

ASOCIACIONES DE ALGAS PERIFÍTICAS DE RAÍCES DE *Eichhornia crassipes* EN SEIS LAGOS DE LLANURA DE INUNDACIÓN COLOMBIANOS

PERIPHYTIC ALGAE ASSEMBLAGE ON ROOTS OF *Eichhornia crassipes* FROM SIX POUNDS LAKES IN COLOMBIAN PLAINS

YIMMY MONTOYA MORENO, MSc¹, NÉSTOR AGUIRRE RAMÍREZ, PhD²

RESUMEN

Objetivo: Evaluar las asociaciones ficoperifíticas asociadas con raíces de *Eichhornia crassipes* en un muestreo en seis sistemas de planicie inundable (ciénagas).

Materiales y métodos: En septiembre de 2006 se estudiaron las algas epifíticas asociadas a las raíces de *E. crassipes* en seis ciénagas del sistema de planos inundables de Ayapel mediante microscopía óptica y electrónica.

Resultados: Se encontraron 68 especies ficoperifíticas pertenecientes a 23 familias, la división Bacillariophyta es la más abundante con 41.8%, seguida por Chlorophyta (35.8%), Cyanoprocaryota (16.1%), Xantophyta (4.5%) y Euglenophyta (1.5%).

Conclusión: La estructura de las asociaciones ficoperifíticas fue variable dependiendo de la morfología y geoquímica del cuerpo de agua estudiado. Las diatomeas predominaron en todas las ciénagas, aunque se encontró una mayor proporción de desmidiáceas en los sistemas más oligotróficos. En general las especies que conformaron las asociaciones perifíticas presentaron densidades bajas.

Palabras clave: Ciénagas; Perifiton; Macrofitas; *Eichhornia crassipes*; Colombia.

ABSTRACT

Objective: Periphytic algae associated to *Eichhornia crassipes* was evaluated in one survey in six pound lakes in Colombian plains.

Materials and methods: On September 2006 we studied epiphytic algae associated with roots of *E. crassipes* in six pound lakes of Ayapel system with the aid of a light and electron microscopy

Results: We found 68 periphytic species algae belonging to 23 families. Bacillariophyta was the most abundant division with a 41.8%, followed by Chlorophyta (35.8%), Cyanoprocaryota (16.1%), Xantophyta (4.5%) and Euglenophyta (1.5%). Diatoms were dominant in all systems. However we found a greater proportion of desmids in more oligotrophic water bodies. It was general periphytic assemblages showed lower densities

Conclusion: The structure of phycoperiphytic assemblages changed depending on the morphology and geochemistry of water body studied.

Keywords: Floodplain lakes; Perifiton; Macrophytes; *Eichhornia crassipes*; Colombia.

INTRODUCCIÓN

La estacionalidad climática y la heterogeneidad espacial son factores relevantes en la estructura de los ecosistemas acuáticos cenagosos (Aguirre *et al.* 2005). Estudios de las tasas de crecimiento del perifiton han atribuido variada importancia a la velocidad del flujo, la radiación solar, la tem-

peratura del agua (Wilby *et al.* 1998), la herbivoría, la abundancia de macrófitas y a las condiciones de calidad del agua, como las variables asociadas a la acumulación de perifiton en las macrófitas (Sand-Jensen 1983). Sin embargo, los factores que controlan el crecimiento de las macrófitas y el perifiton son específicos del sitio

1. Grupo de Investigación GAIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
e-mail: yimmymontoya3@hotmail.com.

2. Profesor Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GAIA, Medellín, Colombia.
e-mail: naguirre@udea.edu.co

Fecha de recibido: Febrero 11, 2011

Fecha de aprobación: Mayo 26, 2011

y ellos varían espacial y temporalmente (Flynn *et al.* 2002). Wilby *et al.* (1998) encontraron que la cobertura de macrófitas puede estar influida por varios factores tales como el flujo, la temperatura del agua y la radiación solar. Ham *et al.* (1981) plantean que otras variables que se relacionan con la abundancia de las macrófitas son la concentración de nutrientes, el tipo de sedimento, la turbiedad, la profundidad del agua, la herbivoría y los disturbios humanos, aunque la importancia atribuida a estos puede variar.

Entre los componentes bióticos de estos ecosistemas, el perifiton ha sido poco estudiado (Montoya-Moreno y Aguirre 2009a). En Colombia, Montoya-Moreno y Aguirre (2009b) encontraron en la ciénaga de Paticos que las asociaciones de ficoperifiton presentaron índices comunitarios poco fluctuantes y no se encontraron diferencias en la estructura del ensamble ficoperifítico entre las raíces de las diferentes macrófitas, pero si hubo diferencias en la densidad de ficoperifiton por unidad de área en las distintas raíces estudiadas, en especial en *Nymphoides humboldtiana* que tiene una raíz principal única y presenta la menor diversidad, equidad y riqueza de especies. Estos autores en la ciénaga de Escobillitas (Montoya-Moreno y Aguirre, 2009c) encontraron que hay variaciones de la estructura de las asociaciones acopladas a la variación del pulso de inundación-deseccación; no obstante, no se identificaron las variables fisicoquímicas que controlan el ensamble asociado a diferentes macrófitas, por lo que en el presente trabajo se evalúa la estructura comunitaria del ficoperifiton asociado a raíces de una sola macrófita (*E. crassipes*) en seis ciénagas colombianas (lo que permite eliminar el ruido introducido por la interacción entre el ensamble y el sustrato) y se estudió la relación del ensamble con algunas condiciones ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El sistema cenagoso de Ayapel

se ubica en la jurisdicción del municipio de Ayapel, en el departamento de Córdoba, en la planicie Atlántica del norte de Colombia. Forma parte del macrosistema de humedales y zonas anegables de la depresión Momposina. La cuenca de la ciénaga tiene un área de 1504 km² y está situada entre los 20 m y 150 m de altitud. El territorio se ubica en la zona de bosque húmedo tropical con temperaturas entre los 26°C y 29°C (IGAC 1986). El régimen de precipitaciones fluctúa entre un período de lluvias (abril a noviembre) y de sequía (diciembre a marzo), con un rango de pluviosidad que oscila entre los 2000 mm y 2500 mm. La zona se ubica entre las coordenadas 8° 04' - 8° 30' de latitud norte y 74° 84' - 75° 20' de longitud oeste, sobre la vertiente oriental del río San Jorge (Figura 1).

El sistema cenagoso de Ayapel está conformado por numerosos caños (entradas de agua que fluctúan en importancia durante el ciclo hidrológico) y numerosas ciénagas, que tienen conexión directa e indirecta con el cuerpo principal. Entre estos cuerpos de agua se seleccionaron los seis con mayor envergadura (Tabla 1).

Muestreo. El 15 de septiembre del 2006 en cada ciénaga en la zona litoral se ubicó un sitio de muestreo, en donde se evaluaron algunas variables físicas y químicas, tales como la temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica, con la ayuda de una sonda multiparámetro IQ. La transparencia y la profundidad máxima de la columna de agua se midieron con el disco Secchi.

En cada ciénaga se tomaron dos muestras de raíces de *E. crassipes* de 3 cm de largo, se almacenaron en botellas plásticas que se llenaron con agua filtrada de la localidad, y se fijaron con lugol con una concentración final al 4%. Las raíces recolectadas se agitaron y limpiaron con un cepillo fino, además se revisaron al microscopio para evaluar la separación de la mayor cantidad



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, departamento de Córdoba, Colombia.

Tabla 1
Estaciones de muestreo y sus características físicas y químicas

Ciénaga	Coordenadas		Z (m)		Oxígeno disuelto ppm	Temperatura del agua (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	pH
	N	W	Máx	Secchi				
Patícos	8° 21' 47,6"	75° 7' 9,8"	5,5	1,35	3,95	29,8	51,2	6,76
Playa blanca	8° 17' 59,8"	74° 59' 50,8"	5,4	0,87	1,44	29,2	64,9	6,86
Escobillitas	8° 17' 18,6"	75° 5' 37,9"	4,8	1,17	3,98	29,9	13,8	6,81
La Miel	8° 24' 26,9"	75° 4' 24,7"	3,5	0,62	4,31	30,1	45,3	6,95
Hoyo los bagres	8° 17' 36,3"	75° 2' 16,7"	4,6	1,26	4,27	30,6	17,1	6,62
Ayapel E2	8° 18' 56,4"	75° 7' 35"	6,7	0,89	5,34	31,5	21,9	6,84

posible del material perifítico. Los análisis taxonómicos de las especies del ficoperifiton se realizaron con base en los trabajos de Kómárek y Anagnostidis (1998, 2005), Sant'Anna *et al.* (2004), Echenique *et al.* (2004) para el estudio de cianofíceas; con los euglenófitos se empleó Tell y Conforti (1986); para las clorofíceas se uso

Bourrelly (1966, 1968, 1985), Prescott *et al.* (1972, 1975, 1977), Prescott *et al.* (1981), Prescott *et al.* (1982); para las diatomeas se empleó Krammer (2001, 2002), Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1991a, 1991b, 1997), Simonsen (1987), Lange-Bertalot y Moser (1994), Lange-Bertalot (2001), Metzeltin y Lange-Bertalot

Tabla 2
Características estadísticas de las variables físicas, químicas y biológicas

Variable	Media	Rango	Desviación	CV
Z máx (m)	5,08	3,2	1,07	21
Z secchi (m)	0,88	0,91	0,34	39,4
Oxígeno disuelto (ppm)	3,88	3,9	1,3	33,5
Temperatura del agua (°C)	30,2	2,3	0,79	2,6
Conductividad eléctrica (µS/cm)	33,6	51,1	21	58,8
pH (unidades de pH)	6,81	0,33	0,11	1,62
Diversidad (nats/ind)	2,11	2,78	1,54	23,4
Equidad	0,68	0,85	0,47	19,4
Dominancia	0,22	0,39	0,07	55,1
Riqueza	24,83	37	13	36,1
Densidad (ind/µm ²)	0,0197	0,023	0,008	44,5

(1998, 2007), Metzeltin, Lange-Bertalot y García-Rodríguez (2005), Rumrich, Lange-Bertalot y Rumrich (2000). El conteo de los organismos se realizó bajo un microscopio Olympus CHK, se contaron 30 campos al azar con el objetivo de 40X. Tal número de campos se determinó mediante curvas de saturación de especies.

Tratamiento de los datos. La estructura de la comunidad se evaluó mediante curvas de importancia y los índices comunitarios. Se realizó un análisis de agrupamiento, mediante el índice de similitud de Bray-Curtis. Los datos obtenidos se sometieron a análisis exploratorio mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media aritmética, MA) y de dispersión (desviación estándar, S y coeficiente de variación relativa de Pearson, CV). Para explicar la dependencia entre variables se efectuó un análisis de correlación lineal simple. El análisis de correspondencia canónica (ACC) se empleó para identificar relaciones entre las especies con las características físicoquímicas del agua y los cuerpos de agua. Las pruebas estadísticas se realizaron con el paquete Statgraphics versión 5.1 y Canoco para Windows 4.5.

RESULTADOS

Como se observa en la Tabla 2, las características físicoquímicas del agua subsuperficial alejadas a la zona de recolección de las raíces de las macrofitas en las diferentes ciénagas, evidencian un gradiente longitudinal de la temperatura del agua y un pH bajo. En contraste, la conductividad eléctrica, la transparencia y la concentración de oxígeno disuelto presentaron variabilidad alta a lo largo del mismo gradiente. El análisis de correlación entre las variables físicas y químicas mostró que solo el oxígeno disuelto y la temperatura del agua presentaron correlación significativa ($r=0.86$; $p=0.0289$). La concentración de oxígeno presentó variación en el gradiente horizontal, aunque sin llegar a la anoxia en las estaciones de muestreo. Su valor promedio es bajo posiblemente por la temperatura alta del agua y los bajos valores de clorofila a fitoplanctónica. Las aguas presentaron mineralización baja, el pH es ligeramente ácido y la transparencia presentó un valor intermedio.

Se encontraron 68 morfoespecies ficoperifíticas (Tabla 3) pertenecientes a 23 familias, donde la división Bacillariophyta (diatomeas) fue la más

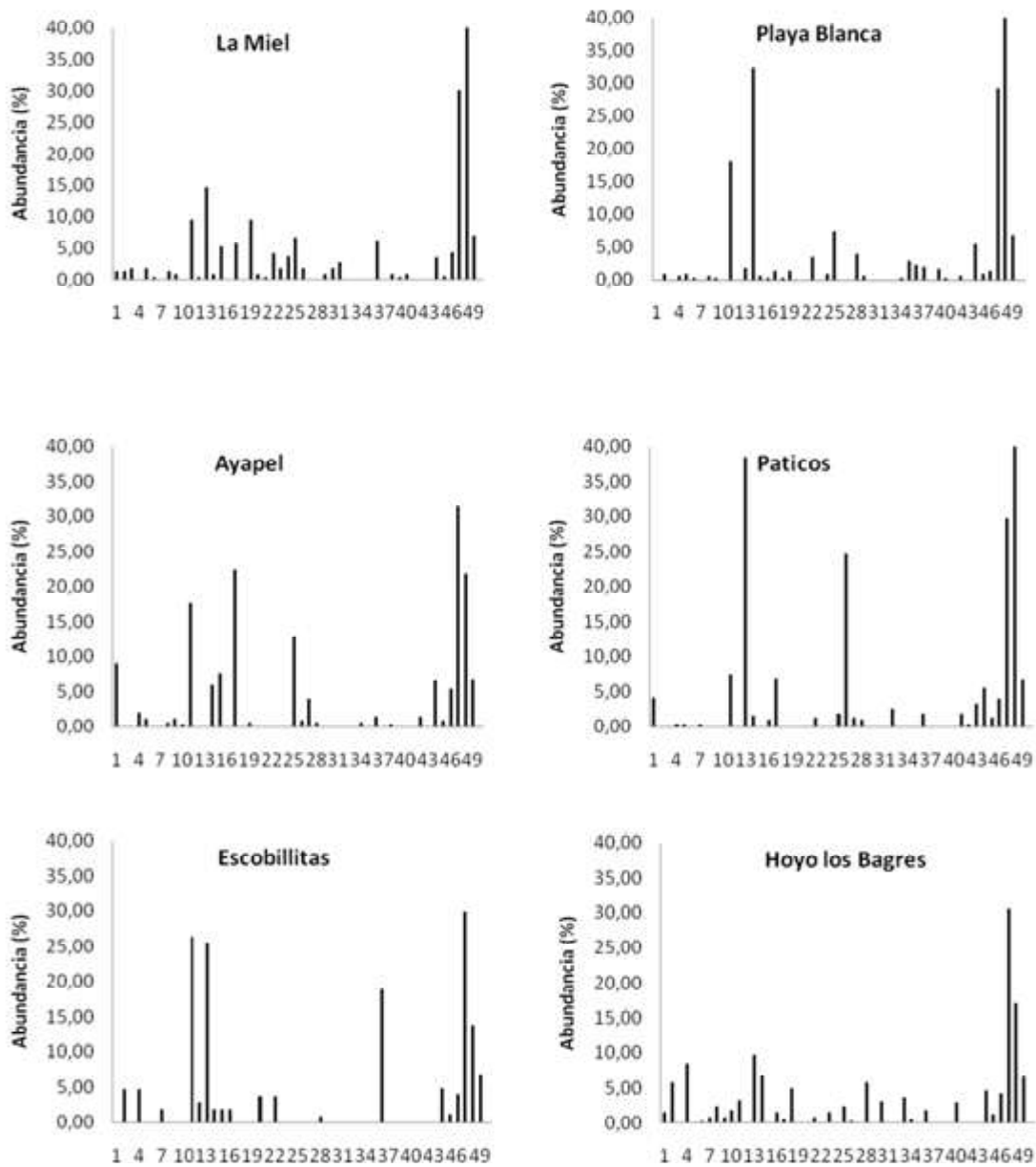


Figura 2. Estructura del ensamble ficoperifítico asociado con *E. crassipes*.

- 1) *Eunotia flexuosa*, 2) *Planothidium lanceolata*, 3) *Achnanthydium minutissimum*, 4) *Achanthes inflata*, 5) *Actinella langebertaloti*, 6) *Cyclotella meneghiniana*, 7) *Cosmarium laeve*, 8) *Cosmarium lobatum*, 9) *Cosmarium pseudoholmii*, 10) *Coelanastrum* sp, 11) *Cylindrospermum* sp, 12) *Cylindrospermopsis raciborski*, 13) *Encyonema jetlandicum*, 14) *Encyonema minutum*, 15) *Euastrum evolution*, 16) *Euastrum cf ansatum*, 17) *Eunotia camelus*, 18) *Diadesmis confervaceae*, 19) *Eunotia bilunaris*, 20) *Fragilaria capucina*, 21) *Synedra gouldarii*, 22) *Fragilaria familiaris*, 23) *Frustulia romboides*, 24) *Gomphonema* sp2, 25) *Gomphonema clavatum*, 26) *Gomphonema parvulum*, 27) *Hyalotheca dissiliens*, 28) *Lymbya cf limnetica*, 29) *Aulacoseira granulata*, 30) *Aulacoseira italica*, 31) *Navicula nota*, 32) *Navicula aff rostellata*, 33) *Navicula aff cryptocephala*, 34) *Nitzschia aff recens*, 35) *Nitzschia palea*, 36) *Oedogonium* sp, 37) *Oscillatoria* sp1, 38) *Pediastrum tetras*, 39) *Phacus pleuronectes*, 40) *Pinularia acrosphaeria*, 41) *Pleurosigma* sp, 42) *Sphaerocistis* sp, 43) *Ulnaria lanceolata*, 44) *Diadesmis confervaceae fo rostrata*, 45) *Trichodesmium* sp, 46) *Desmidium pulchrum var pulchrum*, 47) *Scenedesmus brasiliensis*, 48) *Centritractus belanophorus*, 49) *Sellaphora pupula*.

abundante, con un 41.8% del total de las especies, seguida por Chlorophyta (algas verdes) con el 35.8%, Cyanoprocaryota (algas verde azules)

con el 16.1%, Xantophyta (4.5%) y Euglenophyta (1.5%). La estructura de las asociaciones ficoperifíticas varió en los distintos cuerpos de agua

Tabla 3
Abundancia relativa de especies asociadas con *E. crassipes*

Taxones/Estaciones	La Miel	Playa Blanca	Frente Ayapel	Paticos	Escobillitas	Hoyo los Bagres
<i>Planothidium lanceolata</i>	1,43		8,99	4,17		1,57
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	1,42	0,86			4,72	5,77
<i>Actinella langebertaloti</i>		0,57	1,97	0,33	4,72	8,40
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1,90	0,86	1,12	0,33		
<i>Cosmarium laeve</i>	0,47	0,29				0,26
<i>Cosmarium pseudoholmii</i>				0,33	1,89	0,79
<i>Cylindrospermun</i> sp	1,42	0,57	0,56			2,36
<i>Cylindrospermopsis raciborski</i>	0,95	0,29	1,12			0,79
<i>Encyonema jetlandicum</i>			0,29			1,84
<i>Diadismis confervaceae</i>	9,47	18,00	17,70	7,51	26,42	3,18
<i>Eunotia bilunaris</i>	0,47				2,83	
<i>Fragilaria capucina</i>	14,69	1,86		38,46	25,47	9,71
<i>Frustulia romboides</i>	0,95	32,29	5,90	1,63	1,89	6,82
<i>Gomphonema clavatum</i>	5,21	0,57	7,58		1,89	
<i>Gomphonema parvulum</i>		0,29		0,96	1,89	1,50
<i>Lymbya cf limnetica</i>	5,69	1,43	22,47	6,90		0,52
<i>Aulacoseira granulata</i>		0,29				4,99
<i>Aulacoseira italica</i>	9,48	1,43	0,56			
<i>Navicula notha</i>	0,95				3,77	
<i>Navicula aff rostellata</i>	0,47					0,79
<i>Navicula aff cryptocephala</i>	4,27	3,43		1,28	3,77	
<i>Nitzschia aff recens</i>	1,90					1,50
<i>Nitzschia palea</i>	3,79	0,86				
<i>Oedogonium i</i>	6,64	7,43	12,79	1,92		2,36
<i>Oscillatoria</i> sp1	1,90		0,84	24,68		0,26
<i>Ulnaria lanceolata</i>			3,93	1,28		
<i>Diadismis confervaceae fo rostrata</i>		4,00	0,56	0,96	0,94	5,77
<i>Trichodesmium</i> sp	0,95	0,57				
<i>Desmidium pulchrum var pulchrum</i>	1,90					3,15
<i>Tetraedron caudatum</i>	2,84					
<i>Trachelomonas armata</i>						3,67
<i>Oocystis</i> sp		0,29	0,56			0,52
<i>Lymbya</i> sp2		2,86				
<i>Eunotia naegueli</i>	6,16	2,29	1,44	1,92	18,87	1,84
<i>Eolimna subminuscula</i>		2,00				
<i>Aulacoseira granulata var angustissisima</i>	0,95		0,29			
<i>Brachysira manfredii dij</i>	0,47	1,71				
<i>Gomphonema guaraniarum</i>	0,95	0,29				3,00
<i>Tolypothrix</i> sp		0,57	1,39	0,33		
<i>Eunotia glacialis</i>				3,25		

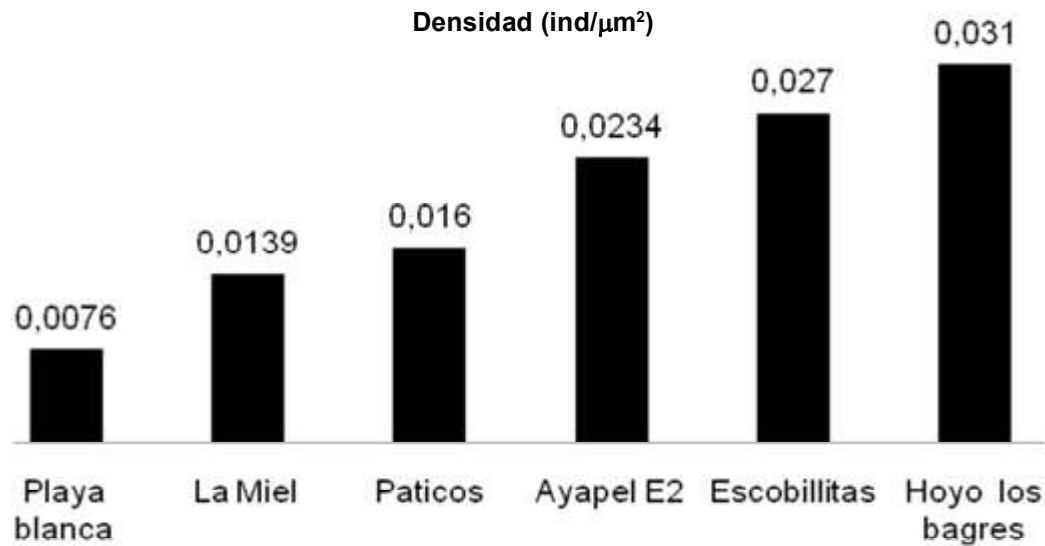


Figura 3. Comparación de la densidad total de los organismos ficoperifíticos en cada uno de los cuerpos de agua estudiados.

estudiados, lo que refleja las adaptaciones de las especies al ambiente (Figura 2).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener presentó un intervalo de variación entre 1.3 y 2.3 bit/ind (C.V=18.3%), el índice de equitatividad de Pielou osciló entre 0.49 y 0.84 (CV=19.7%), la riqueza de especies fluctuó entre 14 y 22 morfoespecies (CV=17.2%) y el ensamble presentó bajas densidades (Figura 3). Por otro lado, el índice de dominancia de Simpson mostró valores entre 0.1 y 0.46 con el mayor coeficiente de variación (CV=39.5%). Al evaluar la relación de los índices comunitarios con las variables físicas y químicas se encontró que la riqueza presentó relación con la temperatura del agua y la concentración de oxígeno disuelto ($r=0.84$, $p=0.0407$; $r=0.82$, $p=0.0444$ respectivamente), lo cual indicaría que las ciénagas más oxigenadas y cálidas presentan mayor riqueza ficoperifítica. El pH se relacionó con la equidad y la dominancia ($r=0.94$, $p=0.0056$; $r=-0.91$, $p=0.0123$) y la conductividad eléctrica evidenció relación inversa con el número total de organismos ($r=-0.95$; $p=0.0025$), porque el aumento de esta variable implica mayor disponibilidad de macronutrientes. La densidad algal se relacionó con la temperatura del agua ($r=0.83$, $p=0.0407$).

Las abundancias relativas de las especies dominantes oscilan entre 15% y 38%. Estos organismos exhiben un predominio diferenciado, porque las ciénagas con mayor diversidad (Ayapel y La Miel) registraron riquezas mayores y dominancias menores respecto a Escobillitas y Playa Blanca, ciénagas con las menores diversidades y riqueza de especies. Solo las ciénagas de Escobillitas y Hoyo los Bagres se ubican cercanas en el análisis de correspondencia canónica, porque están situadas espacialmente contiguas (Figura 4). Respecto a las especies ficoperifíticas *Tolythrix* sp se pueden considerar como descriptores de ambientes de mayor conductividad, *Pediastrum tetras* se asoció con el pH, *Fragilaria capucina*, *Diademesis confervaceae*, *Oedogonium*, *Bulbochaete* y *Lymbya cflimnetica* se asociaron con el aumento de la concentración de oxígeno y *Achnantheidium minutissimum*, *Cosmarium pseudoholmii*, *Centrytractus belanophorus* y *Gomphonema clavatum* se relacionaron con el aumento en la transparencia y el espesor de la columna de agua.

El nivel del agua se relacionó con la concentración de clorofila fitoplanctónica, el pH con los índices de H' y J, la transparencia con el número

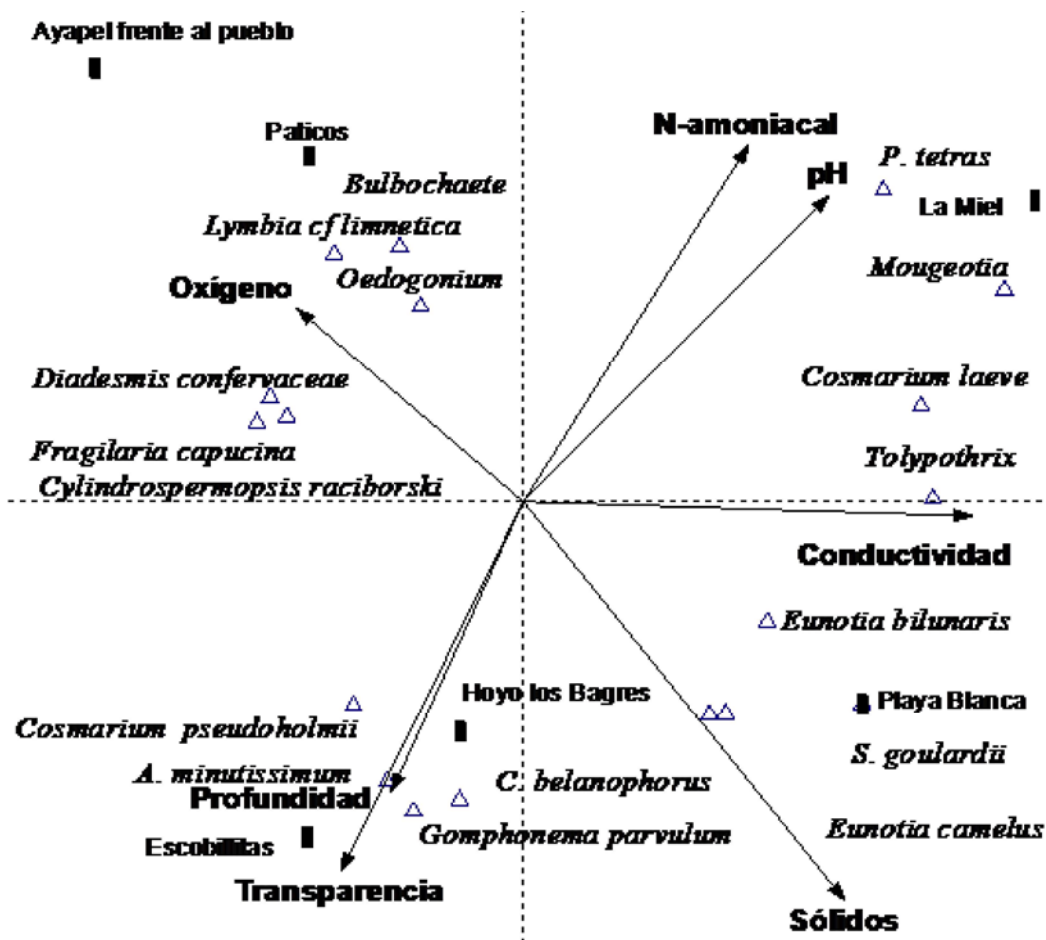


Figura 4. Análisis de componentes principales.

total de organismos y la densidad ficoperifítica con la temperatura del agua, oxígeno disuelto y la dominancia. El análisis de componentes principales explicó el 70.6% de la variabilidad total de los datos en los primeros dos ejes (Figura 4). El primer componente (37%) se asoció positivamente con la conductividad eléctrica, pH y sólidos disueltos, y negativamente con la profundidad, transparencia y el oxígeno disuelto. El segundo componente (33.6%) estuvo asociado positivamente con la profundidad y transparencia, y negativamente con los nutrientes.

DISCUSIÓN

La comparación de las asociaciones ficoperifíticas asociadas a *E. crassipes* en diferentes cuerpos de agua eliminó la variabilidad del sustrato

sobre las asociaciones, que ha sido considerada un factor importante en los procesos de colonización y estructuración de la comunidad (Delbecque 1983; Otten y Willemse 1988; Wetzel 2001). No obstante, en este estudio la asociación se caracterizó por presentar una estructura mono capa, con ausencia de material orgánico, valores bajos de diversidad, dominancia y densidad ficoperifítica. Dicha tendencia puede deberse a los procesos de resuspensión causados por lo somero del sistema ($Z_{max} < 10$ m) y a la polimixis continua (Montoya y Aguirre 2009c) lo que produce un ambiente turbulento que limita la fijación algal; esto propicia que únicamente algunos organismos bentónicos sean capaces de pegarse, de manera eficiente, al sustrato.

Otra característica ambiental importante en la

zona fueron las condiciones de radiación solar altas durante todo el año; para el período de muestreo (aguas en ascenso) se presentaron valores de transparencia superiores al valor medio (Montoya-Moreno 2011), lo que es poco usual para la mayoría de los cuerpos de agua estudiados y una zona fótica amplia ($Z_{SD}=49\% Z_{max}$), lo cual no se ha relacionado con la densidad y la biomasa del fitoplancton (Aguirre *et al.* 2005). Por esta razón, se esperaba que la densidad perifítica asociada a las macrófitas fuera alta y con un impacto significativo en la producción del sistema. Sin embargo, los resultados encontrados contrastan con esta hipótesis, lo que puede estar asociado a que la zona de la columna de agua donde se ubican las raíces de las macrófitas presenta la mayor absorción lumínica, así que en este caso las bajas densidades y diversidades ficoperifíticas podrían deberse a limitación de la colonización por la foto-oxidación, lo que ha sido citado en varios casos (Álvarez y Gallardo 1989; Williamson y Zagarese, 1994), porque los sistemas cenagosos estudiados se localizan en una zona de radiación solar y temperatura alta durante todo el año.

La composición de la asociación perifítica presentó diferencias entre los sitios de muestreo, porque las ciénagas con características mesotróficas estudiadas (Paticos y La Miel) mostraron una diversidad y riqueza baja, con una dominancia alta; mientras que la ciénaga Escobillitas exhibió valores altos de diversidad, equidad y riqueza, que evidencian un carácter más oligotrófico (Figura 4). Tales variaciones pudieron estar relacionadas con diferencias en la localización y tamaño de los cuerpos de agua, así como los usos múltiples de las bahías, el tiempo de residencia del agua y los factores climáticos; estas últimas variables ejercen un mayor control sobre la diversidad biológica (Tundisi 1999).

Otro aspecto a tener en cuenta es que las asociaciones algales tienden a responder a las condicio-

nes ambientales del sitio que ocupan, por lo que la variabilidad de cada cuerpo de agua se refleja en la estructura del ficoperifiton. Por ejemplo, los mayores valores de la riqueza ficoperifítica se registraron en el cuerpo central de la ciénaga de Ayapel, que presenta una turbulencia alta, mayores valores de temperatura, concentración de oxígeno disuelto, y pH y conductividades bajas.

En las ciénagas más oligotróficas, la contribución de las desmidiaceas a la biodiversidad de estos sistemas aumenta, respecto a los cuerpos mesotróficos y eutróficos. De acuerdo con Coesel (1982), la composición y abundancia de las desmidiaceas está relacionada con el pH, la conductividad y la presencia de macrófitas. Sin embargo, estas variables no fueron contrastantes, por lo que se podría inferir que otras características del agua (transparencia, concentración de nutrientes) y del ensamble (competencia) pueden ser responsables de las diferencias en la estructura del ficoperifiton.

D. confervaceae y *Fragilaria capucina* son los organismos que alcanzan el 40% de la abundancia relativa del ficoperifiton. *D. confervaceae* se registra por segunda vez para Colombia. En Brasil se ha encontrado en aguas ligeramente ácidas (6.2-6.6), temperaturas entre 14°C y 24°C, conductividades intermedias (>110 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Torgan y Dos Santos 2008). En Colombia se ha encontrado en sistemas lóticos (Antioquia y Santander), (Sala *et al.* 2009). Según el catálogo de parámetros ecológicos de Moro y Fusterberger (1997) *D. confervacea* se puede considerar como indicadora de condiciones mesotróficas y es tolerante de la contaminación; *F. capucina* se ha informado en hábitats lóticos, oligosaprobios y pH neutro; *E. naegueli* es una especie acidofila, característica de condiciones oligotróficas y de corriente, y *F. krammeri* se ha detectado principalmente en aguas limpias y reduce sus poblaciones en aguas poluidas, se encuentra en ambientes oligotróficos-distróficos.

Las diatomeas están presentes en todos los cuerpos de agua y en general, representan cerca del 50% de la riqueza de taxones y el 75% de la abundancia del ensamblaje perifítico. Estos organismos son considerados como colonizadores rápidos y eficientes, capaces de colonizar un sustrato en cuestión de días a semanas (Hoagland *et al.* 1986). Muchas diatomeas poseen estructuras especializadas para la fijación al sustrato, tales como pedúnculos mucilaginosos, como los que se presentan en las especies del género *Gomphonema*, producción de matrices mucilaginosas como en *Cymbella*, *Frustulia* y *Navicula* y formas con ramas con ganchos que permiten la formación de colonias fijas al sustrato como en *Eunotia* y *Fragilaria* (Round 1991). La riqueza alta de estos grupos de diatomeas está parcialmente relacionada con esas estructuras especializadas que les confieren ventajas competitivas en condiciones ambientales estresantes impuestas por la velocidad de la corriente y las descargas de contaminantes (Biggs 1996 en Rodríguez y Bicudo 2005).

En conclusión, la estructura de las asociaciones algales perifíticas responde a las condiciones fisicoquímicas de cada ciénaga. El ensamble ficoperifítico asociado a los lagos de inundación muestra patrones particulares, lo que señala la importancia de continuar con las actividades de preservación y estudio de estos ecosistemas estratégicos. El predominio de las diatomeas entre los componentes del ensamblaje es indicador de la ventaja que presentan al poseer estructuras especializadas para la fijación, frente a las condiciones turbulentas (fase de llenado del sistema) que limita el desarrollo y la productividad del ficoperifiton en los ecosistemas estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el convenio Universidad de Antioquia-GAIA-Universidad Nacional de Colombia, proyecto Grecia-Colciencias.

LITERATURA CITADA

- Aguirre RN, Palacio J, Flórez MT, Wills A, Caicedo O, Jiménez LF, *et al.* 2005. *Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia.* Universidad de Antioquia-Universidad Nacional. 419 p.
- Álvarez CM, Gallardo T. 1989. Una revisión sobre la biotecnología de las algas. *Bot Complut.* 15 (1): 9-60.
- Bourrelly P. 1966. *Les algues d'eau douce.* N. Boubée y Cie. Paris. 511 p.
- Bourrelly P. 1968. *Les algues d'eau douce.* N. Boubée y Cie. Paris. 438 p.
- Bourrelly P. 1985. *Les algues d'eau douce.* N. Boubée y Cie. Paris. 537 p.
- Coesel PFM. 1982. Structural characteristics and adaptations of desmid communities. *J Ecol.* 70: 163-77.
- Delbeque EJ. 1985. Periphyton on nymphaeids: An evaluation of methods and separation techniques. *Hidrobiología.* 124: 85-93.
- Echenique R, Núñez-Avellaneda M, Duque S. 2004. Chlorococales de la Amazonía colombiana I: Chlorellaceae y Scenedesmaceae. *Caldasia.* 26 (1): 37-51.
- Flynn NJ, Snooka DL, Wadea AJ, Jarvieb HP. 2002. Macrophyte and periphyton dynamics in a UK Cretaceous chalk stream: the River Kennet, a tributary of the Thames. *Sci Total Environ.* 143-57.
- Ham SF, Wright JF, Berrie AD. 1981. Growth and recession of aquatic macrophytes on an unshaded section of the River Lambourn, England, from 1971 to 1976. *Freshwat Biol.* 11: 381-90.
- Hoagland KD, Zlotzky A, Peterson CG. 1986. The source of algal colonizer on rock substrates in a freshwater impoundment. *In:* Evans LV, Hoagland KD (Eds.) *Algal biofouling.* Amsterdam: Elsevier Science Publishing Company Inc; p 21-39.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1986. *Estudio general de los suelos de los municipios de Ayapel, Buenavista, Planeta Rica y Pueblo Rico (Departamento de Córdoba).* Bogotá: IGAC; 282 p.
- Kómarek J, Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokariota. 1st Part: Chroococcales. *In:* Ettl H, Gürtner G, Heynigh H, Mollenhauer D, Gustav D (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/1.* Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm: Gustav Fisher; 548 p.
- Kómarek J, Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokariota. 2ndPart: Oscillatoriales. *In:* Büdel B, Krienitz L,

- Gärtner G, Schagerl M (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/2*. München: Elsevier Spektrum Akademischer Verlag; 759 p.
- Krammer K. 2000. Diatoms of Europe: The genus *Pinnularia*, vol 1. In: Lange-Bertalot H (Ed.). *Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Ruggell: ARG Ganther Verlag; 703 p.
- Krammer K. 2001. Diatoms of Europe: *Navicula sensu stricto* 10 Genera separated from *Navicula sensu lato*, *Frustulia*, vol 2. In: Lange-Bertalot H (Ed.). *Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Ruggell: ARG Ganther Verlag; 526 p.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. In: Verfasser, Herausgeber & Mollenhauer. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 1, Teil. Naviculaceae*. Jena: Gustav Fisher Verlag; 611 p.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. In: Verfasser, Herausgeber & Mollenhauer. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Jena: VEB Gustav Fisher; 576 p.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. In: Verfasser, Herausgeber & Mollenhauer. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 4 Teil: Achanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis*. Jena: VEB Gustav Fisher; 454 p.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1997. Bacillariophyceae. In: Verfasser, Herausgeber & Mollenhauer. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2, Teil. Bacillariaceae, Ephimemiaceae, Surirellaceae*. Jena: Gustav Fisher Verlag; 611 p.
- Lange-Bertalot H, Moser G. 1994. *Brachysira*. Monographie der Gattung. Wichtige Indikator-Species für das Gewässer-Monitoring und *Naviculadictyon* gen. Bibliotheca Diatomologica Band 29. J. Berlin: Cramer; 214 p.
- Lange-Bertalot H. 2001. *Diatoms of Europe*. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. *Navicula sensu stricto* 10 Genera separated from *Navicula sensu lato*. *Frustulia*. Ruggell: Koeltz Scientific Books; 435 p.
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H. 1998. Tropical diatoms of South America I. In: Lange-Bertalot H. (Ed.). *Iconographia diatomologica* 5. Ruggell: Koeltz Scientific Books; 780 p.
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H. 2007. Tropical diatoms of the South America II. In: Lange-Bertalot H. (Ed.). *Iconographia diatomologica* 18. Ruggell: ARG Gantner Verlag KG; 877 p.
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H, García-Rodríguez F. 2005. Diatoms of Uruguay. In: Lange-Bertalot H. (Ed.). *Iconographia diatomologica* 15. Ruggell: ARG Gantner Verlag KG; 890 p.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2009a. Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (ciénagas) en Colombia. *Rev Gest Amb.* 12 (3): 85-106.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2009b. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical colombiana. *Hidrobiologica*. 18(3): 189-98.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2009c. Cambios nictemerales de variables físicas y químicas en la ciénaga de Patícos, complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. *Rev Biol Trop.* 57 (3): 635-46.
- Montoya-Moreno Y. 2011. *Efecto del pulso de inundación-deseccación sobre la dinámica algal epifítica en un sistema de lagos de planicie de inundación tropical (ciénaga de Ayapel-, Colombia)*. Tesis de doctorado. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Otten JH, Willemse TM. 1988. First steps to periphyton. *Archives Fur Hydrobiol.* 112 (1): 177-95.
- Patrick R, Reimer WC. 1966. *The diatoms of United States*. Philadelphia: Monogr Acad Nat Sci. Vol 1. 688 p.
- Patrick R, Reimer WC. 1975. *The diatoms of United States*. Philadelphia: Monogr Acad Nat Sci. vol 2. 212 p.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC. 1972. *Desmidiaceae. 1: Saccodermes, Mesotaeniaceae (North America Flora)*. New York: New York Botanical Garden; 82 p.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC. 1975. *A synopsis of North America desmids 2: Desmidiaceae: Placoderm, 1*. Lincoln: University of Nebraska Press; 275 p.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC. 1977. *A synopsis of North America desmids 2: Desmidiaceae, Placoderme, 2*. Lincoln: University of Nebraska Press; 413 p.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC. 1981. *A synopsis of North American desmids 2: Desmidiaceae: Placoderme, 3*. Lincoln: University of Nebraska Press; 720 p.
- Prescott GW, Bicudo CE, Vinyard WC. 1982. *A synopsis of North American Desmids. Part. II. Desmidiaceae: Placodermes. Section 4th*. Lincoln: The University of Nebraska Press. 700 p.
- Rodríguez L, Bicudo D. 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev Bras Bot.* 3: 235-48.
- Round FE. 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. *J Applied Phycol.* 3: 129-45.
- Rumrich U, Lange-Bertalot H, Rumrich M. 2000. *Diatoms*

- of the Andes*. Ruggell: ARG Gantner Verlag; 695 p.
- Sand-Jensen K. Physical and chemical parameters regulating growth of Periphytic communities. 1983. In: Wetzel RG (Ed.). *Periphyton of Freshwater Ecosystems*. Boston: The Hague Dr W Junk Publishers. p. 89-96.
- Sant'anna C, Azevedo M, Senna PA, Komárek J, Jaroslava K. 2004. Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. *Rev Brasil Bot.* 27 (2): 213-27.
- Simonsen R. 1987. *Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt*. Vol 1. Berlin: J. Cramer; 525 p.
- Simonsen R. 1987. *Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt*. Vol 2. Berlin: J. Cramer; p. 1-395.
- Simonsen R. 1987. *Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt*. Vol 3. Berlin: J. Cramer; p. 395-796.
- Tell G, Conforti V. 1986. *Euglenophyta pigmentadas de la Argentina*. Berlin: Bibliotheca Phycologica, Editorial Cramer; p. 75.
- Torgan CL, Dos Santos CB. 2008. *Diadsmisconfervacea* (Diadsmiaceae-Bacillariophyta): morfología externa, distribuição e aspectos ecológicos. *IHERINGIA, Sér. Bot.* 63 (1): 171-6.
- Tundisi JG. 1999. Reservatórios como sistemas complexos: Teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: R. Henry (Ed.). *Ecologia de reservatórios: estrutura, funções e aspectos sociais*. São Paulo: Fundbio/Fapesp, Botucatu; 19-38.
- Wetzel RG. 1983. *Periphyton of aquatic ecosystem*. Boston: BV Junk Publishers; 346 p.
- Wetzel RG. 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems*. 3ªed. San Diego: Academic Press; 1006 p.
- Wilby R, Cranston LE, Darby EJ. 1998. Factors governing macrophyte status in Hampshire chalk streams: implications for catchment management. *J Chart Instit WatEnviron Manag.* 12: 179-87.
- Williamson CE, Zagarese HE. 1994. Impact of UV-B Radiation on Pelagic Freshwater Ecosystems. *Arch Fur Hydrobiol.* 143: 322-36.