

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA CIÉNAGA DE SAN SEBASTIÁN, COMPLEJO CENAGOSO DEL BAJO SINÚ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA – COLOMBIA

Blanca Leguízamo Betancourth
Universidad de Córdoba

Martha Mogollón Arismendy
Universidad de Córdoba

Santiago R. Duque
Universidad Nacional de Colombia

William López
Ingetec Colombia

Recibido: junio 4, 2009 Aceptado: junio 9, 2009

Resumen

En la ciénaga de San Sebastián, Complejo Cenagoso del Bajo Sinú, se evaluó la distribución espacial y temporal del fitoplancton para lo cual se establecieron en la ciénaga, entre Agosto de 2005 y Febrero de 2007, dos puntos de muestreo: uno en la zona litoral y otro en la parte limnética. Se tomaron muestras cualitativas y cuantitativas en diferentes épocas climáticas y a diferentes profundidades según el disco Secchi, con una red de fitoplancton de 55 μm y con botella Van Dorn, respectivamente. Se registraron 231 taxones pertenecientes a las divisiones Chlorophyta, Euglenophyta, Heterokontophyta, Cyanophyta, Pyrrophyta y Xanthophyta en orden de riqueza específica. En cuanto al número de individuos, tanto en la zona litoral como en la limnética y en las diferentes profundidades (S y DS) la división Cyanophyta fue la más abundante, en especial *Lyngbya sp.* Durante las lluvias, la división Chlorophyta presentó el mayor número de especies, pero las Cyanophytas la mayor densidad de individuos. A comienzos de la época de lluvias dominaron las Heterokontophyta con la especie *Navicula sp3*. En la época seca, Cyanophyta nuevamente registró la mayor densidad, en particular *Raphidiopsis sp5* y *Lyngbya sp.*

Palabras claves: Ciénaga, Caribe, Fitoplancton, estructura, limnología.

Abstract

The phytoplanktonic spatial and temporal distribution of the San Sebastian marsh was evaluated. For this purpose, two sampling points were established in the marsh: one in the coastal zone and another in the inland zone between August 2005 and February 2007. Quantitative and qualitative samples were taken in different climatic seasons and different depths, according to the Secchi disc, with a 55- μm phytoplankton net and a Van Dor bottle, respectively. Two-hundred thirty one taxons were registered from the Chlorophyta, Euglenophyta, Heterokontophyta, Cyanophyta, Pyrrophyta, Xanthophyta, and Phylum Ochrophyta divisions in order of specific wealth. Regarding the number of individuals, in both marsh points and at different depths (S and SD), the Cyanophyta division was the most abundant – especially the *Lyngbya sp* specie. During the rainy season (high waters), Chlorophyta had the highest number of species, but Cyanophyta had the highest number of individuals. At the beginning of the rainy season Heterokontophyta dominated with the *Navicula sp3* specie. During the dry season (low water), Cyanophyta again registered the highest density with the *Raphidiopsis sp5* and *Lyngbya sp* species.

Keywords: Marsh, Caribbean, phytoplankton, structure, limnology

1 Introducción

El Río Sinú posee dos grandes sistemas cenagosos: la ciénaga de Betancí y el Complejo Cenagoso del Bajo Sinú (CCBS). Este último ambiente se encuentra en la margen derecha del río y a éste pertenecen 22 ciénagas de las cuales hace parte la ciénaga de San Sebastián (Figura 1). Estas ciénagas deben su comportamiento limnológico a los cambios de caudal del río. A finales del año 1999 se construyó la central hidroeléctrica Urrá I con lo que se presentó un régimen controlado de las aguas del Sinú y consecuentemente cambios en la dinámica de las ciénagas. Además, los terrenos aledaños a estos cuerpos de agua son utilizados para ejercer actividades agrícolas con las que se vierte gran cantidad de plaguicidas, pesticidas y otros compuestos químicos. La actividad doméstica por parte de las comunidades aledañas a estos ecosistemas también han causado cambios en la estructura fitoplanctónica de los mismos. Por esta razón, los estudios encaminados al entendimiento del comportamiento de las comunidades microalgales de estos cuerpos de agua son de vital importancia para poder contribuir a la conservación y manejo sostenible de los mismos. La comunidad fitoplanctónica constituye un grupo importante para estudiar la dinámica de los ecosistemas acuáticos ya que es una comunidad que refleja de manera rápida los cambios ecológicos [5]. Teniendo en cuenta lo expuesto, se planteó evaluar la ecología funcional de la comunidad fitoplanctónica en la ciénaga de San Sebastián (CCBS) realizando muestreos en diferentes períodos hidrológicos durante un año. Para ello se revisaron aspectos como la estructura de la comunidad (composición y abundancia) durante dos momentos hidrológicos (época seca y de lluvias), distribución espacial (diferentes puntos dentro de la ciénaga) y la distribución vertical en la columna de agua y su relación con las variables físicas y químicas de las aguas en los sitios y períodos indicados.

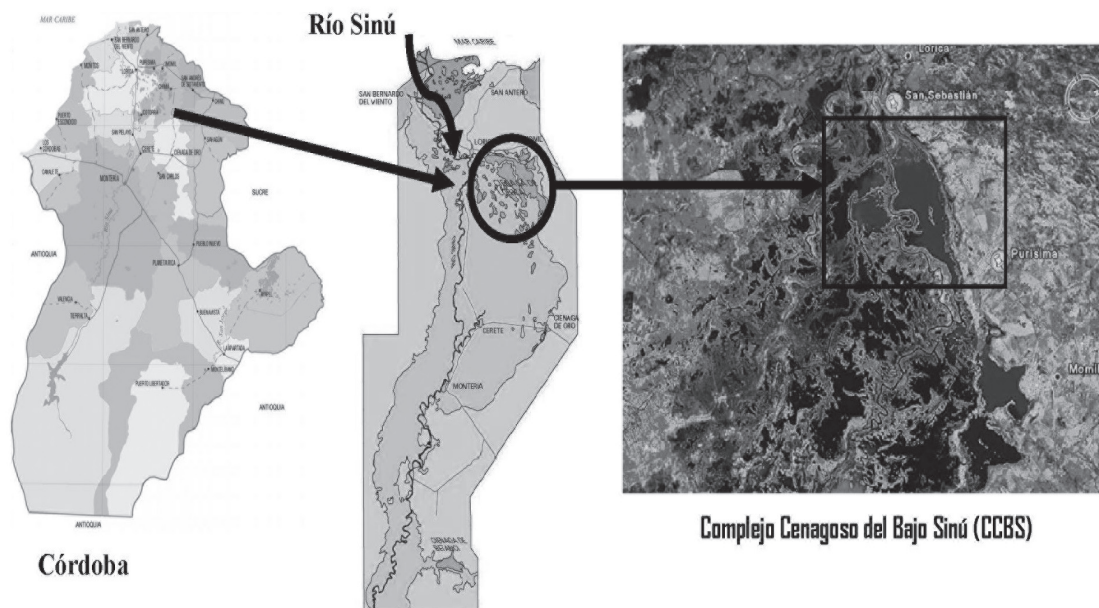


Fig.1. Ubicación del CCBS y la Ciénaga de San Sebastián.

2 Materiales y métodos

En la ciénaga de San Sebastián se realizaron muestreos en dos puntos, uno en la zona limnética (Latitud Norte a 9°13'32,6" y longitud Oeste a 75°46'44,3") y otro en la zona litoral (Latitud Norte 9°13'30,2" a y longitud Oeste a 75°46'18,1") y además teniendo en cuenta el ciclo hidrológico anual y siguiendo el modelo planteado por García *et al.* [6], se realizaron cuatro muestreos, dos en cada época climática de aguas altas (agosto de 2005 y mayo de 2006) y aguas bajas (diciembre de 2005 y febrero de 2007). Para las muestras cualitativas se realizaron arrastres superficiales en forma circular en la zona limnética y en la zona litoral de la ciénaga, durante aproximadamente cinco minutos, con una red cónica, de un diámetro de boca de 50 cm, diámetro de poro y colector con filtro de 55 micras. Las muestras cuantitativas fueron tomadas a dos profundidades según el valor del disco Secchi (Superficial y DS) con una botella Van Dorn. De cada profundidad se tomaron tres muestras (réplicas), cada una de 200 ml. Las muestras fueron contadas por sedimentación en cámaras Utermöhl [21]. Para comprender el comportamiento global del sistema en cuanto a variables físicas y químicas, se evaluó: pH (unidades), Conductividad (microS/cm), OD (mg/L), Temperatura (°C). En cuanto a nutrientes se evaluó nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), (NH_4), Fosfatos (PO_4) y silicatos (SiO_2). Estos datos fueron tomados y analizados por el Laboratorio de Aguas de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería. Adicionalmente se tomaron datos de campo relacionados con la nubosidad, transparencia (disco Secchi), profundidad y color del agua (Tabla 1).

Variable	Unidades	Método y/o Equipo
Transparencia	cm	Disco secchi
Conductividad eléctrica	$\mu\text{s/cm}$	Conductímetro YSI 33
Saturación de oxígeno	%	Oxímetro YSI 55 Standard Methods 4500-OG
Oxígeno disuelto	Mg/L	Oxímetro YSI 55 Iodométrico Standard Methods 4500-OC
Temperatura	°C	Oxímetro YSI 55
pH	Unidades de pH	Potenciómetro WTW pH 330
Amonio NH_4	Mg/L	Standard Methods 4500 edición 20.
Silicato SiO_4 -2	Mg/L	Standard Methods 4500 edición 20.
Nitrato NO_3	Mg/L	Standard Methods 4500 edición 20.
Nitrito NO_2	Mg/L	Standard Methods 4500 edición 20.
Fosfato PO_4 -3	Mg/L	Standard Methods 4500 edición 20.

Tabla 1. Método y/o equipo para la edición de variables físicas y químicas de la ciénaga de San Sebastián.

Los análisis en el laboratorio se realizaron siguiendo en todos los lineamientos, protocolos y procedimientos consignados en el documento “métodos normalizados para análisis de aguas potables y aguas residuales (Standard Methods)” [2].

Los datos obtenidos en cada muestreo se organizaron en matrices donde se registraron las especies y sus respectivas abundancias (ind/L) y para obtener una visión general, se transformaron a porcentaje (abundancia relativa). Se realizaron curvas de acumulación con el programa EstimateS 6.0b1 [16] utilizando el estimador no paramétrico Bootstrap. Con el objeto de examinar todos los datos físicos y químicos se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) de correlación [10]. Para establecer los posibles patrones de distribución espacial, a partir de los valores de composición y abundancia fitoplanctónica, se emplearon conjuntamente dos técnicas de análisis multivariado: clasificación y ordenación. Para el análisis de clasificación se empleó el CLUSTER del programa “PLYMOUTH ROUTINES IN MULTIVARIATE ECOLOGICAL RESEARCH V5” (PRIMER v5) [3,4], este se realizó aplicando el índice de similaridad de Bray-Curtis, y empleando como estrategia de agrupamiento el ligamiento promedio. Para el análisis de ordenación se empleó la técnica “Escalamiento Multidimensional No Métrico” (nMDS). Con los rangos obtenidos a partir de la matriz de similaridad construido mediante la rutina CLUSTER, se calculó el algoritmo del nMDS, basado en el proceso computacional señalado por Carr [3]. Para establecer posibles correlaciones entre la variación de las abundancias de la especie (comunidad) y cambios de las variables ambientales medidas se utilizó la versión de correlación del Análisis Canónico de Coordenadas Principales (CAP de correlación) usando el programa Canonical Analisis of Principal coordinates (CAP) [1]. Con el fin de conocer el estado general de la diversidad, en cada una de las estaciones de muestreo se efectuó un análisis de medidas de diversidad empleando los índices de Shannon, uniformidad (equidad) y Simpsons con el programa PAST versión 1.40. 2006. En este trabajo se calcularon índices para diversidad alfa planctónico simple y compuesto.

3 Resultados

3.1 Composición taxonómica

Durante el período comprendido entre Agosto de 2005 y Febrero de 2007 en la ciénaga de San Sebastián se registró un total de 231 especies pertenecientes a las divisiones Euglenophyta, Cyanophyta, Heterokonthophyta, Chlorophyta, Xanthophyta y Pyrrophyta distribuidas en 25 órdenes, 37 familias y 71 géneros. Se presentó un mayor número de especies de la división Chlorophyta con 80 especies, lo que corresponde al 34% de las especies registradas para la ciénaga, Euglenophytas 50 (22%), Heterokonthophytas 47 (20%), Cyanophytas 46 (20%), Xanthophytas 5 (2%) y Pyrrophytas 4 (2%; Figura 2).

3.2 Riqueza específica del fitoplancton

La división Chlorophyta presentó la mayor riqueza específica en todos los muestreos (tanto en aguas altas como en aguas bajas). En el mes de agosto se reportó un total de 88 especies. En este mes Chlorophyta abarcó el 33% de los individuos reportados, seguido de Cyanophyta (26%), Heterokonthophyta (22%), Euglenophyta (13%), Xanthophyta (5%) y Pyrrophyta (1%). En diciembre se registraron 103 especies pertenecientes a las divisiones Chlorophyta (36%), Cyanophyta (25%), Heterokonthophyta (17%), Euglenophyta (16%), Xanthophyta (4%) y Pyrrophyta (2%). Para el mes de mayo se registraron un total de 162 especies pertenecientes a las divisiones Chlorophyta (31%), Euglenophyta (29%), Heterokonthophyta (20%), Cyanophyta (17%) Pyrrophyta (2%) y Xanthophyta (1%).

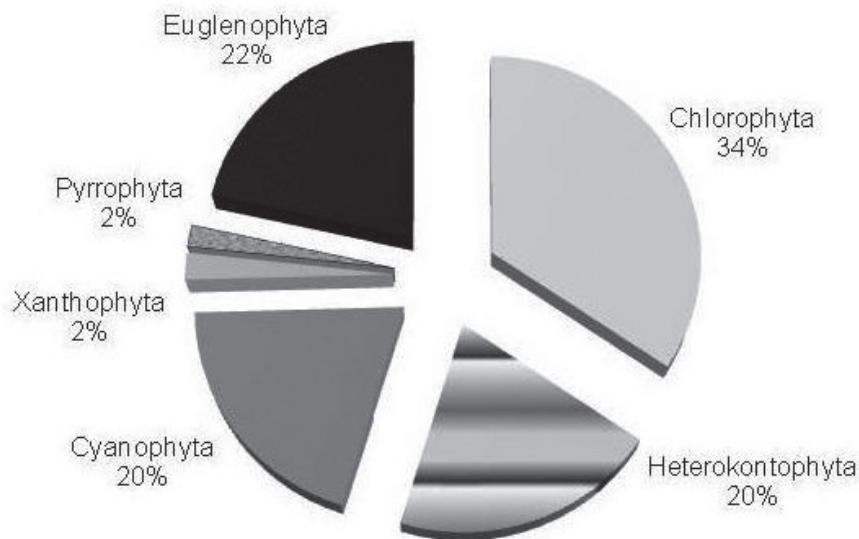


Fig. 2. Composición porcentual del fitoplancton en la Ciénaga de San Sebastián durante todo el período de muestreo.

En febrero, el número de especies llegó a 100 perteneciendo a las divisiones Chlorophyta (30%), Heterokonthophyta (29%), Euglenophyta (20%), Cyanophyta (19%), Xanthophyta (1%) y Pyrrophyta (1%; tabla 2).

En la zona litoral se reportó un total de 191 especies. En esta zona Chlorophyta presentó la mayor riqueza específica con 62 especies correspondientes al 31% de las especies registradas para este punto, 45 especies pertenecían a la división Euglenophyta (24%), a Heterokonthophyta 42 (22%), Cyanophyta 36 (19%), Xanthophyta y Pyrrophyta 3 especies cada una (4%). En la zona limnética se reportó un total de 167 especie. En esta zona las Chlorophytas también tuvieron la mayor riqueza específica con 60 especies, 35% de las especies registradas para este punto, seguidas de las divisiones Heterokonthophyta con 36 (22%), Cyanophyta 31 (19%), Euglenophyta 31 (19%), Xanthophyta 5 (3%) y Pyrrophyta 4 (2%).

División	Agosto	Diciembre	Mayo	Febrero
Chlorophyta	30	37	51	30
Heterokonthophyta	19	18	33	29
Cyanophyta	23	26	27	19
Euglenophyta	11	16	47	20
Xanthophyta	4	4	1	1
Pyrrophyta	1	2	3	1

Tabla 2. Riqueza específica de las divisiones en cada época de muestreo

3.3 Abundancia del fitoplancton

En la ciénaga de San Sebastián se registró un total de 8081 individuos. Aunque las Chlorophytas presentaron la mayor riqueza específica la división Cyanophyta fue la más abundante con 5095 ind/L (63%), especialmente de tipos filamentosas o delgadas, seguida de las divisiones Chlorophyta con 1697 ind/L (21%), Heterokonthophyta con 1124 ind/L (14%), Euglenophyta 143 ind/L (1,77%), Xanthophyta con 19 ind/L y Pyrrophyta con 3 ind/L (22%; Figura 3).

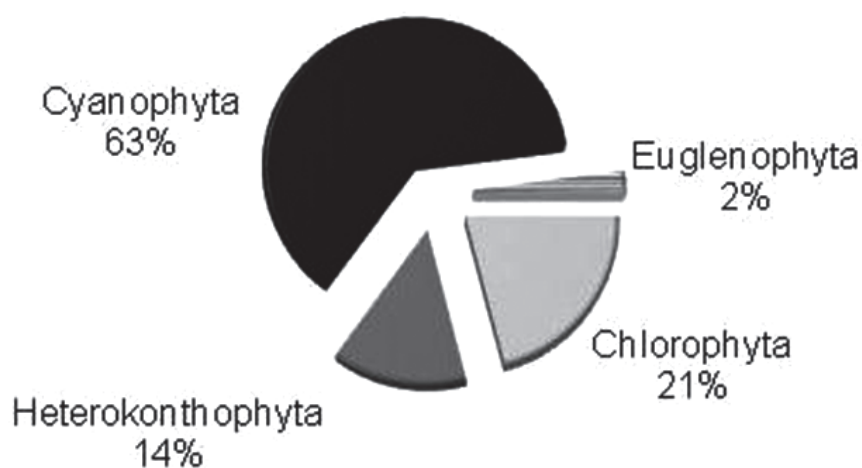


Fig. 3. Abundancia del fitoplancton en la Ciénaga de San Sebastián durante todo el periodo de muestreo.

Se destaca la dominancia de la especie *Lyngbya sp* en la ciénaga de San Sebastián con 2,599 ind/L (32,16%) pero sus valores fluctuaron en las diferentes épocas y puntos de muestreo. La segunda especie más abundante fue *Raphidiopsis sp5* con 1154 ind/L (14,28%) seguida de *Chroococcus sp1* con 941 ind/L (11,64%), *Navicula sp3* con 691 ind/L (8,55%), *Anabaena circinalis* con 510 ind/L (6,31%; figura 4).

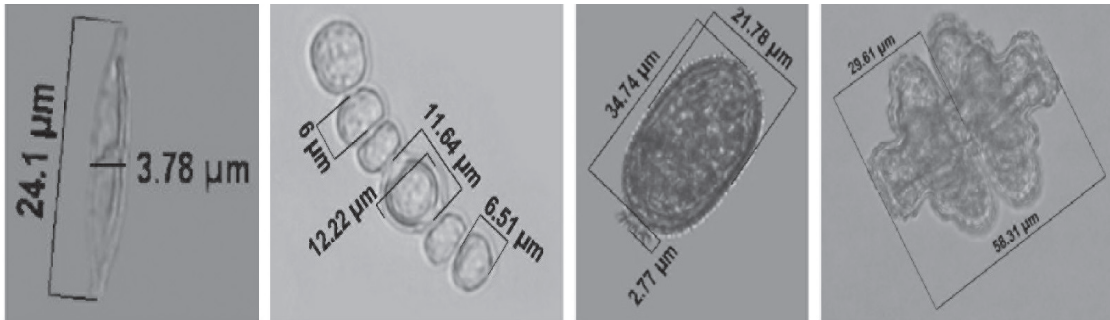


Fig. 4. Fotos y mediciones de algunas microalgas encontradas en la ciénaga de San Sebastián. a, *Navicula* sp3 b, *Anabaena circinalis* c, *Trachelomonas sydneyensis* d, *Euastrum verrucosum*.

En el mes de agosto se registró un total de 2686 ind/L. La división Cyanophyta fue la más abundante en este muestreo con 1829 ind/L (68%) seguida de las divisiones Chlorophyta con 657 ind/L (24,46%), Heterokonthophyta con 153 ind/L (5,7%), Euglenophyta con 38 (1,41%). En diciembre se reportaron 3050 ind/L. La mayoría pertenecientes a la división Cyanophyta con 2433 ind/L (79,77%). En orden de abundancia también se registraron las divisiones Heterokonthophyta con 308 ind/L (10,10%), Chlorophyta con 256 ind/L (8,39%), Euglenophytas con 50 ind/L (1,64%) y Xanthophyta con 3 ind/L (0,1%). En el mes de mayo el número de individuos contados fue de 852 ind/L. La división Heterokonthophyta fue la más abundante en este muestreo con 529 ind/L (61%) seguida de Cyanophyta con 159 ind/L (18,6%), Chlorophyta con 154 ind/L (18%), Pyrrophyta con 17 ind/L (2%), Xanthophyta con 2 ind/L y Euglenophyta con 1 ind/L. En Febrero se reportaron 1493 ind/L, de los cuales la división más representativa fue Cyanophyta con 674 ind/L (45,14%), seguida de Chlorophyta con 630 ind/L (42,2%), Heterokonthophyta con 144 ind/L (9,65%), Euglenophytas con 38 ind/L (2,55%), Xanthophyta con 5 ind/L (0,33%) y Pyrrophyta con 2 ind/L (0,1%). A pesar de que Euglenophyta fue la tercera división más diversa mantuvo un bajo número de ind/L durante todos los muestreos (Figura 5).

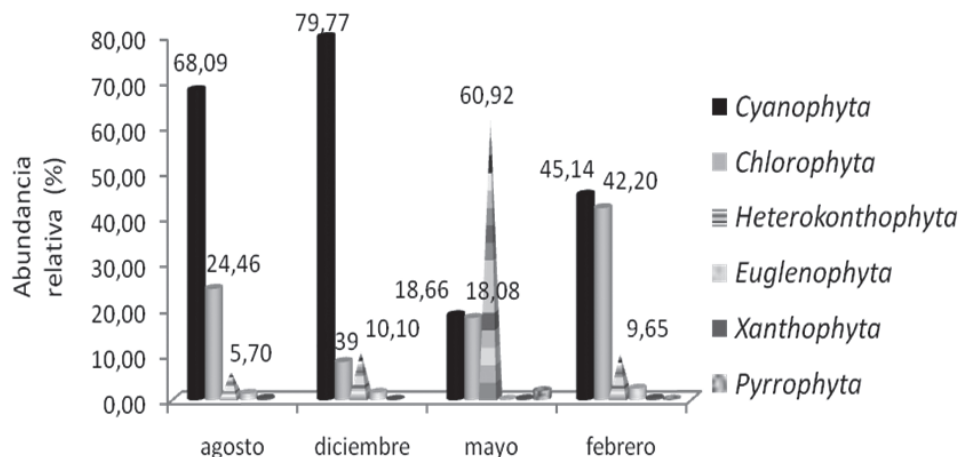


Fig. 5. Abundancia relativa de cada una de las divisiones en la Ciénaga de San Sebastián en cada muestreo (mes).

Se reportaron 2476 ind/L en la zona litoral, donde la división con mayor número de individuos fue Cyanophyta con 1757 ind/L (70,96%), seguida de Chlorophyta con 298 ind/L (12,04%), Heterokonthophyta con 277 ind/L (11,19%), Euglenophyta con 76 ind/L (3,07%), Pyrrophyta con 56 ind/L (2,26%) y Xanthophyta con 12 ind/L (0,48%). Cabe destacar que la división Chlorophyta a pesar de ser la más diversa fue la segunda en abundancia después de las Cyanophytas. En la zona limnética se reportó un total de 5605 ind/L. La cantidad de individuos de Cyanophyta fue mayor en la zona limnética con 3282 ind/L (58,55%) y en orden de abundancias estuvo seguida de Chlorophyta con 1399 ind/L (24,96%), Heterokonthophyta 847 ind/L (15,11%), Euglenophyta 67 ind/L (1,2%) Xanthophyta con 7 ind/L (0,12%) y Pyrrophyta con 3 ind/L (0,05%; Figura 6).

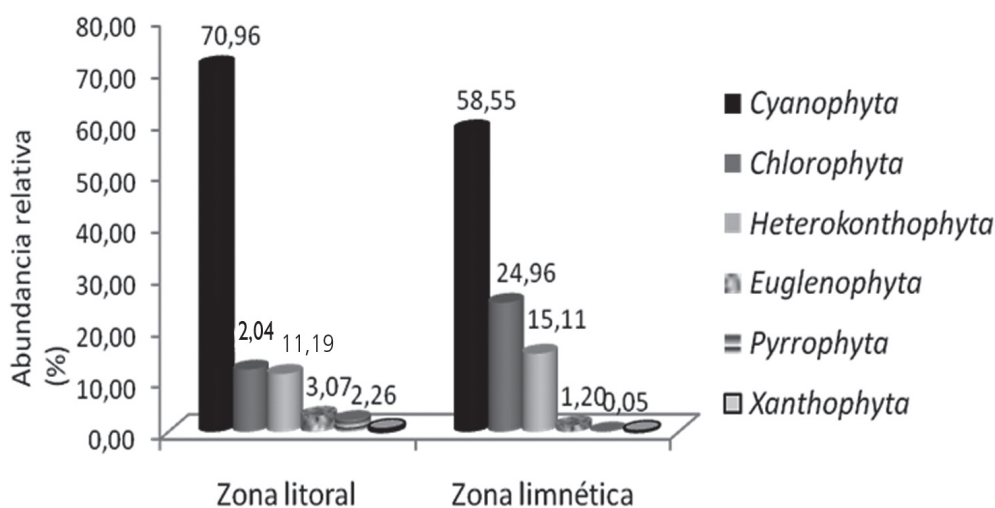


Fig. 6. Abundancia relativa por división en ambos puntos de muestreo (Zona Litoral y Zona Limnética) en la Ciénaga de San Sebastián.

3.4 Distribución vertical del fitoplancton

Todas las divisiones reportadas en la ciénaga mostraron preferencia por la superficie. En esta profundidad se reportaron un total de 4681 ind/L y la división más abundante fue Cyanophyta con 2634 ind/L (56,27%) seguida de Chlorophytas con 960 ind/L (20,51%), Heterokonthophyta con 914 ind/L (19,53%), Euglenophyta 103 ind/L (2,2%), Pyrrophyta con 53 ind/L (1,13%) y Xanthophyta con 17 ind/L (0,36%). En DS se registraron 3400 ind/L siendo Cyanophyta la división más abundante con 2405 ind/L (70,74%) seguida de Chlorophyta con 737 ind/L (21,68%), Heterokonthophyta con 210 ind/L (6,18%), Euglenophyta con 40 ind/L (1,18%), Pyrrophyta con 6 ind/L (0,17%) y Xanthophyta con 2 ind/L (0,59%).

El género *Lyngbya* fue el más abundante en la superficie con 987 ind/L (21,09%) seguido de *Raphidiopsis* con 933 ind/L (19,93%), *Chroococcus* con 714 ind/L (15,25%), *Navicula* con 585 ind/L (12,5%), *Anabaena* con 346 ind/L (7,39%), *Phormidium* 196 ind/L (4,19%), *Cyclotella* con 188 ind/L (4,02%).

En DS *Lyngbya* también fue el género más abundante con 1612 ind/L (47,41%) seguida de *Chroococcus* con 620 ind/L (18,24%), *Raphidiopsis* con 454 ind/L (13,35%), *Anabaena* con 244 ind/L (7,18%), *Navicula* con 106 ind/L (3,12%), *Phormidium* con 86 ind/L (%), *Cyclotella* con 24 ind/L (%). También se reportaron géneros como *Acanthosphaera*, *Actinastrum*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Oscillatoria*.

En relación a las especies, *Lyngbya sp* fue la especie más abundante en superficie con 987 ind/L (21,09%) seguida de *Raphidiopsis sp5* con 795 ind/L (16,98%), *Navicula sp3* con 585 ind/L (12,5%), *Chroococcus sp1* con 607 ind/L (7,14%), *Anabaena circinalis* con 275 ind/L (5,87%) y otras especies menos abundantes. *Lyngbya sp* volvió a ser la especie más abundante en DS con 1612 ind/L (47,41%) seguida de *Chroococcus sp1* con 607 ind/L (17,85%), *Raphidiopsis sp5* con 359 ind/L (10,56%), *Anabaena circinalis* con 235 ind/L (6,91%), *Navicula sp3* con 106 ind/L (3,12%; Figura 34). El resto de especies registradas en la ciénaga de San Sebastián presentaron menor densidad (Figura 7).

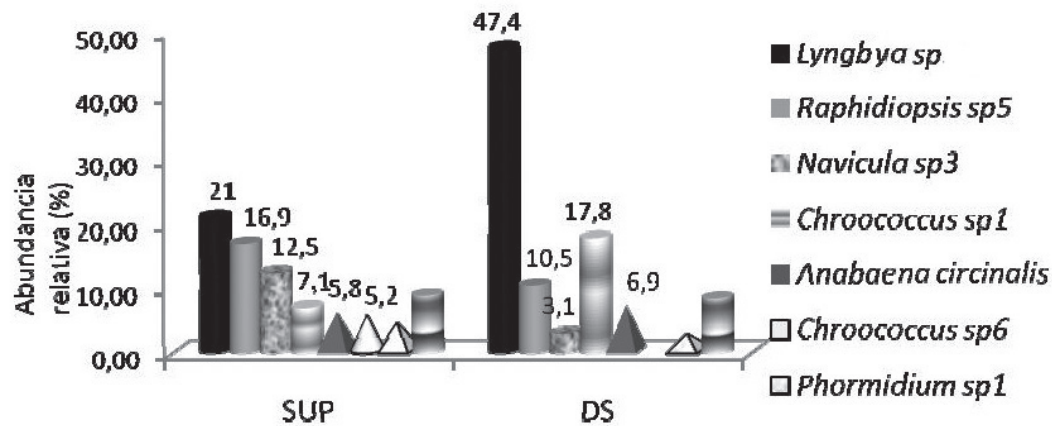


Figura 7. Abundancia relativa por especies en ambas profundidades (superficie y DS) en la Ciénaga de San Sebastián.

3.5 Variables físicas y químicas

Se reportaron cambios significativos en las condiciones limnológicas de las aguas de la Ciénaga. La temperatura no registró marcadas diferencias entre los diferentes períodos hidrológicos pero sí mayores en los dos primeros meses, al parecer por la renovación de las aguas [7]. En mayo y febrero hubo una disminución de la temperatura. Comparando los datos de conductividad obtenidos en la ciénaga durante el período de muestreo con valores registrados en el año 2003 por UPB-URRÁ, se pudo observar un incremento histórico de este parámetro limnológico. En la ciénaga de San Sebastián se registra un cambio altamente significativo de la conductividad entre aguas altas y aguas en descenso, Así, los mayores valores se registraron en épocas secas y los menores en épocas de lluvias. En la ciénaga se presentaron variaciones con relación a la cantidad de oxígeno disuelto en el perfil vertical de la columna en aguas altas, siendo más elevado en la superficie y

disminuyendo un poco hacia el fondo. Los valores mínimos de oxígeno disuelto se reportaron en los meses de aguas altas y los máximos en los meses de aguas bajas. En aguas bajas se muestra para la ciénaga una tendencia a valores de pH básicos. El nitrógeno presentó fluctuaciones en los dos períodos de muestreo manifestando valores más altos en aguas en descenso, sin embargo la concentración de fósforo fue mayor en aguas altas (Tabla 3).

Variabes	ago-05	dic 05	may 06	feb-07
pH (unidades)	6,90	7,46	6,90	7,90
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	262,75	318,75	103,40	407,75
OD (mg/L)	2,16	4,97	4,49	5,75
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	29,84	30,70	28,99	28,88
NO ₂ ($\mu\text{M}/\text{L}$)	0,15	0,29	0,10	0,27
NO ₃ ($\mu\text{M}/\text{L}$)	1,93	2,20	2,30	1,78
NH ₄ ($\mu\text{M}/\text{L}$)	6,39	3,84	9,61	3,90
PO ₄ ($\mu\text{M}/\text{L}$)	1,85	0,05	3,64	0,05
SiO ₂ ($\mu\text{M}/\text{L}$)	177,00	17,35	155,59	17,35

Tabla 3. Variables físicas y químicas medidas en la ciénaga de San Sebastián.

3.6 Tratamiento estadístico

La curva de acumulación de especies muestra que probablemente hay muy pocas especies por encontrar en la ciénaga de San Sebastián y que solo cuatro meses de muestreo fueron suficientes. Se observó un gran número de especies raras desde el primer muestreo, esto se explica con el hecho de que en regiones intertropicales, el crecimiento del fitoplancton es continuo mientras exista suficiente disponibilidad de nutrientes [9]. En los ecosistemas lénticos existe una variedad de nichos para ser explotados por las microalgas, lo que sustenta el por qué del alto número de especies raras en la ciénaga de San Sebastián (Figura 8).

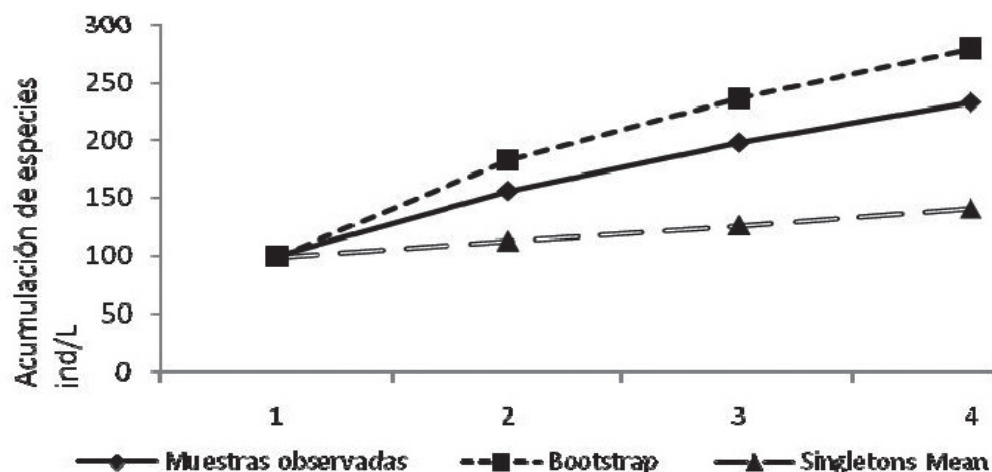


Figura 8. Curva de acumulación de especies para la Ciénaga de San Sebastián.

La mayor diversidad se presentó en los meses de diciembre y febrero, en tanto que la menor diversidad la presentaron los meses de agosto y mayo según el índice de Shannon. El índice de Simpson sustentó una mayor dominancia de especies en diciembre y febrero época de aguas bajas (Tabla 4).

	Agosto	Diciembre	Mayo	Febrero
No. Especies (R)	30	39	49	55
No. Individuos (N)	2686	3050	852	1493
Shannon (H+)	1,39	2,44	1,98	2,29
Pielou (J)	0,41	0,67	0,51	0,57
Simpson (C)	0,59	0,84	0,74	0,82

Tabla 4. Análisis de diversidad de especies comparativo entre muestreos en la Ciénaga de San Sebastián.

Los índices planctónicos arrojaron resultados inversos, es decir, el coeficiente simple calificó la ciénaga como ecosistema oligotrófico ($Q: 32/38 = 0,84$) y el índice compuesto como eutrófico; se considera más confiable el índice compuesto ($Q: (46+80+3+50)/38 = 4,7$), debido a su aplicación en ambientes acuáticos característicamente tropicales [19]. La ciénaga de San Sebastián pertenece a ecosistemas de este tipo.

El Análisis de Similaridad y ordenación reveló una alta disimilaridad entre observaciones, sólo entre cinco observaciones, agrupadas en dos grupos, se detectaron similitudes mayores al 60%, el resto de observaciones presentó disimilitudes que apenas y alcanzan un 60%. Estos resultados muestran una tendencia de los datos a agruparse por muestreos (excepto para M1E1Sup), independientemente de la estación o la profundidad. Los muestreos representan estaciones climáticas diferentes, y ese es el factor que está modelando la estructura de la comunidad fitoplanctónica (en términos de composición y abundancia). Se detectan similitudes mayores al 60% entre las muestras M2E2Sup (muestreo 2, estación 2, superficie) y M2E2DS (muestreo 2, estación 2, Disco Secchi) de casi el 70% y estas dos con M2E1DS (muestreo 2, estación 1, Disco Secchi) de 67% aproximadamente. M1E2Sup y M1E1DS presentaron una similaridad del 65% (Figura 9).

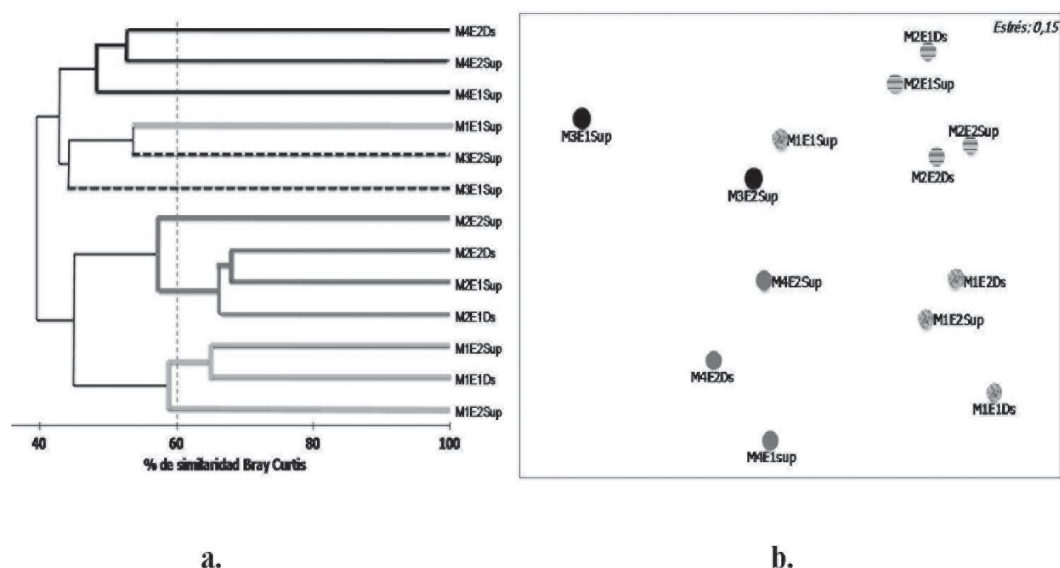


Figura 9. Análisis de: a. Clasificación (CLUSTER) y b. Ordenación (nMDS) para las muestras en el Ciénaga de San Sebastián durante los periodos climáticos, según el índice de asociación de Bray-Curtis (4999 reiteraciones).

El ACP mostró que la temperatura tiene una alta correlación con el segundo componente principal. El factor temporal es la condición más importante en los sitios de muestreo, independientemente de la estación (E1 y E2) y de la profundidad (Sup y DS). Existe una separación entre M3-M1 (época de aguas altas) y M2-M4 (época de aguas bajas), influenciado principalmente por la conductividad y el pH. Las mayores conductividades y pH se registran en M2 y M4, mientras que en M3 y M1 se registran valores relativamente bajos. Hay una tendencia a incrementarse la concentración de NO_3 en los muestreos M1 y M3 pero el vector no es tan grande como el de la conductividad y el pH, estos resultados muestran que la conductividad y el pH son las variables que están modelando las variaciones temporales de las estaciones muestreadas (Figura 10).

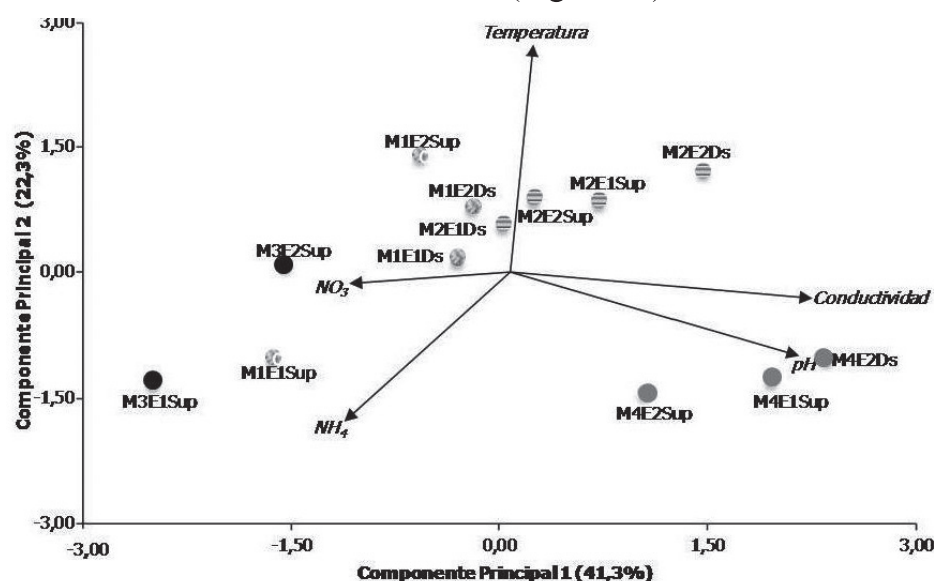


Figura 10. Análisis de componentes principales realizado entre las variables físicas y químicas procedentes de la Ciénaga de San Sebastián en cuatro muestreos correspondientes a dos periodos climáticos.

Los resultados del CAP de correlación presentaron un patrón de ordenación temporal. El Cap1 representa un eje de variación temporal, similar a los resultados obtenidos en el nMDS, donde se observa una tendencia de agrupación de las observaciones realizadas por muestreo. En el Cap2 los resultados son menos evidentes. Para la variables NO_2 se detecta el mayor coeficiente de correlación con el Cap 1 (gradiente temporal), altos valores de NO_2 se asocian con el muestreo 2. A pesar de no haber un patrón de ordenación espacial o temporal evidente, entre el Cap 2 y las variables fisicoquímicas se detectan valores altos de correlación, particularmente para las variables temperatura y conductividad ($|0,7|$ y $|0,5|$, respectivamente). Valores altos de temperatura se asocian al muestreo 2 y valores altos de conductividad se asocian al muestreo 1. El resto de variables, a pesar de estar correlacionadas de manera significativa con los ejes canónicos, quedan con bajos coeficientes de correlación ($d^2|0,3|$). Todas las correlaciones detectadas entre las variables fisicoquímicas y los ejes canónicos son significativas. Sin embargo, existen algunas correlaciones bajas, por ejemplo la conductividad registró una correlación de 0,0289 con el Cap1, es posible detectar este tipo correlaciones bajas y significativas en estos estudios, ya que mientras los valores de las variables ambientales corresponden a mediciones instantáneas, la estructura de la comunidad fitoplanctónica (en términos de composición y abundancia) es el reflejo de las condiciones ambientales preponderantes en el área de estudio.

Finalmente, los resultados muestran que 32 especies tienen coeficientes de correlación $>|0,5|$ con los ejes canónicos Cap1 y Cap2. Estas especies se modifican a través de los muestreos y son las responsables, principalmente, del gradiente temporal detectado. De estas especies el 31% corresponde a la clase Chlorophyceae, otro 31% a Cyanophyceae, 22% a Bacillariophyceae, 9% a Euglenophyceae, 3% a Coscinodiscophyceae y finalmente, otro 3% a Fragilariophyceae. De manera general, las clases Bacillariophyceae y Euglenophyceae se asocian con los muestreos 3 y particularmente al 4, donde se detecta la mayor cantidad de especies altamente correlacionadas con los Cap 1 y Cap 2 y, a su vez, se evidencia un aumento en temperatura. Acá se debe tener en cuenta que para el muestreo 3 se realizaron observaciones solamente en superficie, situación que favorece el registro de altas temperaturas. Para la clase Cyanophyceae se detectan especies con coeficientes de correlación altos con los Cap 1 y Cap 2 en todos los muestreos. Es importante resaltar que para la clase Chlorophyceae, a pesar de haber tenido el 31% del total de las especies con coeficientes de correlación altos con los Cap 1 y Cap 2, no se detectan especies “indicadoras” en el muestreo 2, situación que coincide con un incremento en los valores de conductividad (Figura 11).

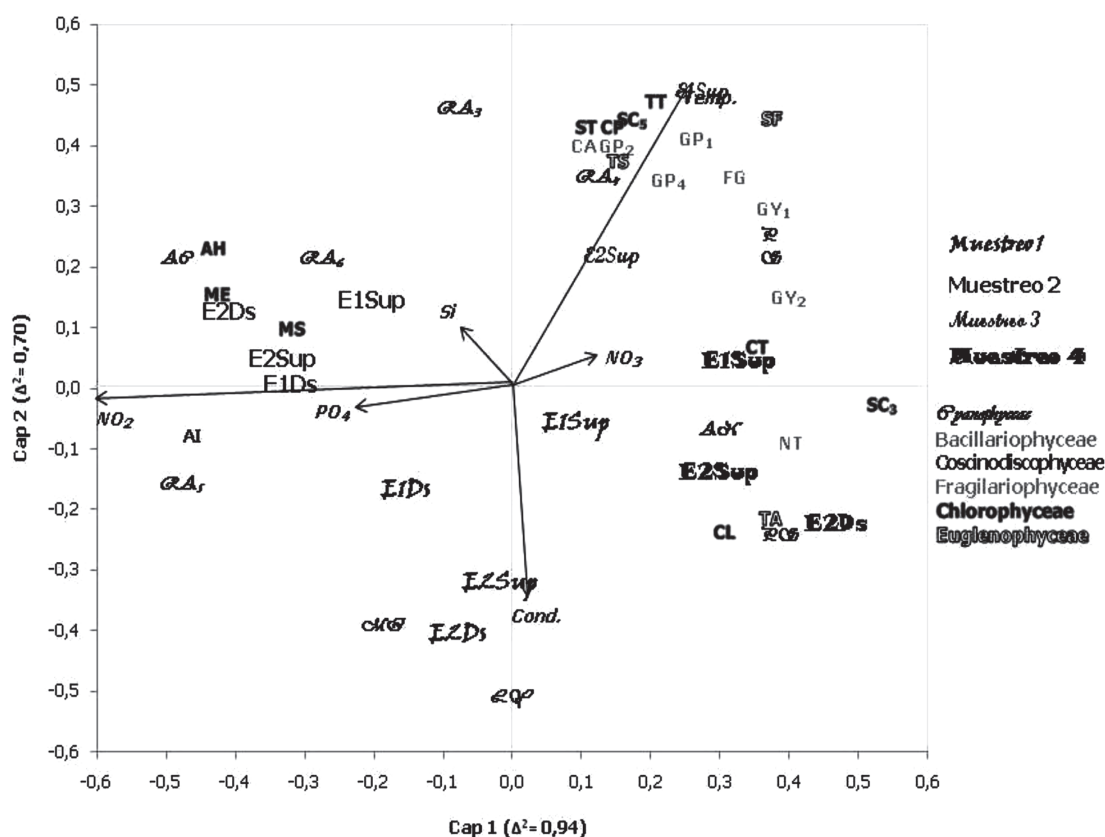


Figura 11. Análisis canónico de coordenadas principales (CAP) de correlación para las estaciones de muestreo en la Ciénaga de San Sebastián.

4 Discusión

El pulso hídrico del Río Sinú actúa como el evento rector de la dinámica del Complejo Cenagoso del Bajo Sinú. Variables como la profundidad y la transparencia se ven fuertemente afectadas debido al ascenso y descenso del nivel de las ciénagas en el año, así, para el momento de aguas altas la transparencia aumenta y en aguas en descenso la profundidad disminuye lo que genera que la resuspensión del sedimento mantenga para este período una menor transparencia [14]. La temperatura registró diferencias en los dos primeros meses, al parecer por la renovación de las aguas [7]. En mayo y febrero hubo disminución de la temperatura lo cual puede explicarse por la mayor carga de sólidos. Los valores más altos de conductividad en la ciénaga de San Sebastián se registraron en época seca debido a que en este momento el ecosistema tiene los mínimos niveles de agua y menor superficie y por lo tanto tiende a concentrarse toda la carga orgánica e inorgánica en un pequeño volumen de agua. A medida que avanza el año, las condiciones de la ciénaga van cambiando, debido a la entrada de agua que aumenta los volúmenes y la superficie de inundación y diluye todo lo que allí estaba. Por esto en los demás muestreos se observó la tendencia a la disminución de la conductividad.

En la superficie las concentraciones de oxígeno fueron altas por efecto del viento y la producción fotosintética [15] y hacia el fondo disminuyen, producto del elevado consumo de oxígeno generado por la acción de compuestos reductores producidos a través de la respiración anaeróbica [12]. Con relación al comportamiento del oxígeno en diferentes períodos hidrológicos, en aguas bajas los porcentajes de saturación de oxígeno son mayores que en aguas altas y, en general, mayores en las tardes que en las mañanas. Es posible que en aguas altas la concentración de la materia orgánica disuelta y particulada sea mayor, por su incorporación al sistema vía inundación de la llanura aluvial, lo que ocasionaría una disminución del oxígeno disuelto. Los cambios en el pH pueden deberse también a fenómenos como la producción y consumo de O_2 y CO_2 por parte de las algas [17], a la descomposición orgánica, la sedimentación, la resuspensión y la mineralización de las aguas [5]. En aguas en descenso el sistema presentó un incremento en los valores de nitrógeno por evaporación u otros efectos tales como la descomposición de las macrófitas acuáticas lo cual genera una gran liberación de nutrientes al sistema. Sin embargo la concentración de fósforo fue mayor en aguas altas, esto se debió principalmente a los aportes de fertilizantes, residuos domésticos, polvos de lavar y detergentes, que pueden llegar a la ciénaga con la práctica de actividades agrícolas y domésticas de las comunidades aledañas a la ciénaga.

Aporte de nutrientes y valores menores de conductividad que llegan a la ciénaga con las aguas dulces favorecen el aumento de la diversidad de Chlorophytas y de la abundancia de individuos de la división Cyanophyta, y más aún si se tiene en cuenta que los individuos pertenecientes a esta última división son abundantes en ecosistemas acuáticos tropicales [13]. Las Heterokonthophytas fueron las más abundantes en el mes de mayo, cuando el caudal del río empezó a bajar, pero las Cyanophytas volvieron a ser las más abundantes en febrero, cuando se presentó el caudal más bajo del río [11], en donde factores como la menor transparencia y las elevadas concentraciones de nitrógeno pudieron favorecer el desarrollo de estos organismos [18]. A pesar de la abundancia de las Cyanophytas, se registraron pocas especies de estas, con relación a otras divisiones, lo que concuerda con Patrick (1949 en Hernández (2003); quien establece un primer concepto: pequeñas poblaciones con muchas especies en aguas no contaminadas, evidencian alta diversidad y un segundo concepto: grandes poblaciones con pocas especies en aguas polutas, indican baja diversidad. Siendo este último postulado el más evidente en la ciénaga de San Sebastián. La capacidad de crecimiento de las Cyanophytas en diferentes medios es una de sus características marcadas. Sin embargo, ambientes de agua dulce son más favorables para su crecimiento, visto que la mayoría de las especies presentan un mayor crecimiento en aguas neutroalcalinas (pH 6-9), con temperaturas entre 15°C a 30°C, alta concentración de nutrientes principalmente de fósforo, la falta de N_2 y resistencia a la contaminación [8]. Por tanto podemos deducir que los factores físicos y químicos y la cantidad de nutrientes presentes en la ciénaga, como

valores de pH básico, temperaturas que oscilan entre los 28,8 y los 31,1°C y pequeñas cantidades de N_2 , presentan a la ciénaga de San Sebastián como un ecosistema con características óptimas para el desarrollo de las Cyanophytas explicando así el porque de la abundancia de las mismas y el estado de eutrofización de la ciénaga. La división Chlorophyta fue la más diversa en ambas zonas y durante todos los periodos hidrológicos.

Los euglénidos, también fue uno de los grupos con mayor diversidad en este cuerpo de agua, sin embargo fue uno de los menos abundantes, observándose un mayor número de ind/lt en la zona litoral que en la zona limnética. Se presume que las altas concentraciones de compuestos orgánicos disueltos de origen natural favorecen en riqueza y abundancia a este grupo en la ciénaga. En los últimos años se han incrementado el volumen y la frecuencia de los vertidos que llegan a la ciénaga y, además, los contaminantes ya no son exclusivamente orgánicos. Según los monitoreos llevados a cabo en la ciénaga de San Sebastián por UPB-URRÁ [22], Desde 2003, se ha visto un aumento en la presencia de la división Euglenophyta la cual es muy bien conocida en ambientes naturales, especialmente con tendencia a la eutrofia. En estas condiciones es especialmente interesante realizar un seguimiento continuo de la riqueza específica y de la dinámica de estas algas en la ciénaga, dado su uso habitual como indicadores de la calidad del agua [20]. Otro aspecto a tener en cuenta en el presente estudio es la distribución vertical del fitoplancton; existe una amplia documentación que revela una fuerte relación entre el gradiente de extinción de la luz y la distribución vertical del fitoplancton [17], así como entre otros patrones de mezcla de la columna de agua y la ocupación de diferentes nichos por parte de los distintos grupos de especies de acuerdo con su movilidad, flotabilidad y tamaño [17]. Así, para la Ciénaga de San Sebastián se registra una distribución influenciada un poco por la intensidad lumínica puesto que los valores de abundancia y riqueza disminuyen al aumentar la profundidad. De esta forma, las diferencias encontradas en el comportamiento del fitoplancton en la columna de agua y en la dinámica de la comunidad durante las cuatro etapas de muestreo en la ciénaga de San Sebastián indican la fuerte influencia dada principalmente por el impulso de inundación, el cual se ha considerado como el fenómeno físico determinante en la ecología de los ambientes acuáticos de los planos inundables del Valle del Sinú [12].

Según el índice de Simpson la dominancia de especies fue mayor en época de aguas bajas, esto concuerda con lo observado en la estructura de la comunidad al reportarse una dominancia de especies pertenecientes principalmente a la división Cyanophyta sobre todo en la época seca y una abundancia marcada de individuos pertenecientes al género *Aulacoseira*, donde factores como la menor transparencia y elevadas concentraciones de nitrógeno y altas temperaturas en esta época podrían haber favorecido el desarrollo de estos organismos [18]. En la ciénaga se observó que

grandes poblaciones en aguas polutas, indican baja diversidad lo que se ve reflejado en el índice de diversidad al observarse que los valores que arrojó el índice de Shannon para la ciénaga no fueron muy altos. De acuerdo a los coeficientes planctónicos, la ciénaga de San Sebastián se considera un lago eutrófico, debido a que la comunidad en general tuvo una buena representación de las Chlorophyceae, Cyanophyceae y Euglenophytas aunque hubo muy poca presencia de diatomeas céntricas. Además durante todo el período de muestreo se reportó una mayor abundancia de individuos pertenecientes al grupo de las Cyanophytas considerada la división con especies de sistemas eutróficos.

Teniendo en cuenta el análisis de similaridad y el nMDS se pudo observar que los grupos formados reflejaron la relación entre los meses asociados por las lluvias y la sequía, comprobándose así que el factor temporal es el que está modulando la estructura de la comunidad fitoplanctónica (en términos de composición y abundancia) en la ciénaga de San Sebastián. Esto también se ve explicado por la estrecha relación entre el río y la llanura de inundación que genera cambios en algunas condiciones físicas, químicas y biológicas que generan patrones limnológicos especiales, que pueden hacer que estos ambientes fluctúen drásticamente. Es por esto que el pulso de inundación es el factor determinante de las variaciones de composición, biomasa y productividad de la mayoría de las comunidades acuáticas de las que hace parte el fitoplancton [12]. Según el Análisis Canónico de Coordenadas Principales de correlación, se puede apreciar un patrón de ordenación temporal, las observaciones se agruparon por muestreos. De las 32 especies con mayores valores de correlación los ejes canónicos Cap1 y Cap2 y responsables del gradiente temporal detectado, corresponden en orden de porcentajes a las clases Chlorophyceae, Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Euglenophyceae, Coscinodiscophyceae y Fragilariophyceae. De manera general, las clases Bacillariophyceae y Euglenophyceae se asocian con los muestreos 3 y particularmente al 4, quizás por la resuspensión de los sedimentos en la época seca, donde se detecta la mayor cantidad de especies altamente correlacionadas con los Cap 1 y Cap 2 y, a su vez, se evidencia un aumento en temperatura.

Para la clase Cyanophyceae se detectan especies con coeficientes de correlación altos con los Cap 1 y Cap 2 en todos los muestreos, sustentándose lo observado en la estructura de la comunidad, donde fue importante la presencia de las Cyanophytas en los cuatro muestreos, en ambas épocas climáticas. Para las Chlorophyceae no se detectaron especies “indicadoras” en el muestreo 2, esto seguramente debido a que este muestreo coincidió con un incremento en los valores de conductividad. Los resultados obtenidos de las especies, principalmente para las clases Chlorophyceae, Bacillariophyceae y Euglenophyceae, permiten afirmar que las variaciones temporales detectadas de la estructura de la comunidad de fitoplancton corresponden a cambios tanto en composición como en abundancia.

5 Conclusiones

Las Cyanophytas fueron las más abundantes cuando se presentó el caudal más bajo del río, en donde factores como la menor transparencia y las elevadas concentraciones de nitrógeno favorecieron el desarrollo de estos organismos. Los factores físicos y químicos y la cantidad de nutrientes presentes en la ciénaga de San Sebastián, favorecieron el desarrollo de las Cyanophytas explicando así el porque de la abundancia de las mismas y el estado de eutrofización de la ciénaga. Se presume que las altas concentraciones de compuestos orgánicos disueltos de origen natural favorecen en riqueza y abundancia a los Euglénidos en la ciénaga de San Sebastián, manifestándose en un incremento histórico de estos organismos en dicho ecosistema. En la ciénaga de San Sebastián se observó una distribución influenciada un poco por la intensidad lumínica puesto que los valores de abundancia y riqueza disminuyen al aumentar la profundidad. De esta forma, las diferencias encontradas en el comportamiento del fitoplancton en la columna de agua y en la dinámica de la comunidad en las diferentes épocas climáticas en la ciénaga indican la fuerte influencia dada principalmente por el impulso de inundación. Se presentó un incremento histórico de la conductividad, cambios en la cantidad de nutrientes y en la composición y abundancia fitoplanctónica después de la construcción de la hidroeléctrica Urrá I ya que el pulso de inundación influye de manera determinante en los aportes de nutrientes y materia orgánica para la ciénaga de San Sebastián lo cual es determinante en la ecología de ese ambiente acuático.

Agradecimientos

Este trabajo hace parte del macroproyecto “Aproximación al estudio de la diversidad ecológica en ambientes acuáticos de Colombia” desarrollado por las Universidades de Magdalena, Vigo (España), Sevilla (España), Nacional de Colombia (Sede Amazonia), Javeriana, Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Pontificia Bolivariana-Seccional Montería y Córdoba.

Referencias bibliográficas

- [1] Anderson, M.J. 2004. CAP: a FORTRAN computer program for canonical analysis of principal coordinates. Department of Statistics. University of Auckland, New Zeland.
- [2] Apha, Awwa, WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz de Santos. S.A.
- [3] Carr, M. R. Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research. User Manual. 1996. Plymouth Marine Laboratory, UK. 41 p.
- [4] Clarke, K. R. y y R. N. Gorley. 2001. Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research v5. User Manual / Tutorial. Primer-E Ltd. 91 p.
- [5] Esteves, F de A. 1988. Fundamentos de limnología. Interciencia. Brasil.

- [6] García L. C. & E. Dister. 1990. La planicie de inundación del medio-bajo Magdalena: restauración y conservación de hábitats. *Interciencia* 15(6): 396-410
- [7] Gantiva J. 2000. Estructura de la comunidad fitoperifítica en dos períodos hidrológicos del lago Yahuaraca (Amazonia colombiana). Tesis Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- [8] Hernández, S. 2003. Composición algal y calidad de agua en cuatro tributarios del lago Cocibolca. Centro de investigaciones en los recursos acuáticos. p 5- 7.
- [9] Horne y Goldman, CH. 1994. *Limnology*. 2º edición. Mc Graw-Hill. Inc. USA. 576p.
- [10] Infostat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.
- [11] Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” (INVEMAR). 2008. Bases de datos. Datos no publicados. Fecha de consulta: 7 de julio de 2008. Fecha de actualización: 3 de diciembre de 2007.
- [12] Junk, W., Bayley, P. y Sparks, R. 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. En: Dodge, D. P. (Edit.). *Proceedings of internationale large River Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* No 106, pp. 17º-127.
- [13] Margalef, R. Species diversity I natural communities. 1951. Barcelona, Publ. Inst. Biol. Appl. 6:59-72.
- [14] Mantilla, G.; García, M. *et al.* 1998. Humedal del valle del Río Sinú. IDEAM. Bogotá, Colombia.
- [15] Melack J., and T. R. Fisher. 1983. Diel oxygen variations and their ecological implications in Amazon floodplain lakes. *Arch. Hydrobiol.* 98: 422- 442.
- [16] Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la diversidad. CYTED, ORCYT/ UNESCO y SEA. España.
- [17] Pinilla, A. Ecología del fitoplancton en un lago amazónico de aguas claras (Lago Boa, Caquetá medio). 2005. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano – Facultad de Biología Marina. Inédito.
- [18] Pinilla Gabriel A. Ecología del fitoplancton en un lago amazónico de aguas claras (Lago Boa, Caquetá Medio República de Colombia) 1 Libro Duque P45
- [19] Reynolds, C.S. 1984. *The ecology of fresh water phytoplankton*. Cambridge University Press. Nueva York.
- [20] Roldán, P. G. 1992. *Fundamentos de limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia.
- [21] Sladeček, V. Y Perman, J. 1978. Saprobic sequence within the genus *Euglena*. *Hydrobiologia* 57:57-58.
- [22] Utermöhl, 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplanktonmethodik. *Mitt. Internat. Verein Limnol.*, 9: 1-38.
- [23] UPB-Urrá. 2003. Monitoreo de Calidad de Aguas en el Embalse URRÁ I, Río Sinú, y Ciénagas de Betancí y Lorica, Durante la Operación de la Hidroeléctrica Urrá I. Inédito.

Dirección de los autores

Blanca Leguizamo Betancourth
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias básicas e ingenierías
Universidad de Córdoba, Montería - Colombia
blancamlb06@hotmail.com

Martha Mogollón Arismendy
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias básicas e ingenierías
Universidad de Córdoba, Montería - Colombia
mmogollon@sinu.unicordoba.edu.co

Santiago R. Duque
Instituto Amazónico de Investigaciones - Imani
Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia, Leticia - Colombia
srduquee@unal.edu.co

William López
INGETEC, Colombia
wlopez@ingetec.com.co