

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE UN PLANO DE INUNDACIÓN DEL RÍO SOGAMOSO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MAGDALENA (CIÉNAGA DE SAN SILVESTRE, COLOMBIA)

CHARACTERIZATION OF PHYTOPLANKTON COMMUNITY FROM RIO SOGAMOSO FLOODPLAIN AT THE MAGDALENA RIVER MIDDLE BASIN (CIENAGA DE SAN SILVESTRE, COLOMBIA)

Erika Pava, Jacqueline Carrasquilla y William López

RESUMEN

Se presentan las características fisicoquímicas y las abundancias de las clases de algas de la ciénaga de San Silvestre, un plano de inundación del río Sogamoso, perteneciente a la cuenca media del río Magdalena. Durante la época de bajas lluvias se realizaron tres faenas de campo para la caracterización fisicoquímica de sus aguas y una colecta para establecer la composición de la comunidad fitoplanctónica. Mediante un Análisis de Varianza a dos Vías (ANOVA) se estableció que, con excepción de las clases Chlorophyceae y Bacillariophyceae, no existen diferencias significativas en la distribución horizontal de las abundancias algales en la ciénaga y para ninguna clase existen diferencias significativas entre las dos profundidades de muestreo.

PALABRAS CLAVE: Fitoplancton, algas, plano inundable, río Sogamoso, río Magdalena.

ABSTRACT

It presents physical and chemical characteristics and abundance of the algae classes from cienaga of San Silvestre, a Sogamoso River's floodplane located at the Magdalena River's middle basin. During low rains season three surveys were done to the physical and chemical aspects and one collect was made to establish the phytoplanktonic community composition. A two way Analysis of Variance (ANOVA) was made, and it found significative differences in the horizontal distribution of Chlorophyceae and Bacillariophyceae algal abundance. I the other hand, there are not significative differences an algal abundance between the two deeps.

KEY WORDS: Phytoplankton,algae, flood plain, Sogamoso River, Magdalena River.

INTRODUCCIÓN

Un plano de inundación como es definido por Junk et al. (1989) es un área que periódicamente es inundada por el sobreflujo lateral de ríos o lagos, o bien por precipitación directa sobre la cuenca de drenaje, provocando como

resultado un ambiente fisicoquímico cambiante, lo que a su vez provoca adaptaciones morfológicas, anatómicas, fisiológicas o ecológicas de la biota allí presente. La frecuencia de períodos de inundación y retiro de las aguas con el río, depende fundamentalmente de las características hidrológicas de éste aguas arriba del

Dirección de los autores:

Universidad del Magdalena, estudiante de Ingeniería Pesquera. Dirección personal: Carrera 19 A No. 11C - 41, Santa Marta, Colombia. erika.pava@gmail.com (E.P.). Universidad del Magdalena. Estudiante. Dirección personal: Carrera 29 B No. 23-02, Santa Marta, Colombia (J.C.). Licenciado en Biología M.Sc. Dirección personal: Carrera 2A No 18-34 Sur Interior 7 Apto 403, Bogotá, Colombia (W.L.).



propio plano de inundación, sin embargo en algunos casos y momentos específicos, principalmente cuando el ambiente inundable ha sido completamente desconectado del río, las lluvias locales juegan un papel importante en las características fisicoquímicas de la biota acuática de estos sistemas.

La deposición de sedimentos formando barreras en las riberas del río ha dado origen a grandes extensiones de aguas permanentes, someras, que acumulan la escorrentía superficial de la planicie, las cuales reciben el nombre de "ciénagas", cuyo comportamiento limnológico responde a los sistemas acuáticos del plano de inundación descrito por Junk et al. (1989).

Las algas, como principales elementos de la comunidad del fitoplancton, presentan un espectro de variación de formas de vida que involucran, entre otros, diferentes aspectos ecológicos. Dentro de los atributos que dan lugar a las diferentes formas de vida, se encuentran las características morfológicas, mecánicas y fisiológicas de las células que les confiere las mejores estrategias para su supervivencia (Margalef, 1978)

En el plancton, el control de las especies presentes y sus abundancias se ejerce principalmente por el medio físico, debido a la estructura móvil de las masas de agua. Una partícula cualquiera tiene mayor probabilidad de moverse hacia abajo que de mantenerse a flote en la superficie. Puesto que la zona fótica es sólo una parte de la profundidad total de las masas de agua, la organización previsible se basa en una segregación vertical, mediada fundamentalmente por la densidad de las células y la resistencia ejercida por el agua para su hundimiento (Margalef, 1983).

Es claro por lo tanto que la supervivencia de las algas debe estar mediada por diferentes estrategias que les permita mantenerse en las profundidades adecuadas, tanto para la consecución de nutrientes como para las intensidades de luz apropiadas (Reynolds, 1984).

Desde hace varios años se han realizado estudios en el río Magdalena, enfocados hacia la comunidad íctica, aspectos hidráulicos y sedimentológicos o problemas de contaminación con metales pesados (Ruiz et al., 1996; Toro et al., 1996; Zuluaga, 1996). Con respecto a los planos inundables asociados a la cuenca del río Magdalena, los trabajos se han centrado en el bajo y medio Magdalena, tales como las ciénagas de Chucurí y Aguas Negras (Pedraza et al., 1989; García y Dister, 1990; Pedraza, 1995), ciénaga de Chucurí (Plata-Díaz

et al., 2000), ciénaga de Zapatoza (Ruiz, 1995; Viña et al., 1991) y ciénaga de Miramar (Prada, 1995).

Los resultados de este trabajo hacen parte de una consultoría realizada para la Alcaldía de Barrancabermeja, con el fin de establecer si existen diferencias en la composición de las clases de algas fitoplanctónicas en seis estaciones de muestreo de un plano de inundación del río Sogamoso, artificialmente desconectado del cauce principal, localizado en la cuenca media del río Magdalena.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

La ciénaga de San Silvestre se localiza en el Departamento de Santander (municipios de Barrancabermeja y San Vicente de Chucurí). Está bordeada en el sector sur por áreas de alta influencia antrópica (límites del casco urbano de Barrancabermeja) y por el costado norte por zona rural con presencia de algunos asentamientos humanos dispersos. La ciénaga es un plano de inundación del río Sogamoso, comunicado naturalmente con éste a través del caño San Silvestre; sin embargo, como resultado de la construcción de una obra civil en 1978, la conexión con el río se eliminó, así como los cambios de niveles relacionados con los pulsos de inundación y sequía (Figura 1).

Actualmente la principal fuente de agua permanente y nutrientes de la ciénaga es la quebrada El Zarzal. Para el periodo 1973 - 1984, en la estación limnográfica Puente Carretera (código 2405703), el IDEAM registró un caudal medio mensual multianual de $30.47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Adicionalmente, están los aportes de aguas residuales provenientes de los barrios Boston y Antonio Nariño, los cuales aportan un estimado de $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La ciénaga suple de agua potable a la cabecera municipal de Barrancabermeja ($700 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) y agua para uso industrial a ECOPETROL ($196 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$), FERTICOL ($19 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) y la estación piscícola ($1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) (Ingetec, 1999).

Desde el punto de vista geológico, la ciénaga de San Silvestre se ubica en la depresión del valle del Magdalena Medio cuyo origen data de finales del Cretáceo, aunque su configuración actual solo la alcanzó a finales del Terciario. En su mayor parte, la cuenca tributaria de la ciénaga está cubierta por sedimentos del Grupo Real del Mioceno Superior. En menor proporción, las formaciones Colorado y Mugrosa del Mioceno Medio e Inferior respectivamente, afloran hacia el suroeste de la cuenca hacia la población de El Centro, estando





Figura 1. Localización de la ciénaga de San Silvestre

afectadas por la falla de Infantas. En el extremo oriental y como consecuencia de la falla de sobrecorrimento de La Salina, afloran sedimentos cretácicos de la formación Umir. Adicionalmente, se encuentran los depósitos aluviales recientes y actuales conformados en terrazas, valles y planicies, y los depósitos de vertiente que se extienden al pie de la Serranía Oriental, conformados por grandes flujos de barro (Ingetec, 1999).

De acuerdo con los registros climatológicos del IDEAM procedentes de la estación Yariguíes (código 2315503), la temperatura media multianual es de 28.2 °C, con mínimos en octubre (27.4 °C) y máximos en febrero (28.9 °C). La precipitación media acumulada anual es de 2700 mm y la media mensual es de 225 mm. Su distribución es de tipo bimodal, cuyos meses de máxima precipitación son mayo (333 mm) y octubre (394 mm) con dos periodos intermedios de bajas lluvias con mínimos valores en enero (53 mm) y julio (183 mm). La evaporación media anual es de 126.6 mm con máximos valores en julio (152.9 mm) y mínimos en noviembre (105.8 mm). La humedad relativa presenta un promedio mensual multianual de 77%, los meses con menor valor son enero y febrero (63%) y los meses de mayor humedad son mayo y noviembre (88%).

DISEÑO DE MUESTREO

Para la caracterización de la ciénaga se seleccionaron seis estaciones de muestreo, cuyas características generales se presentan en la Tabla 1. En cada punto de muestreo se realizaron tres colectas superficiales de muestras de agua para su análisis fisicoquímico los días 29 y 30 de junio, 7 y 8 de julio y 14 y 15 de julio de 1999, correspondiendo al periodo transicional hacia aguas bajas.

La colecta, preservación y análisis de laboratorio se realizó de acuerdo con las recomendaciones de APHA-AWWA-WPCF (1995). Las variables estudiadas fueron pH, alcalinidad, dureza total, dióxido de carbono, cloruros, hierro, color, conductividad eléctrica, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, nitrógeno Kjeldahl total (nitrógeno orgánico menos amoniacal), sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sulfatos, fósforo total, ortofosfatos y sodio. Simultáneamente a la colecta de muestras de agua para análisis fisicoquímicos, se realizaron in situ perfiles verticales de temperatura y oxígeno cada 0.5 m desde la superficie hasta el fondo.

Con el fin de obtener una mayor aproximación del comportamiento de mezcla en la ciénaga con los perfiles térmicos se calculó la resistencia termal relativa (RTR), mediante la formulación presentada por Cole (1988), la cual indica el número de veces de gradiente de densidad entre las dos profundidades contiguas, en relación con el gradiente de densidad entre 4 y 5 °C, lo cual refleja a su vez la energía necesaria para permitir la mezcla del agua.

Para la caracterización de las algas fitoplanctónicas, el 8 de julio de 1999 se obtuvieron muestras de arrastres horizontales y verticales con malla de 25 µm de diámetro de poro y se fijaron con solución Transeau en proporción 1:1. Para la estimación de las abundancias algales, en cada estación de muestreo se tomaron tres réplicas de 5 litros de agua con botella Kemmerer, a la profundidad de una vez el Disco Secchi (DS) y a 2DS (DS = 0.4 m) y se fijaron con solución concentrada de Lugol, para su posterior determinación y conteo en laboratorio siguiendo las recomendaciones de Lund et al. (1958) y Villafañe y Reid (1995).

La determinación taxonómica de las algas se realizó mediante la observación al microscopio de alícuotas de la muestra. Se utilizaron las claves taxonómicas de Bicudo y Bicudo (1970), Comas (1991, 1996), Duque

(1995), Duque y Núñez-Avellaneda (1997), Hegewald y Silva (1988), Komarek y Fott (1983), Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c, 1983), Prescott et al. (1972), Rivera et al. (1982), Sant'Anna (1984), Sant'Anna y Martins (1982), Tell y Conforti (1986).

Con el fin de establecer si existen diferencias en las abundancias de las clases de algas fitoplanctónicas entre los seis sitios y las dos profundidades de muestreo, se planteo un diseño de bloques completos, aplicándose un Análisis de Varianza a dos Vías (ANOVA), y los análisis de test de rango múltiple y potencia de la prueba, previa verificación del cumplimiento de los supuestos paramétricos del modelo mediante las pruebas de Bartlett y Shapiro Wilks, para homocedasticidad y normalidad de residuos, respectivamente, utilizando los programas Statgraphics Plus Versión 5.1 (1994-2001) y SPSS para Windows versión 11.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PERFILES DE TEMPERATURA Y OXÍGENO DISUELTO

En las horas de la mañana se presentan los menores gradientes térmicos y de oxígeno, resultado de la mezcla

Tabla 1. Descripción de las estaciones de muestreo en la ciénaga de San Silvestre

Sitio de muestreo	Código	Características
Presa	Pr	Se localiza en el costado noroccidental de la ciénaga. Este punto se seleccionó con el objetivo de obtener información de las características en la zona de mayor profundidad de la ciénaga, previo a su salida a través del rebosadero
Bocatoma	Bt	El punto de muestreo se ubicó a 100 m de la estructura que toma el agua para el suministro de agua potable de Barrancabermeja. La selección de este punto se hizo con el objetivo de caracterizar las aguas en la zona de captación.
Ciénaga Tigre	CT	Se localiza al costado sur oriental de la ciénaga. Este punto también es susceptible de afectación de vertimientos de aguas negras de los barrios localizados en este sector.
Ciénaga Brava	CB	Se seleccionó este punto, por ser la zona de entrada de las aguas aportadas por la quebrada El Zarzal, principal afluente de la ciénaga. En esta zona se registraron profundidades entre 3 y 4 m. En esta zona se observan numerosas manchas de macrófitas flotantes, arrastradas desde la quebrada y zonas litorales de la ciénaga Brava. El punto de muestreo se ubicó en zona de aguas libres.
Rincón de Sábalo	RS	Se localiza en el costado nororiental de la ciénaga. Presenta numerosas manchas de pequeño diámetro de macrófitas flotantes. Se registraron profundidades entre 3,0 y 3,5 m. Una característica de este punto de muestreo es la presencia de troncos y leños de vegetación inundada, lo cual confiere dificultad para la navegación y pesca en esta zona.
Rincón de Brujas	RB	Se localizó también en el costado norte de la ciénaga, al occidente de Rincón de Sábalo. De manera semejante a esta estación, se encuentran numerosos manchones de macrófitas flotantes y restos de vegetación inundada. Este punto y el anterior se caracterizan por su menor profundidad, se encuentran en el costado opuesto de los vertimientos de aguas residuales de los barrios subnormales del norte de Barrancabermeja, y su morfología les confiere ciertas características de aislamiento del efecto de las aguas aportadas por la quebrada El Zarzal.

de aguas durante la noche inmediatamente anterior, como se observa en la Bocatoma a las 8:00 am (Figura 2a), cuyos valores de RTR a 0.5 m son menores de 15. Al avanzar el día, el calentamiento superficial de las masas de agua provoca mayores gradientes térmicos, cuyas curvas clinógradas de temperatura y oxígeno, así como mayores valores de RTR hacen evidente la presencia de eventos de estratificación térmica, como se observa en la ciénaga Tigre a las 10:00 am con RTR de 60 a 1.0 m (Figura 2b), ciénaga Brava a las 10:45 am con RTR de 18 a 0.5 m (Figura 2c) y rincón de sábalos a las 11:00 am con RTR máximo de 30 a 1.5 m (Figura 2d).

En el rincón de brujas a las 2:00 pm se observó el mayor gradiente térmico y de oxígeno de todos los puntos (Figura 2e) con una RTR de 100 a 0.5 m y otra de 90 a 1.0 m, siendo evidente la condición de estratificación térmica. En la estación Presa no se alcanzan los gradientes térmicos que si se observan en los otros puntos de muestreo, debido a la inestabilidad en la columna de agua ocasionada por la variable salida de caudales para el suministro hacia Barrancabermeja (Figura 2f); sin embargo, se presentan varios gradientes térmicos con valores de RTR que van 18 a 22.

Los perfiles térmicos y de oxígeno en la ciénaga de San Silvestre, permiten clasificarla como un sistema polimíctico cálido, según el sistema de clasificación de Hutchinson y Loeffler (1957), dado que presenta múltiples estratificaciones y mezclas a lo largo del año, con estratificaciones diurnas, que pueden desintegrarse por eventos atmosféricos locales (lluvias, vientos) principalmente en las zonas más someras. Los perfiles ortógrados de oxígeno registrados en las horas de la mañana, así como la presencia de termoclinas a diferentes profundidades durante el día, hace presumir que durante la noche, la disipación hacia la atmósfera de la energía calórica ganada durante el día y la acción de los vientos permite las mezclas de la columna de agua, de tal forma que la ciénaga se podría clasificar como un sistema polimíctico cálido continuo, de acuerdo con el modelo de Lewis (1983), comportamiento observado en otros planos de inundación como la ciénaga de Guarinocito (Cuartas, 1999 y López, 1999) y la ciénaga Cerro de San Antonio (Deluque et al., 2006 y Ramos-Ortega et al., 2006).

pH

Se obtuvieron valores de pH entre 5.76 y 6.35; el mayor valor promedio se registró en rincón de Brujas y el menor en ciénaga Tigre (Figura 3a). Estos valores de

pH son notablemente menores a los rangos reportados por Roldán (1992) para ciénagas del norte de Colombia, así como los reportes para las ciénagas de Miramar (Prada, 1995), Zapatosa (Viña et al., 1991) y Guarinocito (Cuartas, 1999) y semejantes a los reportados por Pedraza (1985) para la ciénaga de Chucurí en época de descenso de aguas y para la ciénaga de Aguas Negras en ascenso de aguas. Los bajos valores de pH en la ciénaga de San Silvestre, se deben a los aportes de CO_2 provenientes de los procesos de respiración y descomposición de materia orgánica, que unido a las bajas alcalinidades y dureza, facilita que se presente un rango de variación tan amplio.

ALCALINIDAD

La alcalinidad osciló entre 6,5 y 12,2 mg.l^{-1} , con promedios menores en la Bocatoma y Presa (9.56 y 9.81 mg.l^{-1}) y mayores en rincón de Sábalos (11.66 mg.l^{-1}) (Figura 3b). Estos valores son bastante bajos con respecto a los rangos reportados por Roldán (1992) para ciénagas del norte de Colombia, así como lo registrado por Cuartas (1999) para la ciénaga de Guarinocito, considerada como la primera ciénaga del río Magdalena. Estos valores son más semejantes a los de lagunas del Amazonas del Perú y Colombia (5-10 mg.l^{-1}) indicados por Roldán (1999). Los bajos valores de alcalinidad de la ciénaga de San Silvestre responden claramente a las bajas alcalinidades de la quebrada El Zarzal, su principal tributario, dado su aislamiento de pulso de inundación del río Sogamoso. Estos valores en la ciénaga indican aguas pobremente tamponadas, esperando grandes variaciones de pH entre el día y la noche, dependiendo de la actividad fotosintética y respiratoria.

DIÓXIDO DE CARBONO

En la ciénaga se obtuvieron concentraciones de CO_2 en el rango de 1,8 a 4,3 mg.l^{-1} valores considerados bajos en las condiciones de pH y alcalinidad existentes. Los mayores valores promedio se presentaron en ciénaga Brava (3.55 mg.l^{-1}) y los menores en rincón de Sábalos (2,87 mg.l^{-1}) (Figura 3c).

DUREZA

Se observó mayor dureza en la estación ciénaga Brava, con promedio de 14,61 mg.l^{-1} , la cual recibe de manera directa las aguas aportadas por la quebrada El Zarzal. Los menores valores se registraron en la Presa con promedio 11,32 mg.l^{-1} (Figura 3d). Los reportes de dureza para ciénagas del río Magdalena (Roldán,

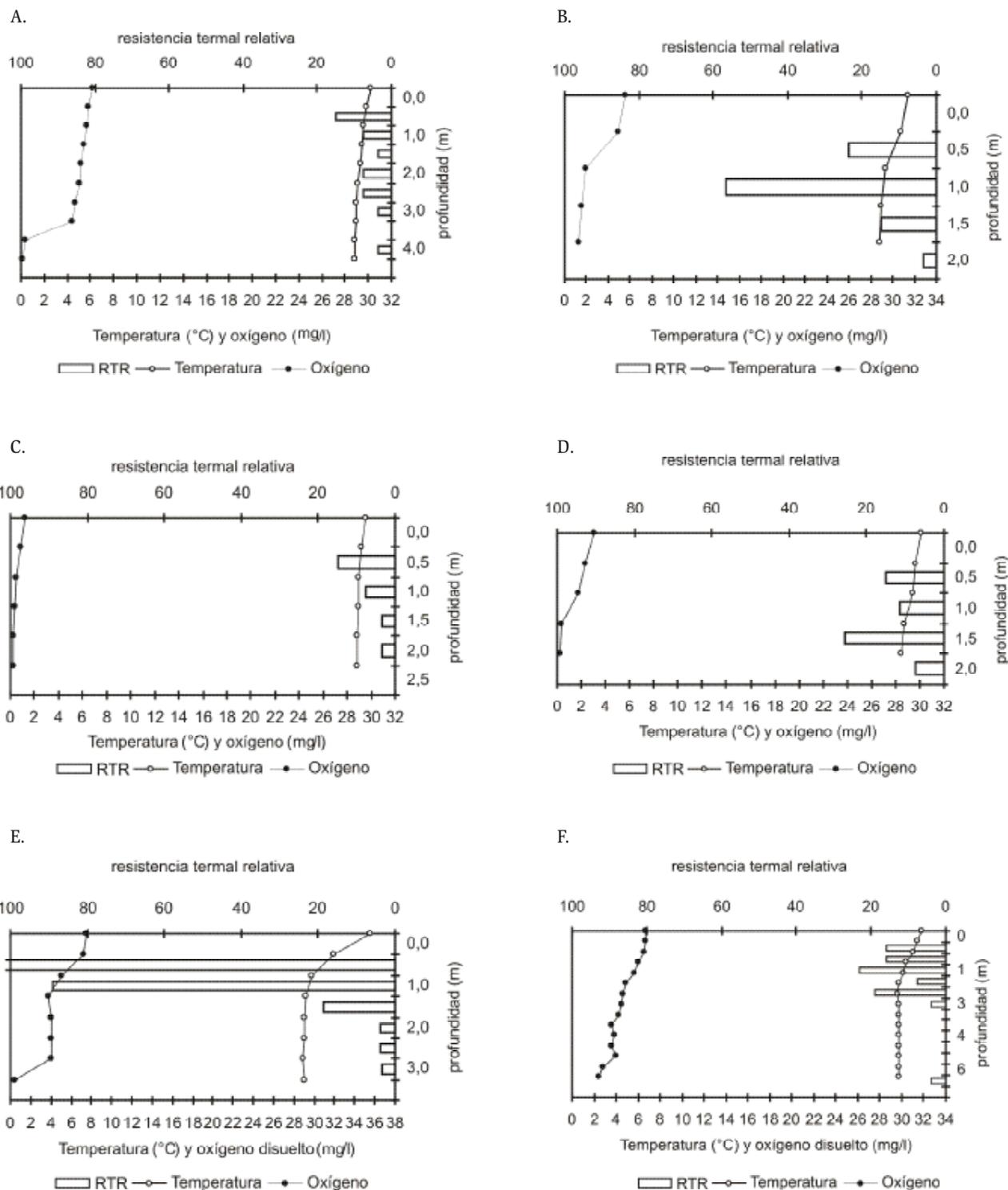


Figura 2. Perfiles de temperatura y oxígeno en la ciénaga de San Silvestre. A. Bocatoma 8:45 am. B. ciénaga Tigre 10:00 am. C. Ciénaga Brava 10:45 am. D. Rincón de Sábalos 11:00 am. E. Rincón de Brujas 2:00 pm. F. Presa 2:45 pm



1992) y para la ciénaga de Guarinocito (Cuartas, 1999) indican valores notablemente bajos en la ciénaga de San Silvestre, pudiendo clasificarse como medianamente productivas según la clasificación de Ohle (1934) citado por Roldán (1992).

SULFATOS

En la ciénaga se obtuvieron concentraciones de sulfatos en el rango de 1 a 3 mg.l⁻¹, con mayores valores en la Bocatoma (promedio de 2.0 mg.l⁻¹) y mínimos en ciénaga Brava, Rincón de Sábalo y Rincón de Brujas (1,3 mg.l⁻¹) (Figura 3e), valores considerados bajos según lo esperable en aguas naturales, dado que Roldán (1992) reporta promedios de 11 mg.l⁻¹ por litro en ciénagas del bajo Magdalena y 4,0 mg.l⁻¹ en cursos de agua de alta montaña.

CLORUROS

La ciénaga San Silvestre se mantuvo en concentraciones que oscilaron entre 3,14 y 15 mg.l⁻¹, con promedio mínimo de 4.46 mg.l⁻¹ en ciénaga Tigre y máximo de 7.53 mg.l⁻¹ en la presa (Figura 3f), valores considerados normales según lo reportado por Roldán (1992) para ciénagas del bajo Magdalena. Los cloruros aportados a la ciénaga provienen de dos fuentes principales: por un lado los provenientes de las aguas de la quebrada El Zarzal, que se refleja en concentraciones ligeramente superiores en ciénaga Brava; y aquellos de las aguas residuales domésticas, que debido a su bajo caudal y aportes dispersos en el costado sur de la ciénaga no manifiestan diferencias sustanciales entre las estaciones localizadas allí. Roldán (1992) reporta valores promedio de cloruros para ciénagas del bajo Magdalena del orden de 10 mg.l⁻¹.

HIERRO TOTAL

La concentración de hierro total presentó valores altos en comparación con lo reportado por Roldán (1992) para aguas neotropicales, con concentraciones que fluctuaron entre 1.6 y 3.26 mg.l⁻¹ (Figura 3g), con menores valores promedio en ciénaga Tigre y presa (1.76 y 1.98 mg.l⁻¹) y mayores en Bocatoma y ciénaga Brava (2.46 y 2.5 mg.l⁻¹). El hierro total en la columna de agua proviene de la recirculación de sólidos suspendidos desde las capas profundas de la ciénaga, en donde adquiere su estado soluble bivalente. Una vez es reincorporado a la superficie, las condiciones oxidativas lo transforman a su forma férrica, precipitando con el fósforo principalmente.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica en la ciénaga presentó valores entre 34.5 y 92 μ S.cm⁻¹, con mayor promedio en ciénaga Brava (54.47 μ S.cm⁻¹) y menor en Presa con 36.87 μ S.cm⁻¹ (Figura 3h). La conductividad eléctrica en esta ciénaga se encuentra dentro de los rangos presentados por Pedraza (1985) y García y Dister (1990) para la ciénaga de Aguas Negras y es bastante baja en relación con lo reportado para la ciénaga de Zapatosa (Viña et al., 1991), Guarinocito (Cuartas, 1999), Miramar Prada (1995), Chucurí (Pedraza, 1985) y otras ciénagas del bajo Magdalena (Roldán, 1992). La conductividad eléctrica depende fundamentalmente de la naturaleza geoquímica del terreno, y en los planos inundables adicionalmente se ve afectada por los pulsos de inundación y sequía del espejo de agua (Junk, 1980) y aunque en la ciénaga de San Silvestre su conexión con el río Sogamoso a través del Caño San Silvestre fue eliminada, aún conserva cierto grado de pulso de inundación dependiente de las aguas afluentes de la quebrada El Zarzal.

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Y SUSPENDIDOS

La concentración de sólidos disueltos totales osciló entre 22 y 69 mg.l⁻¹ (Figura 3I), con promedios mínimos en Bocatoma (38.3 mg.l⁻¹) y máximos en la Presa (65.3 mg.l⁻¹). Los sólidos suspendidos fluctuaron en el rango de 8 a 52 mg.l⁻¹ (Figura 3j), presentando los máximos valores promedio en ciénaga Brava y rincón de Sábalo (33 mg.l⁻¹). Estos valores corresponden con el rango reportado por Roldán (1992) para planos de inundación en Colombia. Los menores valores de sólidos suspendidos en la presa son lógicos, considerando la mayor turbulencia ocasionada por la entrada de la quebrada el Zarzal en las primeras dos estaciones y condiciones más lénticas en la Presa.

NITRÓGENO

El rango de variación de NKT fue de 0.2 a 3.5 mg.l⁻¹, con mayor promedio en rincón de Brujas (2.32 mg.l⁻¹) y menor en ciénaga Tigre con 0.54 mg.l⁻¹ (Figura 3k). La concentración de Nitratos se mantuvo entre 0,1 y 0,7 mg.l⁻¹, con 0,5 mg.l⁻¹ de promedio en Presa y 0.27 mg.l⁻¹ en ciénaga Tigre (Figura 3l). Por su parte los nitritos registraron valores desde no detectable hasta 0.019 mg.l⁻¹ (Figura 3m).

La forma de nitrógeno más abundante fue el nitrógeno en forma orgánica, mientras que las formas de más frecuente utilización por el fitoplancton (nitratos y



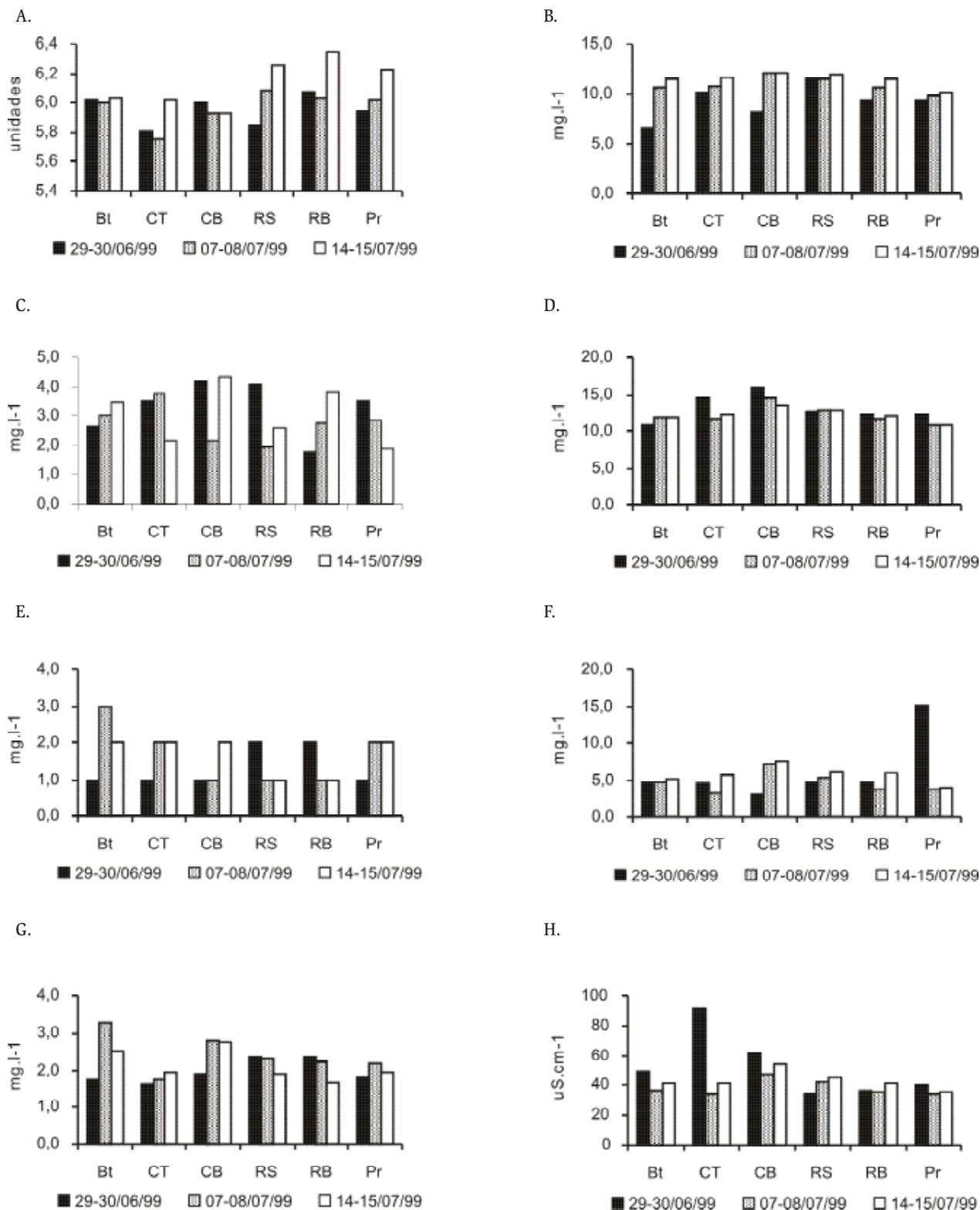
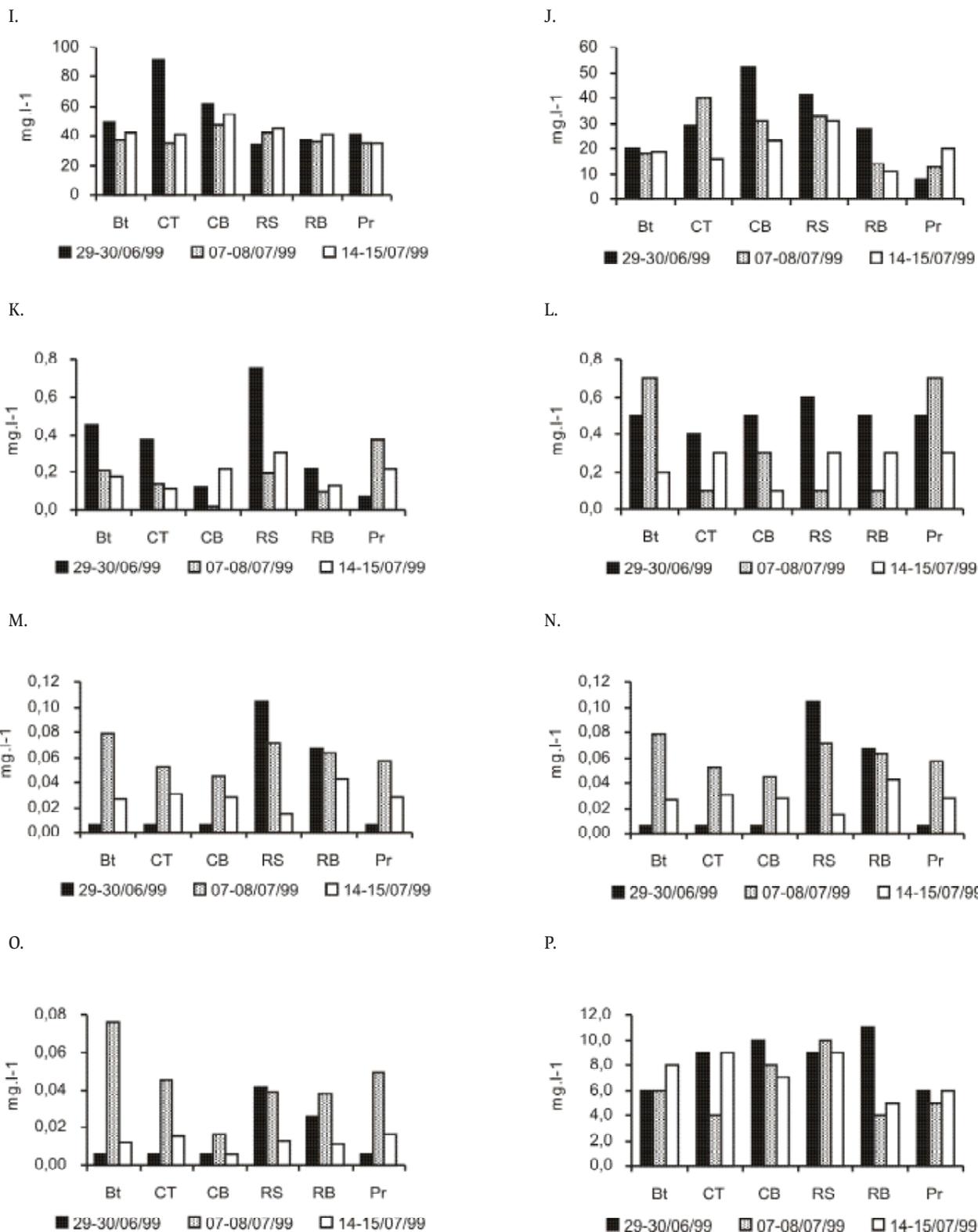


Figura 3. Características fisicoquímicas de la ciénaga de San Silvestre. A. pH. B. Alcalinidad. C. Dióxido de carbono. D. Dureza total. E. Sulfatos. F. Cloruros. G. Hierro total. H. Conductividad eléctrica.





Continuación Figura 3. Características fisicoquímicas de la ciénaga de San Silvestre. I. Sólidos disueltos totales. J. Sólidos suspendidos totales. K. Nitrógeno amoniacal. L. Nitratos. M. Nitrógeno Kjeldahl Total. N. Fósforo total. O. Ortofosfatos. P. Demanda Bioquímica de Oxígeno.



nitrógeno amoniacal) presentaron menores proporciones, reflejándose esta situación en las bajas abundancias de algas en la ciénaga. Las concentraciones de nitrógeno registradas en la ciénaga de San Silvestre no se alejan de los rangos de variación reportados para planos de inundación por Roldán (1992).

FÓSFORO

La concentración de ortofosfatos y fósforo total fluctuó desde concentraciones no detectables hasta 0.076 y 0.104 mg.l⁻¹ respectivamente. Los mayores promedio de ortofosfatos (0.031 mg.l⁻¹) se presentaron en Bocatoma y Rincón de Sábalo (Figura 3o), mientras que para fósforo total estuvieron en Rincón de Sábalo y Rincón de Brujas con 0.064 y 0.057 mg.l⁻¹ respectivamente (Figura 3n).

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

La DBO₅ presentó valores entre 4 y 11 mg.l⁻¹, con menor valor promedio en Presa con 5.67 mg.l⁻¹ y mayor en Rincón de Sábalo con 9.33 mg.l⁻¹ (Figura 3p).

En la Tabla 2 se presentan los rangos y valores promedio de las variables fisicoquímicas medidas en la ciénaga de San Silvestre, durante la colecta de la comunidad fitoplanctónica.

FITOPLANCTON

En la ciénaga de San Silvestre se registró un total de 58 morfoespecies de algas, distribuidas en ocho clases taxonómicas: Chlorophyceae, Zygothryxaceae, Cyanophyceae, Xanthophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae, Bacillariophyceae y Chrysophyceae.

El promedio de número de morfoespecies de algas para la ciénaga por estación es de 28. El menor valor se presentó en ciénaga Brava a 2DS (15 especies) y el mayor en Rincón de Sábalo en superficie (39 especies). El número de especies presentes en cada estación de muestreo fue más homogéneo para las muestras de superficie que para las de fondo (2 DS). En las primeras, dicho valor osciló entre 24 y 39 especies y para las segundas, entre 15 y 33 especies.

En relación con la abundancia fitoplanctónica (cél.ml⁻¹), para el período de muestreo, las clases Chlorophyceae y Euglenophyceae fueron las más abundantes en la ciénaga, estos mismos grupos de algas han sido registrados como los más abundantes de los cuerpos de

aguas dulces por varios autores: Margalef (1983), Arias (1975), Donato et al. (1987), Andrade et al. (1992) y Duque y Donato (1992).

En la Figura 4 se ilustran los promedios de abundancias fitoplanctónicas por clases de algas en las dos profundidades y seis sitios de muestreo en la ciénaga.

Las Chlorophyceae representaron entre el 50 y el 75 % de la abundancia total del fitoplancton, siendo las Euglenophyceae la segunda clase en abundancia (Figura 5). Este segundo lugar de las Euglenophyceae, se debe a que este grupo de algas son móviles y pueden estar respondiendo de forma directa a leves aumentos de concentraciones de materia orgánica que ocurren en las zonas donde alcanzan mayor abundancia (ciénaga Brava y Tigre), por efectos de los aportes de la quebrada El Zarzal y de los vertimientos domésticos provenientes de asentamientos ubicados en el costado suroriental de la ciénaga.

Estas proporciones en que se encuentran las abundancias de las diferentes clases de algas, están acordes con lo reportado en trabajos realizados en otros planos de inundación. Prada (1995) encontró que para la ciénaga de Miramar, durante la época de alta precipitación, la densidad de los grupos de Euglenophyceae y Chlorophyceae se incrementa de manera importante; pasando a la transición hacia aguas bajas (precipitación en descenso) las Euglenophyceae y Chlorophyceae van dando paso, gradualmente a la proliferación de Cyanophyceae hasta que alcanzan su máxima densidad.

La abundancia del fitoplancton estuvo entre 312 y 742 cél.ml⁻¹ en superficie y entre 22 y 540 cél.ml⁻¹ a 2DS, los mayores valores de abundancia algal se presentaron en las estaciones Rincón de Sábalo y rincón de Brujas con 742 y 391 cel.ml⁻¹ en la superficie y 540 y 530 cel.ml⁻¹ a 2DS. Estas concentraciones son menores a lo reportado en otras ciénagas del río Magdalena como la de Miramar (Prada, 1995) y Guarinocito (López, 1999) y similares a lo reportado para la ciénagas de Chucurí y Aguas Negras en todos los períodos del año con 71 a 488 cel.ml⁻¹ (Pedraza, 1985) y a la de la ciénaga de Zapatosa para el período de altas lluvias con 658 cel.ml⁻¹ (Vina et al., 1991).

Arias (1977) reporta para las ciénagas en Colombia un estimativo de abundancia de algas de 0,56 x 10⁶ a 131,2 x 10⁶ cél.m⁻³, que resulta bajo, comparado con las abundancias obtenidas en este estudio (en promedio 374 x 10⁶ cél.m⁻³).



Tabla 2. Valores promedio, máximos y mínimos de las variables fisicoquímicas de la ciénaga de San Silvestre

VARIABLES	UNIDADES	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
Oxígeno superficial	mg.l ⁻¹	5,5	7,5			
Oxígeno de fondo	mg.l ⁻¹	0	0,17			
Temperatura superficial	°C	30,2	35,6			
Temperatura de fondo	°C	26,1	28,2			
pH	unidad	5.76	6.35	6.02	0.15	2.5
Alcalinidad	mg.l ⁻¹	6.52	12.16	10.55	1.48	14.1
CO ₂	mg.l ⁻¹	1.8	4.32	3.03	0.84	27.9
Dureza total	mg.l ⁻¹	10.85	15.88	12.51	1.35	10.8
Cloruros	mg.l ⁻¹	3.14	15.04	5.48	2.68	49.0
Hierro	mg.l ⁻¹	1.6	3.26	2.16	0.45	20.8
Color	U Pt-Co	40	175	123.89	28.62	23.1
Conductividad eléctrica	µS.cm.l ⁻¹	34.5	92	44.79	13.93	31.1
N. Amoniacal	mg.l ⁻¹	0.02	0.75	0.23	0.17	73.9
Nitritos	mg.l ⁻¹	0.006	0.019	0.01	0.004	50.5
Nitratos	mg.l ⁻¹	0.1	0.7	0.36	0.20	55.5
NKT	mg.l ⁻¹	0.2	3.5	1.34	1.14	85.3
Sólidos disueltos	mg.l ⁻¹	22	69	49.33	15.68	31.8
Sólidos suspendidos	mg.l ⁻¹	8	52	24.83	11.73	47.2
Sólidos totales	mg.l ⁻¹	41	114	74.17	16.91	22.8
DBO ₅	mg.l ⁻¹	4	11	7.33	2.17	29.6
DQO	mg.l ⁻¹	14	35	25.94	5.16	19.9
Sulfatos	mg.l ⁻¹	1	3	1.56	0.62	39.6
P. Total	mg.l ⁻¹	0.006	0.104	0.04	0.03	70.9
Ortofosfatos	mg.l ⁻¹	0.006	0.076	0.02	0.02	84.0
Sodio	mg.l ⁻¹	2.66	7.27	3.87	1.45	37.6

La clase Chlorophyceae presentó diferencias significativas de abundancia entre las estaciones de muestreo ($p < 0.01$), en donde Bocatoma, Brava y Sábalo generaron esta diferencia, como se observa en la Figura 4a. Igualmente se observó para las Bacillariophyceae ($p < 0.04$) cuyas abundancias de las estaciones Presa y Sábalo generaron la diferencia (Figura 4b). Las diferencias en las abundancias algales de las Bacillariophyceae y Chlorophyceae pueden estar relacionadas con estrategias específicas para un aprovechamiento más eficiente de los nutrientes, como es el caso de las diatomeas, que tienen una alta tasa metabólica en la utilización de los ortofosfatos disponibles (Darley, 1987). De otra parte, la disponibilidad de nitrógeno

en forma de nitratos y nitrógeno amoniacal favorece el crecimiento de las clorofíceas, como se ha observado en otros planos de inundación.

No se encontraron diferencias significativas para las clases Xanthophyceae ($p > 0.05$), Dinophyceae ($p > 0.10$), Euglenophyceae ($p > 0.10$), Zygothryx ($p < 0.1$) y Cyanophyceae ($p > 0.10$), posiblemente porque pese a diferencias locales relacionadas con la morfología de la cubeta de la ciénaga, las condiciones de mezcla permanente de las masas de agua, no permiten una diferenciación espacial prolongada que favorezca alguno de los grupos de algas indicados.



No se encontraron diferencias significativas (> 0.1) en la abundancia de las clases de algas en relación con la profundidad, debido a la ausencia de períodos prolongados de estratificación térmica que favorezcan su segregación vertical diferencial, por el contrario, la mezcla nocturna favorece la homogenización de posibles gradientes que se formen durante los eventos de estratificación diurna.

La clase Chlorophyceae es la que se registró con mayor número de especies, encontrándose 27, las cuales representan el 47% del total de las especies presentes en la ciénaga; entre las especies más abundantes de este grupo se destacan *Dyctiosphaerium pulchellum* y *Planktosphaeria gelatinosa*.

El grupo siguiente en orden descendente lo conformó la clase Euglenophyceae, que está representada por 18 especies, que constituyen el 31% del total. Las especies más abundantes de esta clase son *Trachelomonas volvocina* y *T. hispida*. De la clase Cyanophyceae se encontraron 4 especies que representan el 7% del total; de éstas la más abundante es *Oscillatoria limnética*. Las clases taxonómicas Xanthophyceae y Bacillariophyceae están representadas por tres especies cada una, las cuales representan en conjunto el 10,4% del total. Las especies más abundantes de estas dos clases son *Centritractus capillifer* para las Xanthophyceae y *Eunotia* sp.1 para las Bacillariophyceae.

Un grupo siguiente es el de las Dinophyceae, que constituyen el 3,4% de la abundancia total, está

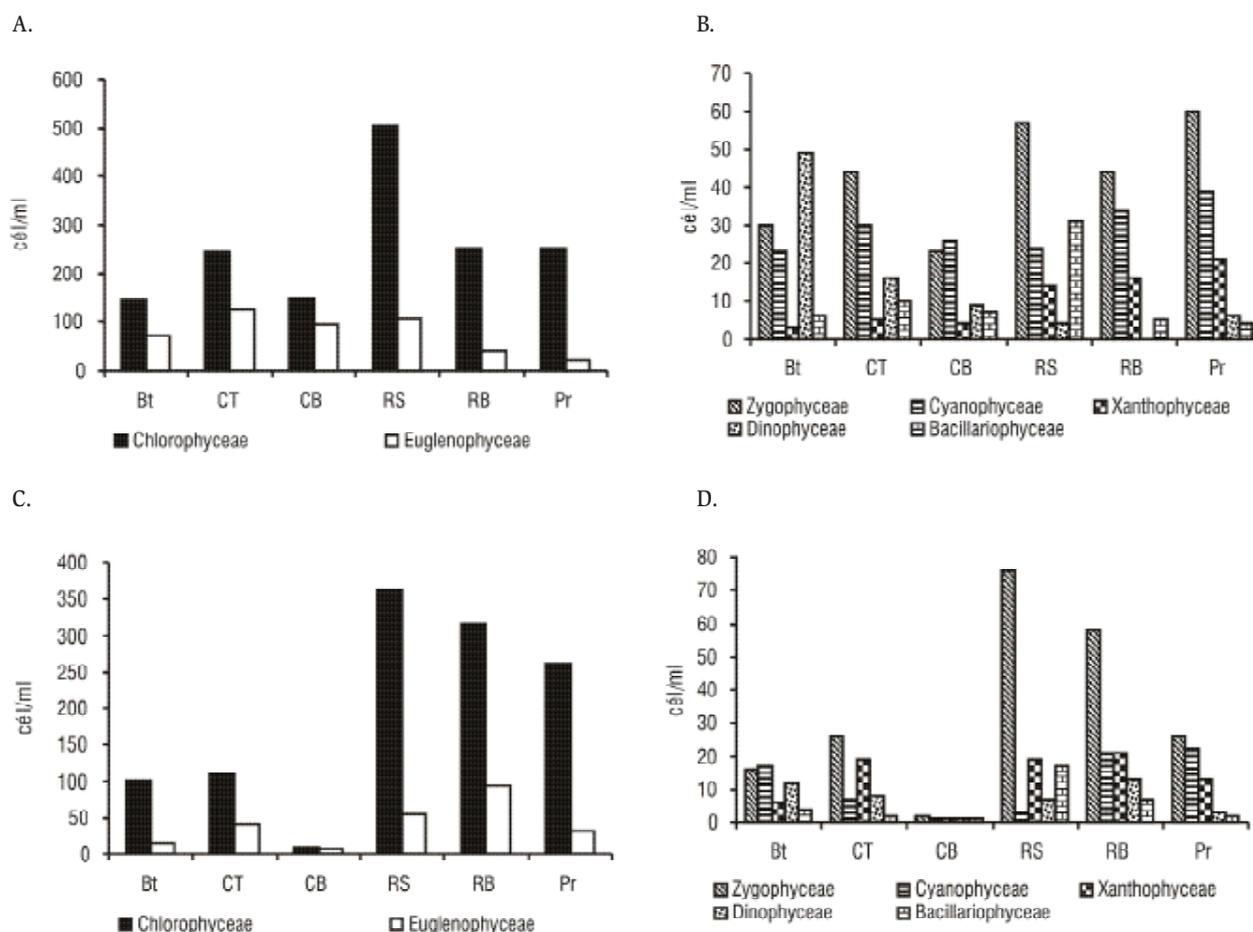


Figura 4. Abundancias absolutas de las algas fitoplanctónicas en la ciénaga de San Silvestre. A. Clases más abundantes en la superficie (1 DS). B. Clases menos abundantes en la superficie (1 DS). C. Clases más abundantes a 2 DS. D. Clases menos abundantes a 2 DS.



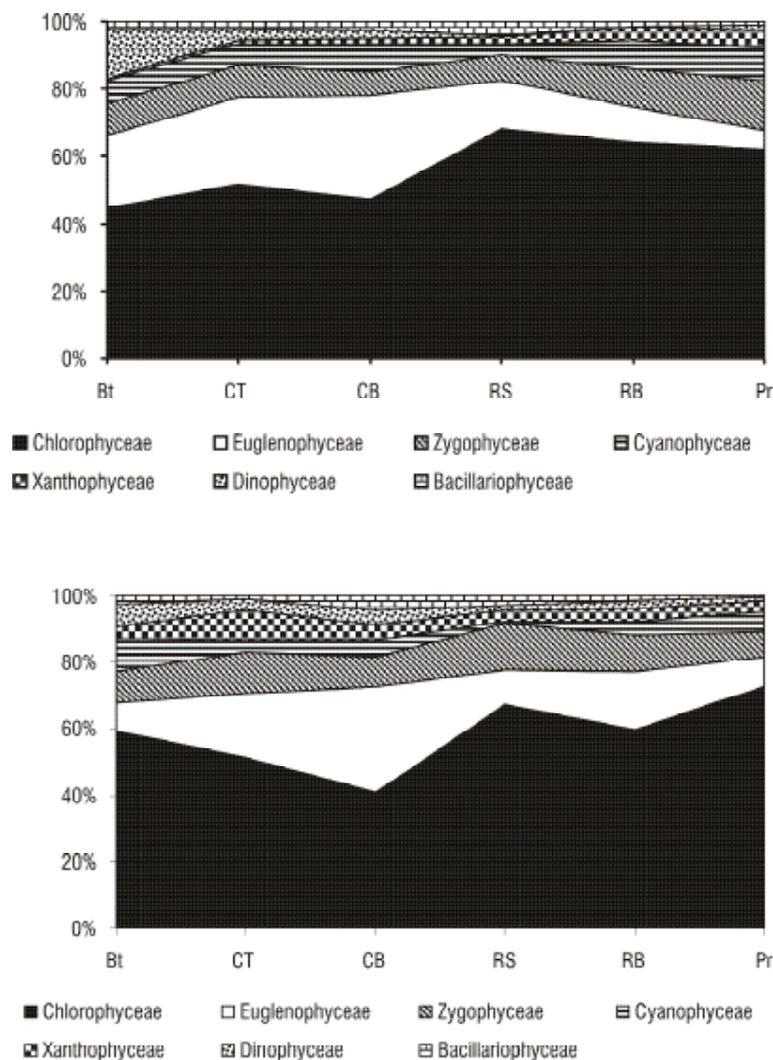


Figura 5. Abundancias relativas de las algas fitoplanctónicas en la ciénaga de San Silvestre. A. Superficie (1 DS). B. 2DS.

representado por las especies *Ceratium* sp. y *Peridinium* sp.; siendo esta última la más abundante.

CONCLUSIONES

La ciénaga de San Silvestre, se caracteriza por presentar bajos niveles de mineralización así como altas concentraciones de hierro total, en comparación con lo reportado para otros sistemas de ciénaga localizados en las cuencas media y baja del río Magdalena.

La menor valoración de los elementos relacionados con la mineralización de la ciénaga de San Silvestre, con respecto a lo reportado en la literatura para planos de inundación asociados al río Magdalena, es apenas esperable, y se explica por dos principales razones: Por

un lado, la ciénaga de San Silvestre es alimentada por un curso de agua de menor longitud que el río Magdalena, que en su relativo corto recorrido no alcanza los niveles de mineralización que si presenta este río, de tal forma que los aportes minerales a la ciénaga de San Silvestre también son menores.

De otra parte, la barrera física que significa la presa en la salida de la ciénaga, impide la recirculación de aguas desde el plano de inundación hacia ésta a través del caño de San Silvestre, de manera tal que no existe incorporación de materiales desde el plano inundable hacia la ciénaga.

La composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica en la ciénaga de San Silvestre, responde a las características fisicoquímicas de sus aguas, en

relación con la disponibilidad de nutrientes y el efecto perturbante de las masas de agua ocasionadas por los periódicos eventos de estratificación y mezcla.

Aunque no existen diferencias significativas en las abundancias de la mayoría de las clases de algas entre las estaciones muestreadas, su composición responde de manera inmediata a la mayor o menor disponibilidad de nutrientes presente en un momento dado. Es así como las poblaciones de euglenofíceas y clorofíceas dominan la biomasa fitoplanctónica de la ciénaga y es posible encontrar diferencias significativas en la abundancia algal para las estaciones Bocatoma, rincón de Sábalo y ciénaga Brava (Chlorophyceae) y para presa y rincón de Sábalo (Bacillariophyceae).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Luis Manjarrés y Felix Cuello por sus sugerencias en la selección del diseño para el manejo numérico de la información y la aplicación del programa estadístico utilizado.

BIBLIOGRAFÍA

Andrade, C.E.; N.J. Aranguren; G.Y. Cárdenas; H.E. Florido; W. López; G. Oquendo; P. Patiño y G. Rueda. 1992. Estudio limnológico de tres lagunas del Páramo de Chisacá (Cundinamarca). Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. 600 p.

APHA - AWWA - WPCF. 1995 Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington. 1080 p.

Bicudo, C. y M. Bicudo. 1970. Algas Continentais Brasileiras. Fundacao Brasileira para o desenvolvimento do ensino de ciencias. Sao Paulo, Brasil. 250 p.

Cole, G. 1988. Manual de limnología. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 550p.

Comas, V.A. 1991. Taxonomical review of the coenobial chlorococcal algae from Cuba. III. Fam. Scenedesmeceae. Algological Studies. 61: 55-94.

Comas, V.A. 1996. Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba. Bibliotheca Phycologica 99: 1-192.

Cuartas, J. 1999 Caracterización fisicoquímica y productividad fitoplanctónica de la Ciénaga de Guarinocito (Caldas, Colombia). Tesis M.Sc. Universidad de los Andes Santa Fe de Bogotá, Colombia. 93 p.

Darley, W.M. 1987. Biología de las algas, enfoque fisiológico. Editorial Limusa, México. 252 p.

Deluque, J., S. Reyes, T. Sierra-Labastidas y W. López. 2006. Primeros reportes de familias de macroinvertebrados asociados a macrofitas acuáticas en la ciénaga del Cerro de San Antonio (río Magdalena, Colombia). Revista Intropica. 3(1): 60-69.

Donato, J.C., S. Duque y E. Mora-Osejo. 1987. Estructura y dinámica del fitoplancton de la laguna de Fúquene (Cundinamarca- Colombia). Rev. de la Acad. Col. de Cien. Exac. Fis. y Nat. 16:113-144).

Duque, S. 1995. Euglenofitas pigmentadas de la Amazonia colombiana. Rev. de la Acad. Col. de Cien. Fis. Exac. y Nat. 19: 651-659.

Duque, S. y J.C. Donato. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. Cuadernos Divulgativos de la U. Javeriana. 35:1-21.

Duque, S. & M. Nuñez - Avellaneda. 1997. Ficoflora de algunos ambientes acuáticos de la Amazonia colombiana. Caldasia. 19: 37-42.

García, L. C. & F. Dister. 1990. La planicie de inundación del medio y bajo Magdalena: Restauración y conservación de hábitats. Interciencia 15(6): 396-410.

Hegewald, E. & P.C. Silva. 1988. Annotated catalogue of Scenedesmus and nomenclaturally related genera, including original descriptions and figures. Bibliotheca Phycologica 80: 1-587.

Ingetec, 1996. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Hidroeléctrico del río Sogamoso. ISAGEN S.A. - E.S.P. Bogotá. Colombia. 2500 p.

Junk, W.J., P.B. Bayley y R.E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river - floodplain systems. En Dodge, D.P. (De). Proceedings of the international large river symposium. Can. Sper. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106:110-127.

Komarek, J. & B. Foot. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung: Chlorococcales. Band 7(1) en: G. Huber-Pestalozzi (ed). Das Phytoplankton des Süßwassers: Systematik und Biologie, Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 1044 p.

Lund, J.W., C. Kipling & E.D. Le Creen. 1958. The inverted microscope method of estimation algal numbers and the statistical basis of estimation by counting. Hydrobiologia 11: 143-170.

Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 630p.

Margalef, 1977. Ecología. Ed. Omega. Barcelona, España. 760p.

Margalef, R. 1983. Limnología. Ed. Omega. Barcelona, España. 800p.

Parra, O. O., M. González, V. Dellarrosa, P. Rivera y M. Orellana. 1982a. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Volumen I. Cyanophyceae. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 70p.

Parra, O. O., M. González, V. Dellarrosa, P. Rivera y M. Orellana. 1982b. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Volumen II. Chrysophyceae - Xanthophyceae. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 82p.

Parra, O. O., M. González, V. Dellarrosa, P. Rivera y M. Orellana. 1982c. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Volumen III. Cryptophyceae - Dinophyceae - Euglenophyceae. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 99p.

Parra, O. O., M. González, V. Dellarrosa. 1983. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Volumen V. Chlorophyceae. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 353p.

Pedraza, G.S. 1985. Estructura de la comunidad fitoplanctónica de las Ciénagas de Chucurí y Aguas Negras. Tesis de pregrado. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 220 p.

Pedraza, G. E., G. Márquez & L. C. García. 1989. Aspectos hidro-limnológicos en las ciénagas de Chucurí y Aguas Negras (Magdalena medio, Colombia, durante un ciclo anual). Acta Biológica Colombiana 1(5): 9-22.

Plata-Díaz J., J. C. Donato y R. Gavilán-Díaz. 2000. Estructura y dinámica de la comunidad fitoplanctónica en un lago de inundación de la cuenca del Magdalena medio santandereano (Colombia). IV Seminario Nacional de Limnología. Bogotá, Colombia. 290p.



Prada, S. 1995. Estudio de la comunidad fitoplanctónica y aspectos fisicoquímicos de la Ciénaga de Miramar (Barrancabermeja, Santander). Tesis de pregrado Universidad Javeriana. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 420p.

Prescott, G.W., H.T. Croasdale y W.C. Vinyard. 1972. North American Flora. Part 6. The New York Botanical Garden. 125p.

Ramos-Ortega, L.M., E. Fontalvo y W. López. 2006. Aproximación a las condiciones limnológicas de un plano del bajo río Magdalena durante un ciclo diario. Revista Intropica. 3(1): 70-84.

Reynolds, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. London 320p.

Rivera, P. O., O. Parra, M. González, V. Dellarrosa, y M. Orellana. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Volumen IV. Bacillariophyceae. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 97p.

Roldán, G 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 529 p.

Ruiz, E. 1995. Limnología fisicoquímica y una aproximación a la producción primaria de la ciénaga de Zapatosa. Tesis de MSc. Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia. 100 p.

Ruiz, J., M.C. Fandiño, G.E. Romero & M. Guevara. 1996. Contaminación de peces por metales pesados en el río Magdalena. Licania arborea. 1(1):18-22.

Sant`Anna, C. 1984. Chlorococcales (Chlorophyceae) do Estado de Sao Paulo, Brasil. Bibliotheca Phycologica 67: 1-350.

Sant`Anna, C. & D. Martins, 1982. Chlorococcales (Chlorophyceae) dos lagos Cristalino e Sao Sebastiao, Amazonas, Brasil. Taxonomia e aspectos limnológicos. Revista Brasileira de Botânica. 567-62.

Tell, G. & V. Conforti. 1986. Euglenophyta pigmentadas de la Argentina. Biblioteca Phycologica. 75:1-301.

Toro, I., G. Arias, J. Duque, M. Ramírez, M. Romero, G. Roveda, C. Sánchez & C. Terán. 1996. Búsqueda de un modelo para el manejo sostenible de los ecosistemas de La Mojana. Licania arborea. 1(1):32-36.

Villafañe, V.E. & F.M.H. Reid. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. Págs. 169-185 en: K. Alveal, M.E. Ferrario, E.C. Oliveira y E. Sar. (ed). Manual de métodos ficológicos. Concepción, Chile.

Viña, G; A. Ramírez; L. Lamprea; B. Garzón; U. Shmidt-Mumm; E. Rondón y C. Flórez. 1991. Ecología de la Ciénaga de Zapatosa y su relación con un derrame de petróleo. ECOPETROL. Distrito Caño: Limón Coveñas, Cúcuta, Colombia. 130p.

Zuluaga, B.P. 1996. Las dinámicas del río Magdalena. Licania arborea. 1(1):24-30.

Fecha de recepción: 20/12/04

Fecha de aceptación: 15/12/05

