

VARIACIONES NICTEMERALES DE ALGUNAS VARIABLES CLIMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS EN UNA LAGUNA SOMERA EN GUATAPÉ (ANTIOQUIA), COLOMBIA

NICTEMERAL VARIATION OF SOME CLIMATIC, PHYSICAL AND CHEMICAL VARIABLES ON SMALL LAKE IN GUATAPÉ (ANTIOQUIA), COLOMBIA

Yimmy Montoya-M.¹

Resumen

Se evaluó la variación nictemeral de algunas variables climáticas, físicas y químicas durante dos días de muestreos separados por seis meses en dos épocas hidrológicas diferentes en una laguna tropical en el municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia, con el fin de verificar que el trópico la magnitud de la variabilidad en el ciclo día-noche es mayor que la temporal. A nivel mensual, la pluviosidad presentó la mayor variación (C. V. = 56,9%) seguida por la temperatura del aire (C. V. = 19,7%) lo cual es común para las zonas tropicales. A través del ciclo día-noche, la mayoría de las variables estudiadas presentaron diferencias significativas excepto el pH, el cual mantuvo una muy baja variación durante todo el tiempo de estudio (C. V. < 5%) con una tendencia levemente ácida, lo cual es muy común en los sistemas acuáticos naturales o sin intervención antrópica y baja productividad. La variación entre horas, permitió mostrar diferencias significativas para algunas variables climáticas y limnológicas tales como: radiación solar, temperatura del aire y del agua, velocidad del viento, humedad relativa, oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, conductividad, alcalinidad y carbono inorgánico disuelto asociadas a la fluctuación de los ciclos de luz-oscuridad para todas las variables evaluadas, excepto para pH. Esta laguna presenta una estratificación térmica definida durante el periodo iluminado del día y una mezcla o tendencia a ésta durante el periodo nocturno, debido que la polimixis es predominante en este sistema acuático, por lo que la variación de las condiciones físicas y químicas en el ciclo día-noche es mayor que la variabilidad estacional (entre muestreos).

Palabras clave: lago somero, lago tropical, limnología tropical, variación temporal, variaciones nictemerales

Abstract

At a tropical lagoon in the municipality of Guatapé (Antioquia), Colombia was studied the nictemeral variation of several climatic, physical, and chemical variables evaluated during two days of separate samplings through six months in two different hydrologic periods in order to verify that the tropic the magnitude of the variability day-night cycle is greater than the temporary. At seasonal level, the pluviosity presented the highest variation (C. V. = 56.9%) followed by the air temperature (C. V. = 19.7%) which is common in the tropical areas. Through the day-night cycle the most of the studied variables presented significant differences except the pH, which maintained a very low variation during the whole time of study (C. V. < 5%) with a slightly acid tendency, which is very common in the natural aquatic systems or without antropic intervention and low productivity. The variation among hours permitted to show significant differentiates for some climatic and limnological variables such as solar radiation, air and water temperatures, wind speed, relative humidity, dissolved oxygen and its saturation percentage, conductivity, alkalinity, and dissolved inorganic carbon associated to the fluctuation of the cycles of light-darkness for all the variables evaluated, except for pH. This lagoon exhibits thermal stratification defined during the period illuminated of the day and a mix or tendency to this during the period nocturnal, proper to the polimixis is predominant in this aquatic system, so the variation of the physical and chemical conditions in the day-night cycle is greater than the seasonal variability (among sampling).

Key words: nictemeral variation, seasonal variation, shallow lake, tropical lake, tropical limnology

¹ Grupo de Investigación GAIA. Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia. Correo electrónico: <yimmymontoya3@gmail.com>.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes acuáticos tropicales presentan variaciones químicas, físicas y biológicas en cortos periodos de tiempo (Esteves et al., 1988). El estudio de las variaciones nictemerales de temperatura del agua, oxígeno disuelto y otras variables acopladas a medidas climatológicas tales como el viento, la radiación solar y la precipitación, tiene gran importancia para indicar los principales mecanismos de funcionamiento y las interrelaciones que ocurren en cortos periodos de tiempo (variaciones nictemerales) de los sistemas acuáticos. Las oscilaciones periódicas se deben no solo a los ciclos de luz/oscuridad que afectan las actividades de los organismos, sino a la acción también de los factores climáticos sobre la estructura vertical del sistema.

La estructura vertical de la columna de agua de los ecosistemas acuáticos sufre reorganizaciones periódicas y la consecuencia fundamental es que se conectan los ciclos de estas reorganizaciones y sus principales eventos (Gavilán, 1990). A partir de estos ciclos y de acuerdo a la intensidad y la frecuencia de la entrada de energía turbulenta, se favorece la mezcla y el incremento en la diversidad de las comunidades acuáticas debido al carácter intermedio de la perturbación.

Para Barbosa (1981), las fluctuaciones presentadas por las variables limnológicas, en un periodo de 24 horas, juegan un papel fundamental en la caracterización de los cuerpos de agua tropicales. El estudio de las variaciones nictemerales de los factores climáticos, físicos, químicos y biológicos por lo tanto es de fundamental importancia para la comprensión de los principales mecanismos de funcionamiento y de las interacciones que ocurren en los ecosistemas acuáticos en cortos intervalos de tiempo (Gavilán, 1990).

En Colombia, se han realizado algunos trabajos sobre el tema en sistemas lénticos (Ramírez, 1995; Ramírez y Cogollo, 2004; Ramírez y Díaz,

1995; Wills y Benjumea, 2004) y en sistemas lénticos (Ramírez, 2000; Urrego y Ramírez, 2000; Rivera, 2006; Villabona et al., 2004). En términos generales se ha encontrado una mayor fluctuación a nivel de los sistemas lénticos, variación alta de la pluviosidad y de la temperatura del aire, predominan los sistemas polimícticos continuos entre los ecosistemas naturales y la meromixis en los embalses.

Este trabajo evalúa la magnitud de las variaciones nictemerales de temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento, temperatura del agua, conductividad eléctrica, alcalinidad, pH, carbono inorgánico disuelto (**CID**), oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, en una laguna ubicada en la zona andina en dos fechas diferentes, con un intervalo de seis meses, con el fin de verificar que en regiones tropicales la magnitud de la variabilidad en el ciclo nictemeral es mayor que la temporal (mensual).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio. El presente estudio se realizó en la Finca Montepinar (Vereda de Santa Rita) del municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia (6° 14' N, 75° 9' O) (figura 1). El clima de la región es muy húmedo con una precipitación anual superior a los 2.300 mm; la zona está localizada a 1.850 m de altura, en una región de topografía ondulada con pendientes que oscilan entre el 25 y el 75% y se clasifica como un bosque de transición entre el Premontano y Montano Bajo Tropical según la nomenclatura de Holdridge (1978). La laguna estudiada cubre un área de 60 m² y presenta una salida de 0,5 l/s, la cual contribuye a alimentar una quebrada que pasa a 100 m aproximadamente y que tiene un caudal promedio de 800 cm³/s. La temperatura promedio del aire presenta valores entre los 12 y 18 °C. La cobertura vegetal se caracterizó por presentar alrededor del 50% de la línea de costa; durante el periodo de estudio no se observó la presencia de macrofitas acuáticas. Los suelos del

área pertenecen a la asociación San Carlos en sus fases quebrada y ondulada a quebrada, derivada de material proveniente del batolito antioqueño, así como a la asociación Guarne, derivada del material Coluvio-aluvial con pendientes moderadas. Los suelos son de color negro en su horizonte superior con alto contenido de materia orgánica acumulada sin descomponer. Presentan un fuerte lavado de las bases y otros elementos nutritivos del suelo, debido a la alta precipitación. Los suelos por lo tanto son ácidos, pobres en nutrientes y con bajo o mediano intercambio de cationes (Uribe et al., 1988).

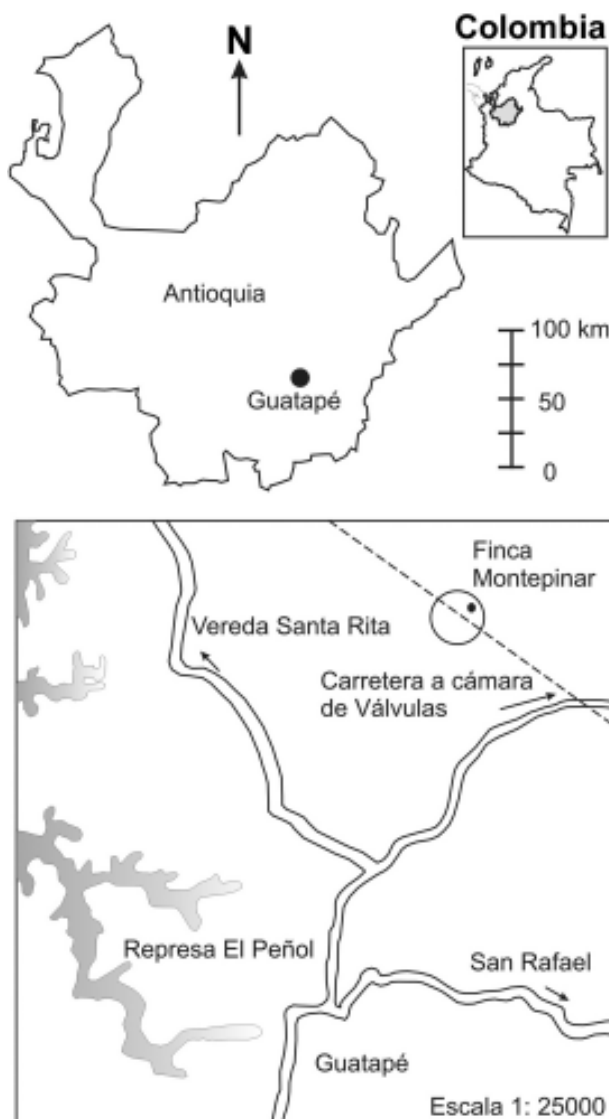


Figura 1. Localización de la laguna tropical estudiada en el municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia

Metodología. Dos muestreos nictemerales se realizaron separados entre si por aproximadamente seis meses (3-4 de diciembre de 1997 y 12-13 de junio de 1998), cada uno con una estación de colecta en la parte más profunda de la laguna, a dos profundidades: **a)** subsuperficial y **b)** a 1,5 m (a 10 cm del fondo). Los muestreos se realizaron a intervalos de tres horas, durante 24 horas iniciando a las 18:00 hr del primer día y finalizando a las 18:00 hr del segundo día.

Los valores de pluviosidad y temperatura fueron suministrados por el IDEAM (figura 2). Se evaluó la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, la saturación de oxígeno, el pH y la conductividad eléctrica. La alcalinidad se midió con un *Kit aquamerck* y las formas del carbono inorgánico disuelto (**CID**) se estimaron según Mackereth et al. (1978).

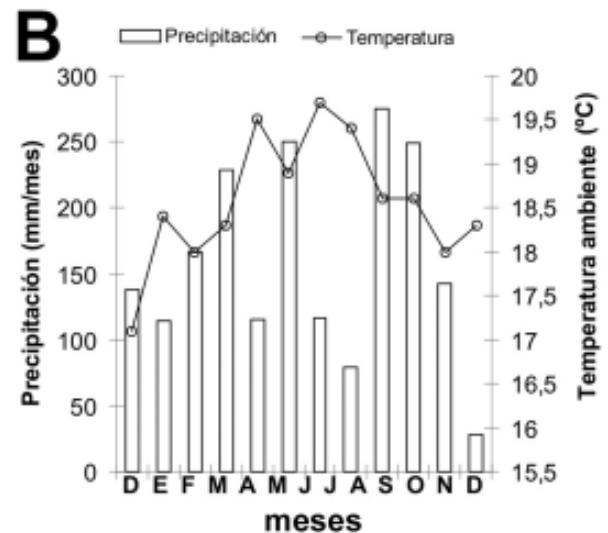


Figura 2. Variación de la pluviosidad y de la temperatura anual del aire desde 1997 hasta 1998 en el municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia

La significancia estadística de dichas variables se estableció mediante un análisis de varianza de dos vías, de bloques aleatorios, modelo I (Díaz, 1999). Cuando el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas se utilizó el agrupamiento de las medias mediante la prueba de Tukey.

Los datos obtenidos se sometieron a análisis exploratorio mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media aritmética, **M. A.**) y de dispersión [desviación estándar (**S**) y coeficiente de variación relativa de Pearson (**C. V.**)]. Para explicar la dependencia entre variables se efectuó un análisis de autocorrelación. Los análisis estadísticos citados fueron realizados en el paquete *Statgraphics plus v. 5.0*.

RESULTADOS

Variables climáticas. Las variables climáticas evaluadas como se observa en la tabla 1 presentaron coeficientes de variación elevados, los cuales son indicadores de las fluctuaciones dentro de los periodos de estudio.

Tabla 1. Variables climáticas, físicas y químicas evaluadas en cada periodo de muestreo en la laguna tropical del municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia (**M. A.** = media aritmética; **C. V.** = coeficiente de variación; * = datos suministrados por el IDEAM)

variables	Diciembre 3-4, 1997		Junio 12-13, 1998	
	MA	C. V.	MA	C. V.
temperatura del aire (°C)	24,90	24,5	19,80	19,7
radiación solar (Lux)	60.169,50	140,3	28.476,30	199,4
velocidad del viento (m/s)	0,59	158,2	0,32	174,6
humedad relativa (%)	72,00	35,6	84,00	20,3
oxígeno disuelto (mg/l)	6,13	18,3	5,91	18,1
saturación de O ₂ (%)	77,99	20,1	70,17	24,3
temperatura del agua (°C)	21,16	10,3	20,14	9,1
pH (unidades de pH)	6,29	2,3	6,35	5,6
alcalinidad (mg/l de CaCO ₃)	15,10	50,3	13,90	30,0
conductividad (µS/cm)	55,78	17,4	61,50	22,8
CID (mmol/l)	0,86	43,9	0,43	89,8
lluvia mensual 97-98*	182,90	56,9	396,50	28,6
lluvia semanal 97-98*	48,38	82,5	52,92	40,4
temperatura del aire mensual 97-98*	18,80	3,0	19,70	17,1

La temperatura del aire (figura 3A) durante los dos periodos de muestreo presentó una baja variación (C. V. = 22,8%), con un valor medio de 21 °C, la cual evidenció diferencias significativas a nivel nictemeral y entre muestreos también mostró correlación con la radiación solar ($r = 0,57$; $p = 0,013$) y con la humedad relativa

($r = -0,68$; $p = 0,0018$). Los valores nictemerales de la temperatura del aire presentan una variación ocho veces mayor que la registrada para los doce meses de muestreo (C. V. = 27,9%), lo que ratifica la hipótesis de la variación nictemeral de la temperatura del aire es mayor que la que ocurre entre muestreos.

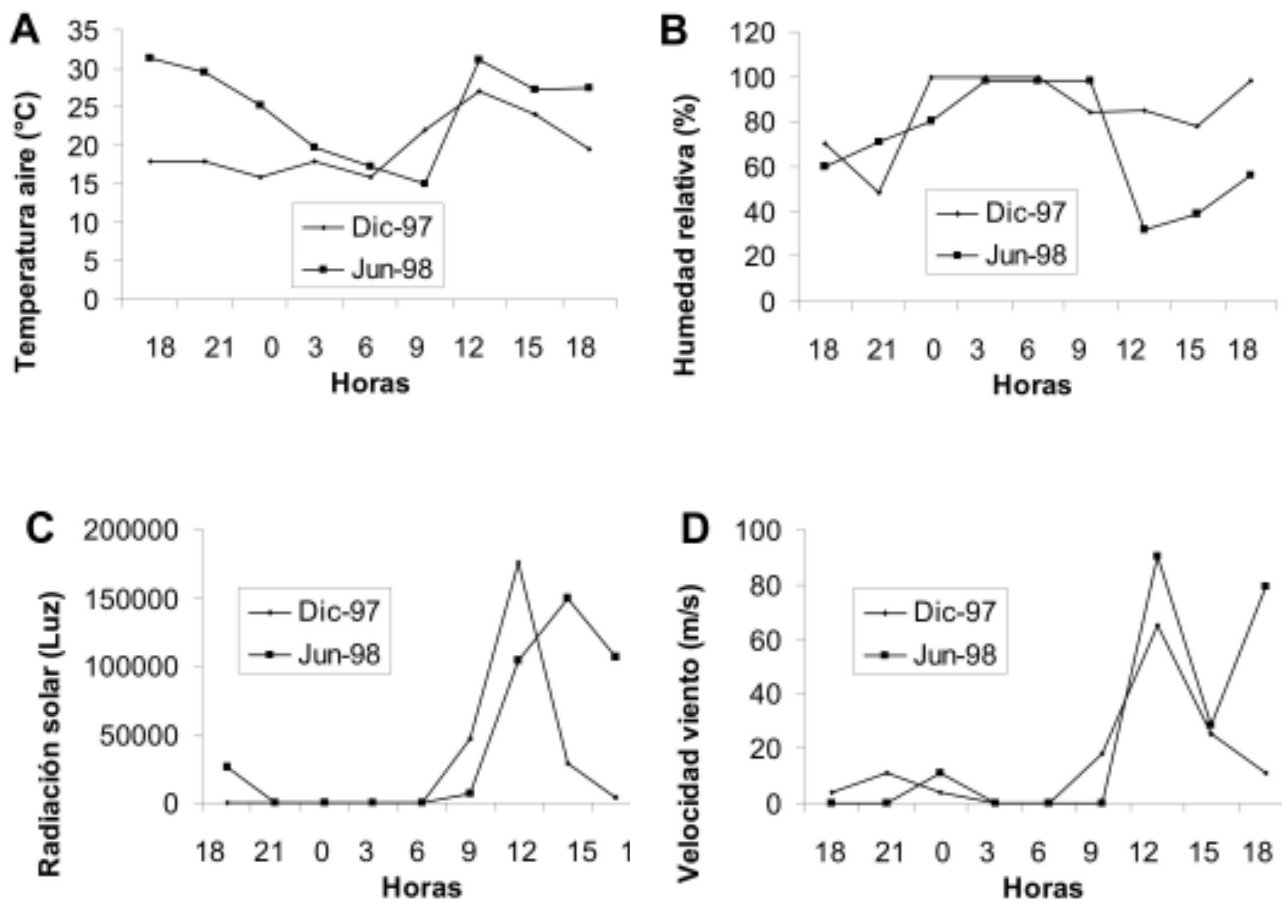


Figura 3. Variación nictemeral de las variables estudiadas en la laguna tropical del municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia: **A.** Temperatura del aire; **B.** Humedad relativa; **C.** Radiación solar; **D.** Velocidad del viento.

La humedad relativa (figura 3B) presentó diferencias significativas a nivel nictemeral y entre muestreos con una variación baja (C. V. = 28,2%), ya que gran parte de los datos correspondieron a saturación de humedad (lluvia, 100%), debido a que se presentaron fuertes lluvias durante el primer muestreo y en algunas ho-

ras de la noche del segundo. Por lo tanto presentó una correlación inversa con la radiación solar ($r = -0,52$; $p = 0,027$). La figura 3C al igual que la figura 3D, muestran que durante las horas de baja o nula radiación solar, la velocidad del viento correspondió de manera similar ($r = 0,86$; $p = 0,0000$), exhibiendo a su vez una alta variación

(C. V. = 172,4%) que llevan a diferencias significativas a nivel del ciclo día-noche y entre muestreos (tabla 1). La prueba de Tukey mostró que las medias se agrupan entre el día y la noche, es decir, se generan grupos de oscuridad y de iluminación (figura 4 A-I).

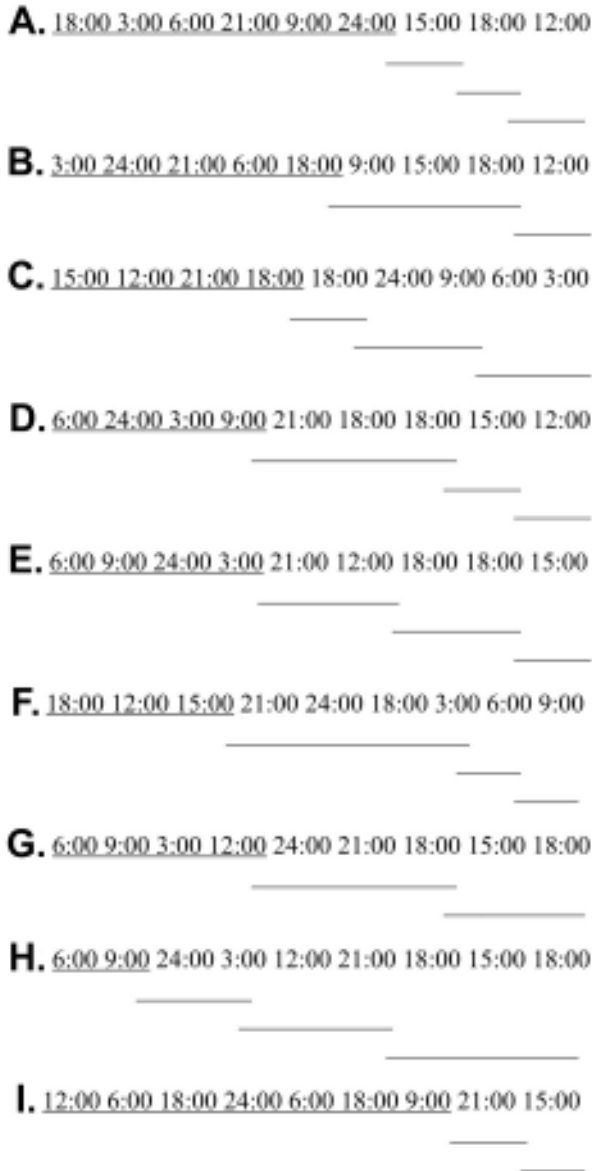
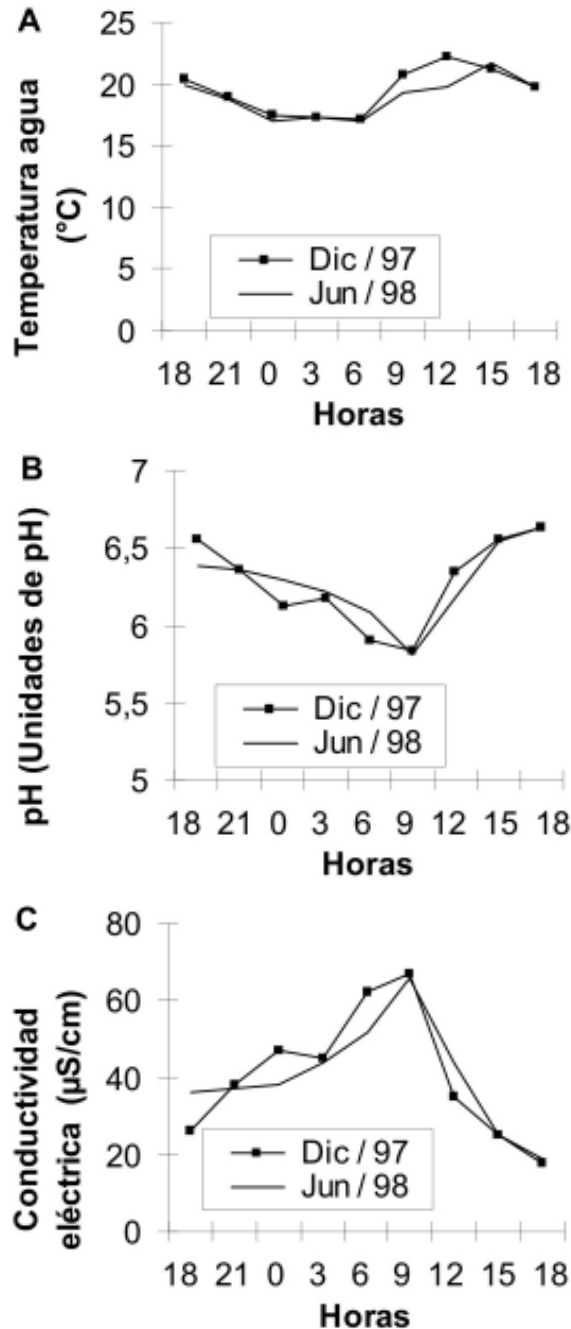


Figura 4. Comparación de medias según la prueba de Tukey para las variables estudiadas en la laguna tropical del municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia.: **A.** Velocidad del viento; **B.** Radiación solar; **C.** Humedad relativa; **D.** Temperatura del aire; **E.** Temperatura del agua; **F.** Conductividad; **G.** Oxígeno disuelto; **H.** Porcentaje de saturación de oxígeno; **I.** Alcalinidad

VARIABLES FÍSICAS. La temperatura del agua (figura 5A) presentó un valor medio de 20,6 °C con una baja variación (C. V. = 10%). Sólo se registraron diferencias significativas de la temperatura del agua durante las 24 horas. La figura 4E muestra que las medias de la temperatura del agua se asocian parcialmente de acuerdo al ciclo de calentamiento y enfriamiento del agua; la temperatura del agua fue muy uniforme entre las 00:00 y 09:00 horas.



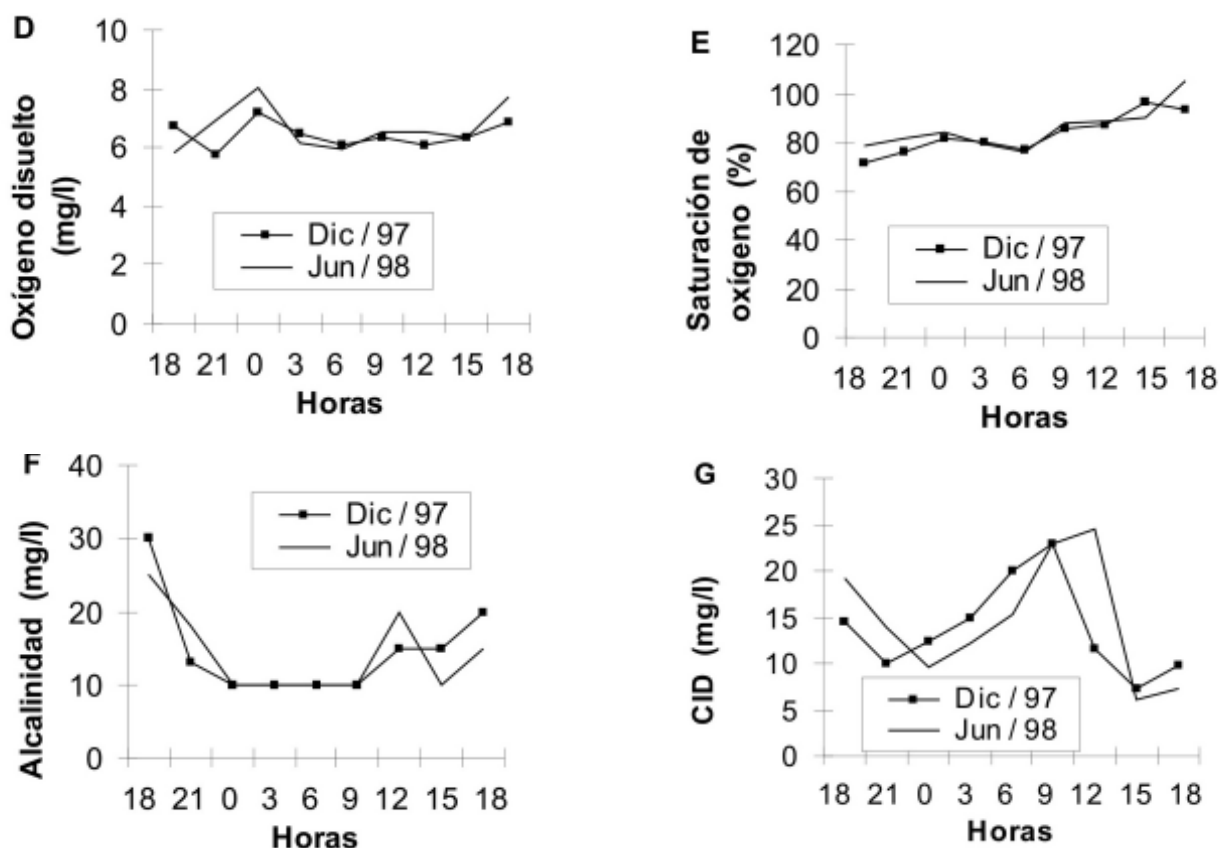


Figura 5. Variación nictemeral de las variables estudiadas en la laguna tropical del municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia: **A.** Temperatura del agua; **B.** pH; **C.** Conductividad eléctrica; **D.** Oxígeno disuelto; **E.** Saturación de oxígeno; **F.** Alcalinidad; **G.** CID

El pH fue poco variable (C. V. = 5,96%) a nivel nictemeral, entre profundidades y entre muestreos, con un valor medio de 6,32 unidades de pH (figura 5B).

La conductividad eléctrica (figura 5C) tuvo una baja variación (C. V. = 20,9%) con un promedio de 58,8 μ S/cm, presentando diferencias a nivel nictemeral y entre muestreos ($p = 0,01$). Las medias se agrupan en cuatro grupos, los cuales dependen de la variación en las precipitaciones pluviales (de acuerdo a las lluvias observadas en campo más no registradas cada hora), es decir, con el aumento de la pluviosidad se incrementa la conductividad eléctrica (figura 4F).

Variables químicas. La concentración de oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación (figura 5 D-

E) solo presentaron diferencias significativas en el ciclo día-noche. El valor mínimo (4,6 mg/l) se presentó a las 03:00 en la superficie y el máximo de 8,2 mg/l a las 15:00, también en la superficie. Los menores porcentajes de saturación de oxígeno se observaron en la mayor profundidad de la laguna. Las medias para estas variables se agrupan parcialmente en función del tiempo, es decir, se forman grupos para las horas de la mañana, la tarde y la noche (figura 4 G-H).

La alcalinidad de la laguna (figura 5F) refleja esta misma condición con un bajo promedio (0,15 mEq/l) pero con una variación del 53%, lo que permitió que se presentaran diferencias a nivel nictemeral y entre muestreos. Exceptuando los

valores al caer la tarde, las demás medias fueron consideradas homogéneas (figura 4I).

El comportamiento del **CID** (figura 5G) presentó una variación mayor (C. V. = 70%) con un promedio de 0,63 mmol/l y con una concentración iónica de CO_2 libre $>$ HCO_3^- $>$ CO_3^{2-} , a nivel superficial y de fondo. Los bicarbonatos se encuentran en concentraciones muy bajas ($<10^{-5}$ mmol/l). Se observa una caída pronunciada en los valores del **CID** a las 12:00, la cual probablemente se debe al consumo por el fitoplancton. Se encontraron diferencias significativas entre muestreos.

Tanto la conductividad eléctrica ($r = -0,99$; $p = 0,0000$) como la concentración de **CID** ($r = -0,76$; $p = 0,0002$) mostraron correlación negativa del pH. La concentración del **CID** presentó una correlación positiva con la conductividad eléctrica ($r = 0,76$; $p = 0,0002$) al igual que la alcalinidad ($r = 0,53$; $p = 0,0228$).

DISCUSIÓN

Variables climáticas. Se observó un aumento de la radiación en diciembre respecto al muestreo de junio. Algunos valores nocturnos fueron diferentes de cero debido a la radiación difusa influenciada por la luna. La aparición de nubes en el cielo inmediatamente se reflejó en las lecturas. Todas estas observaciones demuestran la alta variación de la radiación solar (C. V. = 164,9%) durante el ciclo nictemeral, lo que implica que las comunidades fotosintetizadoras deben adecuar sus ciclos internos a las variaciones de luz como un mecanismo para alcanzar una mayor eficiencia fotosintética. Por lo que las algas modifican su respuesta fotosintética a la intensidad de luz ambiente para aumentar al máximo su potencial de crecimiento, bajo diferentes condiciones de luz (Marshall, 1991).

Aunque el viento juega un papel preponderante en la distribución del calor en los sistemas lénticos,

en esta laguna el trabajo del viento se ve reducido por la presencia de una colina que protege el 25% de su perímetro. Se observó un bajo valor máximo (2,5 m/s, 09:00) poco frecuente.

La temperatura del aire presentó una baja variación debido al predominio de condiciones nubladas durante el ciclo nictemeral, ya que en gran parte de las horas de sol en el día se presentaron lluvias continuas en las horas de la mañana que impidieron mayor calentamiento y por ende mayor amplitud térmica. Esto es usual en los ecosistemas tropicales, ya que las variables ambientales más influenciadas por los ciclos nictemerales son la temperatura y la precipitación (Baxter et al., 1965). La prueba de Tukey muestra que los datos de temperatura del aire, radiación solar y la velocidad del viento de las 12:00 se separan de los demás, lo que pudo estar influenciado por la disminución de la lluvia sobre este periodo del día y por el aumento de su magnitud.

La precipitación pluvial mensual no presentó diferencias significativas para los meses estudiados, ya que se evidenció una curva bimodal característica de la zona andina, aunque mostró una variación alta (C. V. = 56,9%), la cual es menor a la variación a nivel semanal (C. V. = 83,1%). La temperatura del aire tampoco presentó diferencias significativas a nivel temporal, lo que es refrendado por su baja variación (C. V. = 3,04%); esto implica una relación de 18:1 que valida lo propuesto por Montoya (1998) y Urrego y Ramírez (2000), sobre el papel fundamental de la pluviosidad en la estacionalidad del sitio de muestreo.

Esta laguna se caracterizó por presentar un patrón térmico estratificado durante algunas horas del día y con mezcla nocturna (Figura 6 A-B). Sus aguas son frías, poco mineralizadas, oxigenadas a lo largo de toda la columna de agua y ligeramente ácidas.

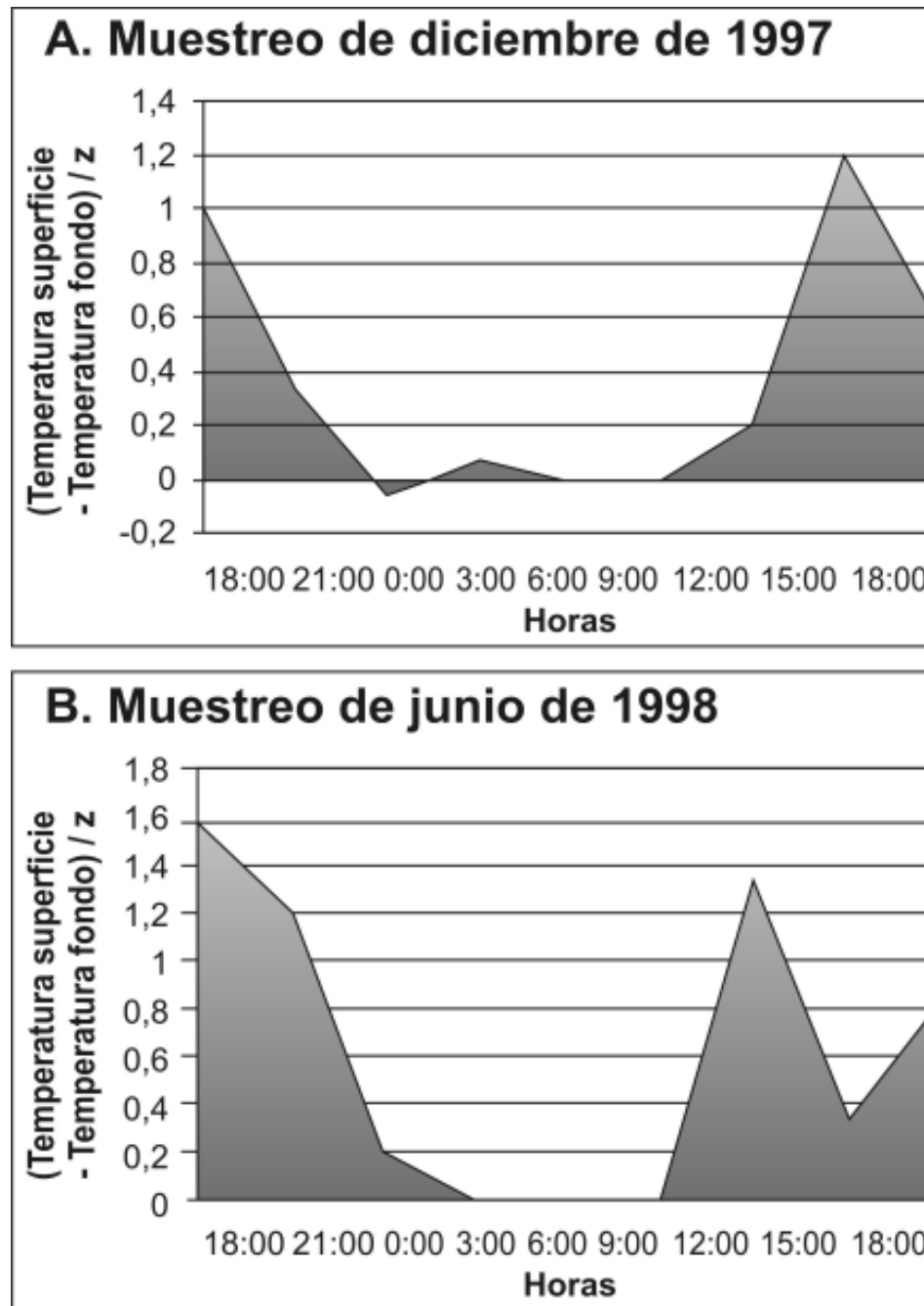


Figura 6. Variación de gradiente térmico nictemeral de laguna tropical del municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia: **A.** Muestreo de diciembre de 1997; **B.** Muestreo de junio de 1998

Variación nictemeral (tabla 2). La radiación solar, la velocidad del viento, la alcalinidad y el **CID**, variaron a través de los ciclos luz-oscuridad. Las diferencias de la temperatura del aire producen alteraciones locales del viento que ge-

néricamente se llaman brisas (Montealegre, 1997). Este factor, unido a las pérdidas por convección y al calentamiento de la atmósfera, influye en la variación de la temperatura del aire a lo largo del ciclo nictemeral.

Tabla 2. Análisis de varianza de las variables evaluadas durante la investigación en la laguna tropical del municipio de Guatapé (Antioquia), Colombia

variables	nivel	F	P
temperatura del aire (°C)	tiempo	5,248	0,0060
	muestreos	19,834	0,0010
radiación solar (Lux)	tiempo	9,555	0,0000
	muestreos	5,731	0,0210
velocidad del viento (m/s)	tiempo	21,747	0,0000
	muestreos	7,668	0,0082
humedad relativa (%)	tiempo	10,144	0,0000
	muestreos	13,923	0,0005
oxígeno disuelto (mg/l)	tiempo	8,513	0,0000
	muestreos	1,016	0,3231
saturación de O ₂ (%)	tiempo	20,980	0,0000
	muestreos	11,400	0,0024
temperatura del agua (°C)	tiempo	4,060	0,0033
	muestreos	3,977	0,0572
alcalinidad (mg/l de CaCO ₃)	tiempo	2,990	0,0170
	muestreos	90,310	0,0000
pH (unidades de pH)	tiempo	1,573	0,2680
	muestreos	1,400	0,5100
conductividad (µS/cm)	tiempo	15,140	0,0000
	muestreos	7,760	0,0100
CID (mmol/l)	tiempo	2,230	0,0600
	muestreos	18,100	0,0003
lluvia mensual 97-98	tiempo	1,554	0,2299
lluvia semanal (junio y diciembre)	tiempo	7,978	0,4737
temperatura aire mensual 97-98	tiempo	0,994	0,5008

El pH mantuvo una baja variación durante todo el tiempo de estudio (C. V. < 5%) con una tendencia levemente ácida, lo cual es muy común en los sistemas acuáticos naturales de baja productividad (Ramírez y Cogollo, 2004; Urrego y Ramírez, 2000). Ramírez y Díaz (1995) señalaron que esta variable no presentó diferencias nictemerales en una laguna andina con una profundidad máxima de 2,1 m. Uno de los principales factores para que ocurra esto es que el pH es una función logarítmica por lo que se debería realizar alguna transformación matemática para evaluar mejor su variación y la correlación inversa que presentó con la conductividad eléctrica y el **CID**.

La alcalinidad de la laguna estudiada presenta un bajo promedio (0,15 mEq/l) y una variación del 53%, la cual probablemente está asociada al cambio en la tasa metabólica diurna-nocturna, por lo que se presentó diferencias significativas en el ciclo nictemeral y entre periodos de colecta. Esto se evidenció en el comportamiento del **CID**, que presentó un aumento gradual cuando el metabolismo heterotrófico predominó debido a que la actividad fotosintética consume CO_2 , lo que hace que el medio se vaya basificando cada vez más; con la respiración se produce CO_2 , se forma ácido carbónico y la reacción se orienta de nuevo hacia la neutralidad (Roldán 1992). Los cuerpos de agua tropicales además de ser típicamente poco profundos también pueden presentar acumulaciones de CO_2 en el hipolimnio, aunque los cortos periodos de estratificación térmica son suficientes para que ocurra un acentuado gradiente de concentración de CO_2 (Esteves, 1998). El **CID** presentó diferencias significativas entre muestreos debido a las diferencias en la pluviosidad y en el arrastre diferencial de material orgánico e inorgánico, ya que durante la primera campaña de colecta, la lluvia fue el factor predominante.

La temperatura del agua presentó diferencias en el ciclo nictemeral y no entre periodos de colecta, mostrándose la sensibilidad de esta variable a los ciclos

cortos de estudio. Urrego y Ramírez (2000) hallaron resultados similares en el río Medellín. Estos autores asumen que la variación débil se debe al alto calor específico del agua, que atenúa los cambios bruscos de temperatura y a las pérdidas conveccionales de calor del agua hacia la atmósfera, incrementadas cuando disminuyen las diferencias de temperatura entre ambos medios. Como la estabilidad es directamente dependiente de la temperatura del agua (Ramírez, 2000), se puede esperar encontrar un patrón decreciente de estabilidad entre el día y la noche, es decir, una tendencia al rompimiento de la termoclina en la noche.

La concentración de oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación presentaron diferencias significativas en el ciclo día-noche. Esto se debe a que las mediciones se realizaron tanto durante el periodo de producción como el de consumo. La mezcla nocturna favorece los niveles de oxígeno disuelto en la columna de agua, que para los periodos de tiempo estudiados no presentaron anoxia cerca del fondo. Lo anterior implicaría que no hubo liberación de nutrientes a partir del sedimento, sino un aumento en el tiempo de permanencia y disponibilidad de los nutrientes ya presentes a través de la fase de isoterminia-estratificación-mezcla (Ganf y Horne, 1975).

El porcentaje de saturación con un 74% en promedio indica que la laguna presenta una condición autotrófica con predominio de aportes alóctonos de material orgánico. Gocke et al. (1981) registraron condiciones similares para una laguna centroamericana, en la que encontraron niveles de oxígeno disuelto cercanos al 100% como reflejo de la producción y la mezcla frecuente del sistema.

La variación de la conductividad eléctrica puede asumirse como producto del contraste entre los periodos de lluvia a nivel diario, que generaron arrastres de material edáfico no consolidado, con una escasa protección vegetal y con niveles bajos de nutrientes y de minerales.

Esteves et al. (1988) encontraron variaciones nictemerales de la conductividad eléctrica del agua en dos lagunas costeras, con valores superiores a los 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Las figuras 3 A, B muestran la aparición de gradientes de variación de la temperatura del agua entre la superficie y el fondo a través del ciclo día-noche. Esto sugiere que la laguna presentó una columna isotérmica entre las 21:00 y las 06:00 horas, a partir de las cuales el sistema se estratificó por el resto de día. Se puede observar en la misma figura que durante el primer día de estudio el sistema paulatinamente se desestratificó, presentándose un gradiente negativo a las 21:00 hr, seguido de la mezcla de la columna de agua debido a las pérdidas de calor complementaron la formación de una columna isotérmica. Aunque no se presentaron diferencias significativas para los valores entre muestreos, sí se registraron diferencias a nivel nictemeral. Vale la pena resaltar que para una columna de agua de 1,5 m la variabilidad de los gradientes térmicos presentados en el ciclo día-noche reflejan inestabilidad del sistema en un corto periodo de tiempo y tendencia a la mezcla nocturna y a la estratificación diurna. Ramírez et al. (2001) plantean que una profundidad reducida favorece estratificaciones térmicas poco duraderas en algunos periodos. La isoterma del sistema puede aparecer en el día o en la noche, pero esta laguna presenta una estratificación térmica acentuada durante el periodo iluminado del día y desestratificación o tendencia a mezclarse durante el periodo nocturno. Es importante destacar que el enfriamiento nocturno puede ocurrir a velocidades variables en las diferentes profundidades, provocando una masa de agua térmicamente invertida (Esteves et al., 1988). Este fenómeno es de gran importancia para los ecosistemas tropicales ya que puede ejercer una influencia considerable en la distribución de los nutrientes y los organismos planctónicos (Esteves et al., 1988). Ramírez (2000) encontró que la variación del contenido calórico diario para una laguna tropical oscila aproximadamente entre la cuarta

parte y la mitad del contenido calórico anual, lo que refuerza la importancia del estudio nictemeral de estos ecosistemas.

Lewis (1987) considera que la identificación del epilimnio en un perfil vertical de temperatura en los lagos tropicales es extremadamente difícil, ya que los gradientes verticales normalmente son pequeños. Birge (1887) [citado por Wetzel (2001)], afirmó que el termoclino es la región donde la temperatura cae al menos $1^\circ\text{C}/\text{m}$ de incremento en la profundidad. Ramírez (2000) plantea que en la región tropical un termoclino es una región de gradiente térmico que oscila entre 0,2 y 0,5 $^\circ\text{C}/\text{m}$, siendo el límite inferior el concepto empleado en esta investigación como punto de referencia.

Variación entre muestreos. Todas las variables climáticas evaluadas presentaron diferencias entre los periodos de muestreo, ya que correspondieron a dos periodos climáticos contrastantes. Esto ocurrió a pesar de que en las latitudes tropicales bajas, las fluctuaciones de fotoperíodo y temperatura a lo largo del año se consideran mínimas, y las fuerza «próximas» como la pluviosidad y los vientos son las que principalmente determinan las variaciones estacionales (Chutter, 1985).

El porcentaje de saturación del oxígeno disuelto presentó diferencias significativas, coincidentes con sus altos coeficientes de variación, lo que en general señala la heterogeneidad en el comportamiento de esta variable. Esto posiblemente se debe al efecto de las lluvias en el primer muestreo, que pudieron aumentar el intercambio del oxígeno del aire con el agua. Los menores porcentajes de saturación se encontraron al final del periodo nocturno e inicio del periodo iluminado. Este patrón de variación diaria del oxígeno disuelto se ha observado comúnmente en los lagos tropicales (Melack y Fisher, 1983).

La alcalinidad y la concentración del **CID** presentaron un comportamiento inverso entre los dos

muestreos nictemerales, ya que durante la primera colecta, la alcalinidad presentó el menor valor y el **CID** su mayor valor. Lo anterior pudo deberse a que el predominio de tiempo lluvioso implica un incremento en la concentración de materia orgánica disuelta y particulada, además de una disminución de los procesos de fotosíntesis. Esto genera una tendencia heterotrófica y un predominio del gas carbónico libre sobre las otras formas del **CID**. Esta tendencia se presentó a nivel de toda la columna de agua. La conductividad eléctrica presentó un comportamiento similar al **CID**, ya que exhibió relación con la pluviosidad, la cual favorece el proceso de mezcla que permite a su vez la resuspensión de los sedimentos.

Finalmente, hay que tener en cuenta que se están evaluando variables de distinta escala espacial y temporal: el clima (macroescala) y las variables fisicoquímicas (microescala), las cuales presentan una interdependencia dinámica, la cual es acentuada en ciclos cortos de luz-oscuridad, por lo que su estudio en periodos contrastantes puede generar un diagnóstico global del metabolismo del ecosistema.

CONCLUSIONES

La variación nictemeral de las variables estudiadas muestra la importancia de emplear esta metodología para la evaluación más acertada de los ecosistemas acuáticos sin importar el tamaño del sistema léntico. La radiación solar y la pluviosidad nictemerales mostraron altos coeficientes de variación, los cuales superan los registros anuales.

REFERENCIAS

- Barbosa FA.** 1981. Variação diurna (24 hr) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton da lagoa Carioca-Parque florestal do Rio Doce. Dissertação Mestrado, Universidade de São Carlos. São Carlos, Brasil.
- Baxter RM, Prosser MV, Talling JF, Word RB.** 1965. Stratification in tropical African lakes at moderate

Se puede esperar que en la medida en la que se disminuye la escala temporal de estudio se aumenta la variabilidad de la información, lo que permite detectar fluctuaciones pequeñas de las variables climáticas, físicas y químicas, las cuales repercuten en las comunidades biológicas generando microgradientes y afectando la biodisponibilidad de nutrientes. A nivel nictemeral todas las variables estudiadas presentaron variación significativas, excepto el pH.

Esta laguna se tipifica como polimictica fría, lo que asociado a su profundidad relativa baja, implica que se produzca resuspensión de materiales del fondo de la laguna. Éstos a su vez entran a jugar un papel activo en la dinámica de nutrientes del sistema. Las variables físicas y químicas evaluadas no presentaron diferencias significativas entre las profundidades, lo que corrobora el estado de mezcla continua de este sistema somero por causa de la inestabilidad de la columna de agua, lo que no permite la formación de una estratificación térmica o química definida.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la profesora Patricia Velásquez por su apoyo en la labores de campo, a los profesores Gabriel Roldán Pérez y John Jairo Ramírez R. por el préstamo de los equipos, a los estudiantes del curso de ecología general de la Universidad de Antioquia por su colaboración en la toma de los datos, a Diego Morales por su ayuda en la elaboración de los gráficos y a los aportes y correcciones de los evaluadores anónimos del manuscrito.

altitudes (1.500 to 2.000 m). *Limnology and Oceanography*, 10(4):510-520.

- Chutter FM.** 1985. Seasonality/aseasonality: chairman's summary. *Hydrobiologia*, 125:191-194.
- Díaz A.** *Diseño estadístico de experimentos*. Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.

- Esteves FA.** 1998. *Fundamentos de limnología*. Interciencia. Rio de Janeiro.
- Esteves FA, Bozelli RL, Camargo AF, Roland F, Thomaz SM.** 1988. Variação diària (24 horas) de temperatura, O₂ dissolvido, pH e alcalinidade em duas Lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro e sus implicações no metabolismo destes ecosistemas. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 11:99-127.
- Ganf GG, Horne AJ.** 1975. Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogen fixation in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *Freshwater Biology*, 5:13-19.
- Gavilan RA.** 1990. Flutuações nictemerais dos fatores ecológicos na represa de Barra Bonita-Medio Tieté-S. P. Disertacao Mestre em Ciencias, Universidae de São Carlos. São Carlos, Brasil.
- Gocke K, Laman E, Rojas G, Romero J.** 1981. Morphometric and basic limnological data of Laguna Grande de Chirripó, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 29(1):165-174.
- Holdridge L.** 1978. *Ecología basada en las zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica.
- Mackereth SJ, Heron J, Talling JF.** 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologist*. Freshwater Biological Association. Scientific Publications N° 36. Titus Wilson and Sons Ltda. Kendall. London.
- Marshall DW.** 1991. *Biología de las algas*. Enfoque fisiológico. Limusa. Mexico D. F.
- Melack JM, Fisher TR.** 1983. Diel oxygen variation and their ecological implications in Amazon flood-plain lakes. *Archieve for Hydrobiology*, 98(4):422-442.
- Montealegre FA.** 1997. *Curso básico de meteorología y climatología*. Universidad Nacional de Colombia. Palmira (Valle del Cauca), Colombia.
- Montoya Y.** 1998. Variación en la estructura de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de rital del río Medellín-Colombia. Tesis de pregrado, Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Ramírez JJ, Díaz A.** 1995. Cambios diurnos de temperatura y variables físicas y químicas en dos épocas del año en la laguna del Parque Norte, Colombia. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 7:87-104.
- Ramírez JJ.** 1995. Variaciones verticales de temperatura y factores químicos en un ciclo de 24 horas en el embalse Punchiná, Antioquia, Colombia. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 7:23-34.
- Ramírez JJ.** 2000. Variación diurna y estacional del contenido calórico, la estabilidad y el trabajo del viento en una laguna tropical. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 12:39-54.
- Ramírez JJ, Bicudo CE, Roldán GE, García LC.** 2001. Temporal and vertical variations in phytoplankton community structure and its relation to some morphometric parameters of tour Colombian reservoirs. *Caldasia*, 22(1):108-126.
- Ramírez JJ, Cogollo Y.** 2004. *Dinámica nictemeral y vertical de atributos físicos y químicos en tres Ciénagas tropicales del parque nacional natural Los Katios, Chocó (Colombia)*. Resúmenes del VI Seminario Colombiano de Limnología. Montería, Colombia.
- Rivera C.** 2006. Modelos correlativos de algunas variables físicas, químicas y biológicas del lago Guatavita. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Roldán GE.** 1992. *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia, Medellín (Antioquia), Colombia.
- Uribe A, Albert LA, Vallejo J.** 1988. Estudio fenológico de un bosque pluvial premontano en el municipio de Guatapé, Antioquia. Tesis de pregrado, Departamento de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Urrego AP, Ramírez JJ.** 2000. Cambios diurnos de variables físicas y químicas en la zona de rital del río Medellín, Colombia. *Caldasia*, 22(1):127-141.
- Villabona S, Galvis RF, Gavilán RA.** 2004. *Cambios diarios de las variables físicas, químicas y de la composición planctónica durante dos ciclos nictemerales en el Lago Acuarela (Santander, Colombia)*. Resúmenes del VI Seminario Colombiano de Limnología. Montería (Córdoba), Colombia.
- Wills AT, Benjumea CA.** 2004. *Evaluación de la estratificación térmica y su relación con la hidrodinámica y la calidad del agua en la Ciénaga de Cachimbero*. Resúmenes del VI Seminario Colombiano de Limnología. Montería (Córdoba), Colombia.
- Wetzel RG.** 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3ª ed. Academic Press. San Diego, E. U. A.