. *Limnol. Oceanogr.* 18: 200-217.
- _____. (1984). A five-year record of temperature, mixing and stability for a tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Archiv Hydrobiol.* 99(3): 340-346.
- MELACK, J. M. & KILHAM, P. (1974). Photosynthetic rates of phytoplankton in East African alkaline, saline lakes. *Limnol. Oceanogr.* 19: 743-755.
- PAYNE, A. I. (1986). *The ecology of tropical lakes and rivers*. New York, J. Wiley & Sons, Ltd. 301p.
- PINTO COELHO, R. M. & GIANI, A. (1985). Variações sazonais do fitoplâncton e fatores físico-químicos da água no reservatório do Paranoá, D.F. *Ci. Cult.* 37: 2000-2006.

- RAMÍREZ, J. J. (1987). Contribución al conocimiento de las condiciones limnológicas de la Laguna del Parque Norte. *Actual. Biol.* 16(59): 12-30
- _____. (1994). Contribución al conocimiento de la limnología fisicoquímica de superficie y fondo en la Laguna del Parque Norte. *Caldasia*. En prensa.
- _____. & DÍAZ, A. (1993). Caracterización limnológica de la laguna del Parque Norte, Colombia y estructura de su comunidad fitoplanctónica, Colombia. *Hoehnea*. En prensa.
- ROLDÁN, G. (1982). Algunas consideraciones ecológicas acerca de los embalses. *Contaminación ambiental*. 6(10): 13-20.
- TALLING, J. F. (1965). The photosynthetic activity of phytoplankton in East African lakes. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 50:1- 32.
- _____. (1969). The incidence of vertical mixing and some biological and chemical consequences in tropical African lakes *Ver. Int. Ver. Limnol.* 17: 998-1012.
- _____. & DRIVER, D. (1963). Some problems in the estimation of chlorophyll in phytoplankton. *Proceedings Conference of Primary Productivity Measurements, Marine and Freshwater, Hawaii, 1961*. U. S. Atomic Energy Comm. TID-7633, 142-146.
- WETZEL, R. (1983). *Limnology*. 2nd edition. Philadelphia, Saunders College. Publishing. 785p.