

Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana

Periphytic algae assemblage in macrophyte roots in a Colombian tropical wetland

Yimmy Montoya-Moreno¹ y Nestor Aguirre-Ramírez^{1,2}

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. Apdo. 1226, Medellín, Sede de Investigación Universitaria SIU, calle 62 N° 52-59, Colombia

²Grupo de gestión y modelación ambiental Gaia. Universidad de Antioquia. Antioquia, Colombia
e-mail: yimmymontoya3@hotmail.com

Montoya-Moreno Y. y N. Aguirre-Ramírez. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Hidrobiológica* 18 (3): 189-198.

RESUMEN

Se estudiaron los gremios de algas perifíticas (ficoperifiton) que se desarrollan en las vecindades de las principales macrófitas acuáticas de la Ciénaga de Paticos, sistema lético tropical perteneciente al complejo cenagoso de Ayapel, Colombia, ubicado a 20 m.s.n.m. Este ecosistema presenta estratificación térmica en las horas de la tarde, una zona fótica reducida, aguas poco mineralizadas, con características oxidantes y pH ligeramente ácido. Se reportan 43 especies perifíticas, predominando las diatomeas, en las raíces de macrófitas. Las asociaciones de ficoperifiton presentaron baja variación de los índices comunitarios, y no se encontraron diferencias significativas entre las raíces de las diferentes macrófitas, probablemente debido a la alta carga de material inorgánico que limita la zona fótica y la fijación en los diferentes tipos de sustrato, generando un control de tipo bottom-up. Por otro lado, si hubo diferencias en la densidad de ficoperifiton por unidad de área, en las distintas raíces estudiadas en especial en *Nymphoides humboldtiana* la cual tiene una raíz principal única, presentando la menor diversidad, equidad y riqueza de especies perifíticas, lo cual se atribuye a una combinación de factores ambientales, físicos y químicos, así como al tipo de sustrato.

Palabras clave: Perifiton, ciénagas, biopelículas, raíces de macrófitas, limnología tropical.

ABSTRACT

The assemblage of periphytic algae (phycoperiphyton) associated to the macrophyte roots was studied in "Paticos" wetland; a tropical lentic system belongs to the Ayapel wetland complex located in Colombia, located 20 m. a.s.l. This ecosystem presents thermal stratification in the afternoon, a reduced fotic area, water little mineralized, with characteristic oxidizers and lightly acid pH. Forty three periphytic species was reported, diatoms were predominant in the macrophyte roots. Assemblages showed low variation on the community indexes, and there were no significant differences between macrophyte roots, probably due to the high loads of inorganic material that limits the fotic zone and the fixation to the different substrata types, generating a bottom-up type control. On the other hand, the density of phycoperiphyton by unit area presented differences in various roots studied especially in *Nymphoides humboldtiana* which has a single main root, submitting the lowest diversity, evenness and phycoperiphytic species richness, which is attributed to combination of environmental, physical and chemical factors, as well as the type of substrate.

Key words: Periphyton, wetland, biofilms, macrophyte roots, tropical limnology.

INTRODUCCIÓN

Los humedales, son ecosistemas que ocurren en todos los continentes, con excepción de la Antártida y en todos los tipos de

climas, desde los trópicos hasta las tundras (Mitsch & Turner, 1994). Se ha mencionado que el 38% del área total de humedales del mundo se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales, y se ha recopilado una larga lista de nombres comunes para

estos ambientes en distintas partes del mundo, entre los que figuran: turbera, pantano, marjal, laguna, manguezal y marisma (Mitsch & Turner, 1994). Existen otros nombres más asociados al trópico, tales como ciénaga, madrevieja, igapó y várzea (Asprilla *et al.*, 1998).

Las ciénagas se definen como cuerpos de agua localizados en depresiones poco profundas y conectadas a un río mediante estrechos canales meandriformes que se forman por la acción inundante del río sobre las tierras bajas adyacentes y por la continua acción erosiva del río, lo cual origina la formación de brazos que eventualmente se convierten en ciénagas permaneciendo unidas al río por uno o más caños (Roldán, 1992).

La importancia ecológica de las ciénagas es resaltada por Arias (1985) quién afirma que son zonas de amortización de los niveles de agua durante los procesos de inundación. Estos sistemas son considerados como refugios ecológicos transitorios o permanentes de aves migratorias, así como en zonas de reproducción, alimentación y crecimiento de poblaciones de peces y fauna acuática en general; por lo tanto pueden presentar una alta productividad, al igual que los planos inundables y las áreas terrestres anexas o aluviales debido a la deposición de nutrientes en ellas durante las épocas de lluvia.

Colombia posee 1,900 ciénagas en un área total de 478,418 ha, siendo el más importante el complejo cenagoso del río Magdalena, cubriendo unas 320,000 ha (Arias, 1985). La llanura aluvial del río San Jorge presenta algunos sistemas lagunares de agua dulce, entre los cuales La Ciénaga de Ayapel, es un importante acuífero y reservorio íctico (Aguirre, 2005).

El estudio de las comunidades algales perifíticas (ficoperifiton) (Foerster & Schlichting, 1965) en Colombia se ha desarrollado principalmente en embalses (Moreno, 1989; Sierra & Ramírez, 2000), lagos (Donato *et al.*, 1996) y ríos (Ramírez & Viña, 1998; Hernández-Atilano *et al.*, 2005; Montoya & Ramírez, 2007). Tales estudios se han realizado con un punto de vista de la ecología descriptiva como la composición de la microbiota, la distribución temporal-espacial, colonización y sucesión de las especies en sustratos artificiales, por lo que los estudios del perifiton en las ciénagas son escasos. Sobre este tipo de ecosistemas puede mencionarse la investigación de Ramírez & Viña (1998), quienes realizaron la caracterización biológica de los cuerpos de agua localizados en el área de influencia del oleoducto central. Otro término que se usa ampliamente para describir el perifiton es la palabra biofilm o biopelícula, los cuales consideran a esta comunidad como el agregado de microorganismos y productos extracelulares asociados a un sustrato (Marshall, 1991).

El objetivo principal de este estudio fue conocer la asociación del ficoperifiton de la Ciénaga de Paticos y evaluar la variación de la estructura del gremio asociado al ambiente de las raíces de las macrófitas dominantes en esta ciénaga durante un

ciclo hidrológico en cuatro épocas (aguas altas, bajas, ascenso y descenso).

MATERIALES Y MÉTODOS

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 (Fig. 1). Forma parte del macrosistema de humedales y zonas anegables de la depresión Momposina. La cuenca de la ciénaga tiene un área de 1 504 km², situada entre 20 y 150 msnm. El territorio se ubica en la zona de bosque húmedo tropical, con temperaturas entre los 26 y 29 °C (IGAC, 1986). El régimen de precipitaciones fluctúa entre un periodo de lluvias (abril y noviembre) y de sequía (diciembre y marzo). Geográficamente, la zona se encuentra en la vertiente oriental del río San Jorge, y en la parte occidental media del complejo cenagoso de Ayapel, se encuentra la ciénaga de

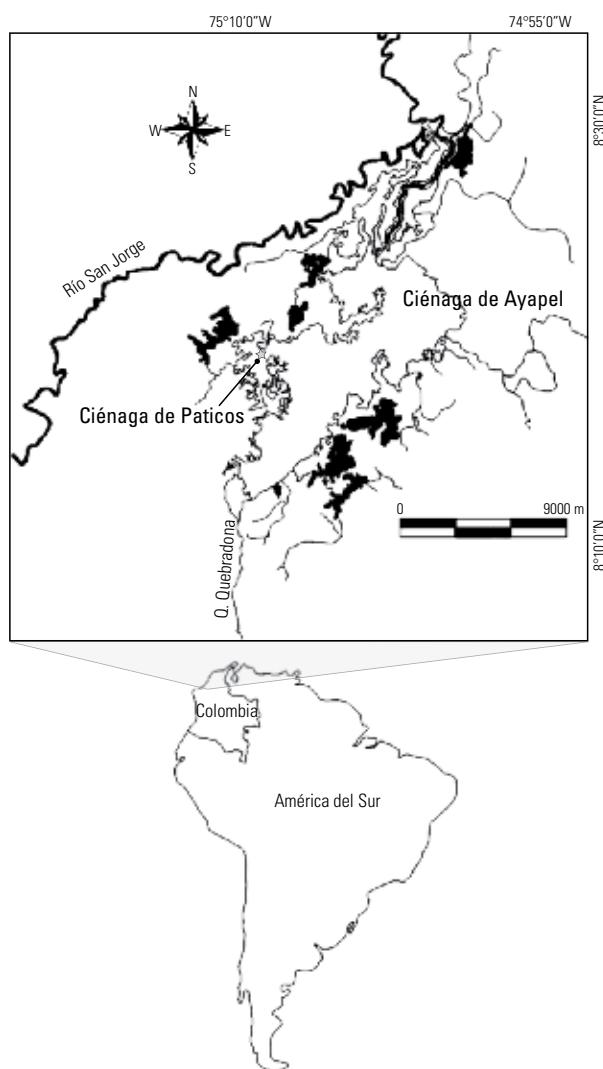


Figura 1. Mapa de la Ciénaga de Ayapel y del sitio de muestreo *(en la Ciénaga de Paticos).

Paticos a los 8°04' - 8°30' LN y 74°84' - 75°20' LO. El drenaje es dendrítico y presenta longitudes variables, siendo el principal afluente de la Ciénaga de Paticos, la quebrada de Ayapel, una fuente deteriorada que recibe los desperdicios del matadero del municipio de Ayapel (Chalarca *et al.*, 2007).

El sitio de investigación se localizó entre los 8° 21' 08.2" N y 75° 08' 45.7" O (Fig. 1). En esta estación se realizaron muestreos durante el año 2006, en los meses de mayo (comienzo del llenado de la ciénaga), agosto (aguas en ascenso) y diciembre (comienzo del vaciado de la ciénaga) y en el mes de marzo del 2007 (época más seca y de menor profundidad de la ciénaga), abarcando un ciclo hidrológico anual. La evaluación partió de la caracterización de las condiciones físicas y químicas del agua. En el sitio de recolección de las raíces de las plantas acuáticas se determinó la transparencia con un disco Secchi, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, la conductividad eléctrica, el pH y la profundidad total empleándose una sonda multiparamétrica IQ, el potencial redox con un potenciómetro WTW, la alcalinidad y la dureza se evaluaron mediante kits Aquamerk. Se tomaron muestras de 3 litros de agua para la determinación en el laboratorio de los nutrientes, tales como nitrógeno amoniacal (nesslerización), nitratos (reducción de cadmio), nitritos (diazotización), fósforo soluble reactivo (ácido ascórbico) y sulfatos (turbidimétrico) evaluado según Eaton *et al.* (1995). En los parches de macrofitas se determinó cuáles eran las especies más abundantes por inspección visual y del borde del parche, se tomaron con pinzas, dos muestras de raíces por cada especie de planta acuática dominante. Las muestras fueron depositadas en frascos de plástico de 100 ml, a los que se les agregó agua de la ciénaga previamente filtrada y después se fijaron con solución de formaldehído, para obtener una concentración final del 4%.

Las raíces recolectadas fueron llevadas al laboratorio para hacer la determinación de las especies del ficoperifiton con base en los trabajos de Patrick y Reimer (1966, 1975), Bourrelly (1966, 1968, 1985), Streble y Krauter (1985), Krammer y Lange-Bertalot (1988, 1991) y Rumrich *et al.* (2000). El conteo de los organismos se realizó bajo un microscopio invertido Leica DMIN, teniendo en cuenta el material adherido a las raíces, considerando 30 campos sobre las raíces de las macrofitas con el objetivo de 40X. Tal número de campos fue determinado mediante curvas de saturación de especies.

La estructura de la comunidad se evaluó mediante curvas de importancia y usando los índices de dominancia (Simpson, 1949), diversidad (Shannon & Wiener, 1949) y equidad (Pielou, 1975), el cual está basado en la relación entre H' / H'_{max} . Se realizó un análisis de agrupamiento, mediante el índice de similitud de Bray-Curtis y ligamiento completo, para evaluar las abundancias relativas de las algas perifíticas de las diferentes macrofitas estudiadas. Para explicar el comportamiento de las variables estudiadas en el ámbito temporal, se empleó el coeficiente de co-

rrelación de Spearman. Se aplicó un análisis de varianza de dos vías para evaluar las asociaciones perifíticas, los índices de diversidad y la densidad algal perifítica, empleándose como variables independientes las macrofitas estudiadas y los muestreos, usando el programa Statgraphics versión 5.0.

RESULTADOS

Caracterización de la ciénaga. Las variables físicas y químicas evaluadas en el agua subsuperficial en las zonas de recolección de las macrofitas presentaron un pH ligeramente ácido (6.9 unidades de pH), baja conductividad eléctrica (30.3 $\mu\text{S cm}^{-1}$), concentración y saturación de oxígeno subsaturadas (4.5 mg l^{-1} , 55%), alcalinidad (55 mg l^{-1} de CaCO_3), dureza total (34.3 mmol l^{-1} de CaCO_3) y transparencia (0.38 m). El agua presentó características oxidantes (208 mV), una temperatura elevada (28.9 °C), una profundidad de la columna de agua de 3.2 m, valores altos de nutrientes tales como, fósforo soluble reactivo (0.59 mg l^{-1}), nitrógeno amoniacal (0.08 mg l^{-1}), nitratos (0.47 mg l^{-1}), nitritos (0.07 mg l^{-1}) y sulfatos (4.15 mg l^{-1} ; Tabla 1).

Agremiación de algas perifíticas asociada a las raíces de las macrofitas. Durante los muestreos realizados entre el ascenso y descenso hidrológico se encontraron diferentes plantas acuáticas (Tabla 2), estando las comunidades dominadas por *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach, *E. azurea* (Swartz) Kunth, *Aeschynomene americana* Linneo, *Nymphoides humboldtiana* (Kunth) Kuntze, *Ludwigia sedoides* (Bonpland) H.Hara y *Paspalum repens* (Elliot) Kunth. Al evaluarse las algas perifíticas asociadas a las raíces de estas macrofitas se determinaron un total 43 morfoespecies (Tabla 3) pertenecientes a 17 familias, donde la división Bacillariophyta (diatomeas) fue la más abundante, con un 54% del total, seguida por Chlorophyta (algas verdes) con 29%, Cyanoproctyota (algas verde azules) con 14% y finalmente Euglenophyta con 3%.

El índice de diversidad de Shannon-Wiener presentó un intervalo de variación entre 1.3 bits/ind y 2.3 bit/ind (CV = 18.3%), el índice de equidad de Pielou osciló entre 0.49 y 0.84 (CV = 19.7%) y la riqueza de especies fluctuó entre 15 y 22 morfoespecies (CV = 17.2%). Por otro lado, el índice de dominancia de Simpson mostró valores entre 0.1 y 0.46 con el mayor coeficiente de variación de Pearson (CV = 39.5%) (Figs. 2a-f).

Los organismos que se encontraron más frecuentes en la mayoría de las raíces de macrofitas estudiadas fueron *Fragilaria* cf. *capucina* Desmacières, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg y *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, siendo los dos primeros los que presentaron las mayores abundancias relativas, representando el 65% del total de las algas perifíticas cuantificadas (Fig. 2a-f). Por otro lado, se registraron varias morfoespecies con baja abundancia y presencia (no dominantes) tales como *Cosmarium circulare* Reinsch, *Oscillatoria* sp., *Staurastrum*

Tabla 1. Variables fisicoquímicas estudiadas: valores máximos, mínimos, promedio y coeficiente de variación (CV)

Variable (unidades)	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	CV
Profundidad total (m)	3.5	3.00	3.20	9.1
Transparencia Secchi (m)	0.6	0.15	0.38	58.8
Temperatura del agua (°C)	31	29.60	1.40	2.3
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.2	4.19	4.54	12.5
pH (Unidades de pH)	7.23	6.58	6.9	4.7
Conductividad eléctrica (µS/cm)	31	29.60	30.30	14.2
Saturación de oxígeno (%)	55.3	55	55.10	0.3
Alcalinidad total (mg/L CaCO ₃)	60	50	55	9.0
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	38	30	34.3	11.7
Redox (mV)	214	200	208	1.4
Nitrato (mg/L)	0.9	0.04	0.56	81.7
Nitrito (mg/L)	0.07	0.04	0.05	28.6
N-amoniacial (mg/L)	0.11	0.07	0.09	22.3
Fósforo soluble (mg/L)	0.97	0.21	0.59	64.8
Sulfatos (mg/L)	4.3	4.00	4.10	4.2

setigerum Cleve, *Syndra capitata* Ehrenberg, *Ulothrix* sp., *Hyalotheca* sp., *Euastrum sinuosum* Lenorm, *Epithemia* sp. y *Gloeocapsa* sp., ya que sólo se reportaron en una sola raíz de macrófita. Pese a esto, no se evidenciaron diferencias estadísticas entre las morfoespecies algales perifíticas presentes en las seis macrófitas evaluadas ($p > 0.05$).

Al evaluar la comunidad ficoperifítica se identificaron diferencias entre las muestras de las distintas macrófitas respecto a la diversidad, equidad, dominancia y riqueza numérica de especies ($p < 0.05$). La correlación de Spearman entre la diversidad y la riqueza numérica de especies no fue significativa ($p > 0.05$) pero si lo fue entre la diversidad y la equidad ($p < 0.05$; Tabla 4).

El análisis de agrupamiento mostró un intervalo aproximado de similitud de 22% en la abundancia de las algas perifíticas, al comparar las raíces de las seis macrófitas evaluadas. Pese a

que no se observó una separación completa entre macrófitas, se detectó la formación de cuatro subgrupos involucrando a las fechas de muestreo (Fig. 3).

La densidad del ficoperifiton (Fig. 4) presentó un valor máximo de 0.15 ind/µm² reportado en las raíces de *Eichhornia azurea* y un valor mínimo de 0.0004 ind/µm² asociado a *Nymphoides humboldtiana*, con un valor promedio de densidad ficoperifítica de 0.013 ind/µm², el cual se incrementó de acuerdo a la complejidad estructural de la raíz. La prueba de varianza mostró diferencias altamente significativas para la densidad del ficoperifiton ($p < 0.05$).

Las algas componentes del perifiton encontradas en esta investigación se reportan como organismos cosmopolitas de las aguas continentales sudamericanas (Tell, 1977, 1979; Roldán, 1992; Montoya, 2000; Montoya y Ramírez, 2007; Ramírez, 2000; Lobo *et al.*, 2002).

Tabla 2. Lista de especies de macrófitas acuáticas encontradas en la ciénaga de Paticos

Monocotyledoneae	Pontederiaceae	Onagraceae
Araceae	<i>Eichhornia crassipes</i> (Martius) Solms-Laubach	<i>Ludwigia sedoides</i> (Bonpland) H. Haro
<i>Pistia stratiotes</i> Linnaeus	<i>Eichhornia azurea</i> (Swartz) Kunth	Polygonaceae
Lemnaceae	Mimosaceae	<i>Polygonum</i> sp.
<i>Lemna minor</i> Linnaeus	<i>Mimosa</i> sp.	Pteridophyta
Najadaceae	<i>Aeschynomene americana</i> Linnaeus	Marsileaceae
<i>Najas guadalupensis</i> (Sprengel) Magnus	Nymphaeaceae	<i>Marsilea quadrifolia</i> Linnaeus
Poaceae	<i>Nymphoides humboldtiana</i> Kuntze	Salviniaceae
<i>Paspalum repens</i> Bergius		<i>Salvinia minima</i> Baker

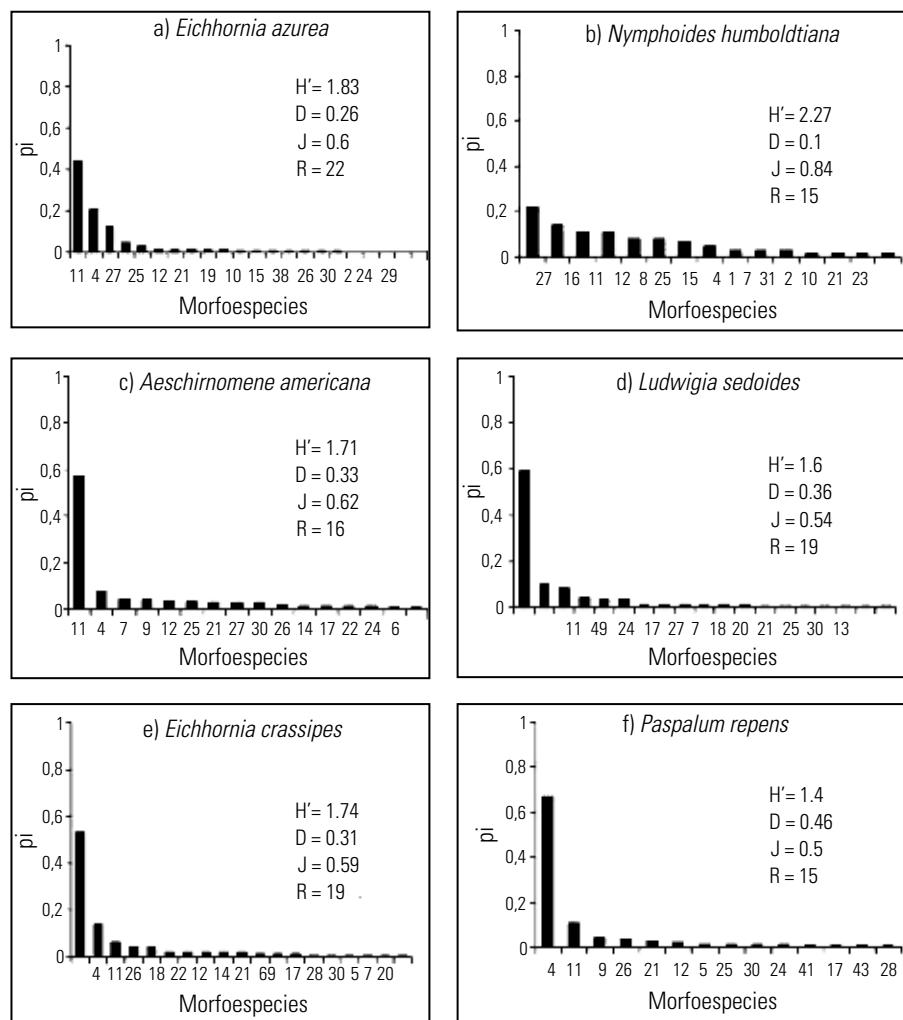


Figura 2a-f. Gráficas de abundancia y valores de diversidad, dominancia, equidad y riqueza numérica de la comunidad de algas perifíticas en las raíces de las distintas especies de macrófitas estudiadas. Símbología: H' = diversidad. D = Dominancia. J = Equidad. R = Riqueza. Morfoespecies: 1. *Cosmarium laeve*; 2. *Cosmarium margaritiferum*; 3. *Cosmarium circulare*; 4. *Fragilaria cf. capucina*; 5. *Fragilaria mesolepta*; 6. *Lyngbya* sp.; 7. *Actinella* sp.; 8. *Mougeotia* sp.; 9. *Luticula mutica*; 10. *Navicula criptocephala*; 11. *Synedra ulna*; 12. *Oedogonium* sp.; 13. *Oscillatoria* sp.; 14. *Pinnularia* sp.; 15. *Spirogyra* sp.; 16. *Staurastrum setigerum*; 17. *Eunotia minor*; 18. *Eunotia bilunaris*; 19. *Synedra capitata*; 20. *Synedra goulardi*; 21. *Tabellaria fenestrata*; 22. *Aulacoseira granulata*; 23. *Aulacoseira italicica*; 24. *Cymbella mesiana*; 25. *Encyonema minutissimum*; 26. *Cylindrospermopsis raciborskii*; 27. *Achnanthidium lanceolata*; 28. *Anabaena* sp.; 29. *Hyalotheca* sp.; 30. *Frustulia romboidea*; 31. *Gomphonema clavatum*; 32. *Euastrum sinuosum*; 33. *Epithemia* sp.; 34. *Gloeo capsula* sp.; 35. *Ulothrix* sp.; 36. *Achnanthidium minutissimum*; 37. *Euglena acus*; 38. *Gomphonema parvulum*; 39. *Navicula* sp.; 40. *Asterionella* sp.; 41. *Sphaerocystis* sp.; 42. *Oscillatoria* sp.; 43. *Bulbochaete* sp.

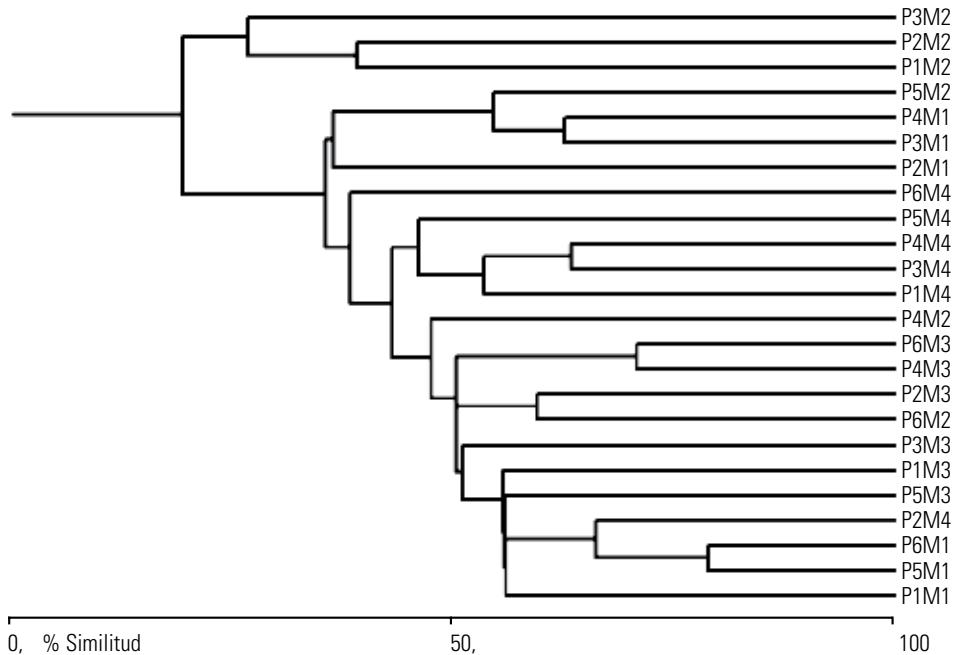
DISCUSIÓN

El grado de desarrollo de la comunidad presente en la biopelícula estuvo influenciado predominantemente por la naturaleza del sustrato, considerado por varios autores como una de las variables más importantes, tanto por su papel en la selección de las especies como por su relación con las condiciones ambientales prevalecientes (Stevenson *et al.*, 1996; Otten y Willemse, 1988). Dado que generalmente se encontró una baja biomasa algal asociada a las raíces de las macrófitas durante el tiempo de muestreo, ya que en las inspecciones visuales las raíces se

presentaron muy limpias y con escaso material perifítico. Las algas perifíticas se encontraron en bajas densidades, por lo que la biopelícula estaba principalmente conformada por organismos heterotróficos y por material inorgánico (inspección visual), lo que permitió corroborar las observaciones preliminares del ficoperifiton como una comunidad poco desarrollada formada por un sólo estrato. Condición también reportada por Sierra y Ramírez (2000) en un experimento de colonización empleando sustratos artificiales en un embalse tropical colombiano, quienes asumieron que la baja colonización algal fue producto de la deposición de material particulado sobre los sustratos lo que

Tabla 3. Lista de especies de algas perifíticas asociadas a raíces de macrófitas en la ciénaga de Paticos

Cyanoproctiota	Zygnemataceae	Gomphonemaceae
Chroococcaceae	<i>Mougeotia</i> sp.	<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	<i>Spirogyra</i> sp.	<i>Gomphonema parvulum</i> (Lange-Bertalot et Reichardt)
<i>Gloeocapsa</i> sp.	Palmellaceae	Naviculaceae
Oscillatoriaceae	<i>Sphaerocystis</i> sp.	<i>Frustulia romboidea</i> (Ehrenberg) De Toni
<i>Oscillatoria</i> sp ₁	Bacillariophyta	<i>Navicula criptocephala</i> Kützing
<i>Oscillatoria</i> sp ₂	Fragilariaceae	<i>Luticula mutica</i> Kützing
<i>Lyngbya limnetica</i> Lemmerman	<i>Fragilaria mesolepta</i> Rabenhorst	<i>Navicula</i> sp.
Nostocaceae	<i>Fragilaria cf. capucina</i> Desmazière	<i>Pinnularia</i> sp.
<i>Anabaena</i> sp.	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	Cymbellaceae
Chlorophyta	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Enhrenberg	<i>Cymbella mesiana</i> Cholnoky
Oedogoniaceae	<i>Synedra capitata</i> Ehrenberg	<i>Encyonema minutissimum</i> Hilse
<i>Oedogonium</i> sp.	<i>Synedra goulardi</i> Brébisson	Ephitemiaceae
<i>Bulbochaete</i> sp.	<i>Asterionella</i> sp.	<i>Epithemia</i> sp.
Ulotrichaceae	Eunotiaceae	Coscinodiscaceae
<i>Ulothrix</i> sp.	<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
Desmidiaceae	<i>Eunotia bilunaris</i> (Enhrenberg) Mills	<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	<i>Actinella</i> sp.	<i>Euglenophyta</i>
<i>Cosmarium margaritiferum</i> Meneghini	Achnanthaceae	Euglenaceae
<i>Cosmarium circulare</i> Reinsch	<i>Achnanthidium lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow	<i>Euglena acus</i> Ehrenberg
<i>Cosmarium margaritatum</i> (Lundell) Roy et Bisset	<i>Achnanthidium minutissimum</i> Kützing	
<i>Euastrum sinuosum</i> Lenormand		
<i>Hyalotheca</i> sp.		
<i>Staurastrum setigerum</i> Cleve		

Figura 3. Análisis de agrupamiento de las macrófitas estudiadas con base en el índice de similitud de Bray - Curtis. P1. *E. azurea*; P2. *N. humboldtiana*; P3. *A. americana*; P4. *L. sedoides*; P5. *E. crassipes*; P6. *P. repens*.

M1. muestreo aguas bajas; M2. Muestreo aguas en ascenso; M3. Muestreo aguas altas; M4. Muestreo aguas altas en descenso.

Tabla 4. Matriz de correlaciones entre índices comunitarios (valores de R y p).

	Diversidad	Equidad	Riqueza	Dominancia
Diversidad	—	0.95 ($p = 0.04$)	0.13 ($p = 0.8$)	0.997 ($p = 0.0000$)
Equidad		—	-0.19 ($p = 0.7$)	-0.95 ($p = 0.003$)
Riqueza			—	-0.1 ($p = 0.85$)
Dominancia				—

dificulta la realización de la fotosíntesis; este flujo fue favorecido por el bombeo de agua al reservorio. Para el caso de esta investigación, suponemos que el poco desarrollo de la comunidad algal perifítica se debió en parte al ingreso de la quebrada Ayapel, con una carga alta de material orgánico e inorgánico (Aguirre, 2005), así como a los procesos de resuspensión por lo somero del sistema ($Z_{\max} < 5$ m) y a la polimixis (Montoya y Aguirre, en prep.) todo lo cual produce una reducción del nivel lumínico de la ciénaga, generando una baja transparencia y un ambiente abrasivo que limita la fijación algal, causando que pocos organismos bentónicos sean capaces de fijarse al sustrato de una manera eficiente por debajo de las condiciones de alta radiación en las aguas subsuperficiales; la baja transparencia limita exponencialmente la zona fótica haciendo que sea muy reducida ($Z_{SD} = 27\% Z_{\max}$). Es decir, las muestras perifíticas evaluadas forman parte de las raíces de la macrófitas flotantes, las cuales se localizan entre los dos y diez cm de profundidad; esta zona de la columna de agua presenta la mayor absorción lumínica, así que en este caso las bajas densidades y diversidades pudieron deberse a limitación de la colonización por foto-oxidación (Alvarez y Gallardo, 1989; Williamson y Zagarese, 1994).

Las algas perifíticas se diferenciaron en un 23% respecto al componente fitoplanctónico (Montoya y Aguirre, en prep.) el cual fue dominado por *Lyngbya* sp., *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska), *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen y *Chroococcus limneticus* Lemmermann, con un promedio de 15 taxones, presentando una menor riqueza y diversidad en com-

paración con el perifiton, lo cual podría indicar condiciones de hábitat limitadas, de esta manera se puede decir que la comunidad de algas perifíticas tiene ventajas para el uso de recursos, especialmente la luz, al encontrarse permanentemente dentro de la reducida zona fótica de la ciénaga, pero que su proliferación está controlada por el material inorgánico y por la foto-oxidación. Las bajas abundancias relativas, influyó en que no se encontraran diferencias significativas para los índices comunitarios. No obstante, se evidenció una mayor contribución a la riqueza por parte del grupo de las diatomeas, las cuales son tioclanctónicas por lo que requieren de mezclas profundas de la columna de agua que las acarreen a la zona fótica y / o de la presencia de sustratos que les permitan fijarse, a través de sus estructuras de fijación o secreciones mucilaginosas. Según Planas (1998) la mayoría de los sustratos artificiales tienden a favorecer a las diatomeas, eso mismo se evidenció en los sustratos naturales estudiados aquí. Este hecho presenta una tendencia más marcada en las diatomeas de simetría bilateral, las cuales se desplazan en el sustrato por medio del rafe.

En general, la densidad de algas perifíticas presentaron diferencias significativas con relación al sustrato, en especial las raíces de *Nymphoides humboldtiana*, las cuales albergan a la comunidad más disímil, lo que puede atribuirse a la arquitectura de las mismas, ya que están conformadas por un tubo central único, con pocas ramificaciones, además ésta es una planta enraizada que probablemente es sensible a las oscilaciones del nivel del agua. Sin embargo, en esta investigación la comunidad ficoperifítica encontrada fue semejante a la reportada para otras latitudes, es decir, una asociación dominada por diatomeas y algas verdes (Delbeque, 1985). Desde otro punto de vista, como lo plantea Wetzel (1983), el perifiton es una comunidad benthica de microorganismos estratificados, que están metabólicamente acoplados a los constituyentes orgánicos e inorgánicos del sustrato. Por lo que las variaciones entre las poblaciones ficoperifíticas pueden deberse al proceso de colonización, incluyendo el tiempo e incluso la existencia de gradientes espaciales.

En este estudio se encontraron poblaciones de algas como *Cosmarium laeve*, *C. margaritiferum*, *C. circulare*, *Staurastrum setigerum*, *Spirogyra* sp., *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Tabellaria fenestrata* y *Hyalotheca* sp. las cuales presentan hábito de tipo planctónico y son comunes en aguas oligotróficas (Ramírez, 2000); por lo que se puede afirmar que la presencia de estas especies se debió a lo somero del sistema y a la polimixis continua, ya que no se presentaron de manera habitual en todas las especies de macrófitas estudiadas.

Synedra ulna, la especie dominante en la comunidad estudiada, es una de las diatomeas más comunes en el mundo (Margalef, 1983), presente en aguas mesotróficas (Palmer, 1969), que forma colonias y presenta poros apicales con secreción de mucílago, además puede producir olor y sabor del agua a pepino

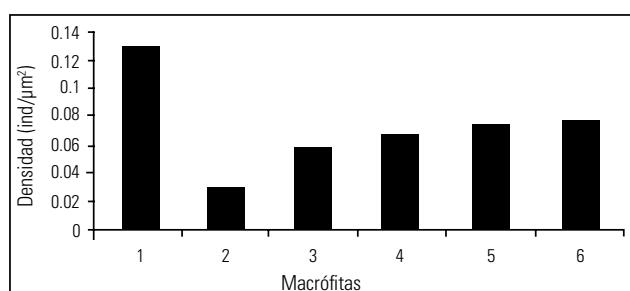


Figura 4. Densidad de la comunidad de algas perifíticas en las distintas especies de macrófitas estudiadas. 1. *E. azurea*; 2. *N. humboldtiana*; 3. *A. americana*; 4. *L. sedoides*; 5. *E. crassipes* y 6. *P. repens*.

o a tierra cuando se producen en alta cantidad (Ramírez, 2000). El segundo grupo en abundancia fueron diatomeas del género *Fragilaria* sp., dentro del cual, las especies que lo conforman en general producen un olor a geranio aún en pequeñas cantidades (Ramírez, 2000), y suelen presentar asociaciones con *S. ulna* (Margalef, 1983).

Investigaciones simultáneas de la comunidad fitoplanc-tónica realizadas en esta misma localidad ciénaga (Montoya y Aguirre, en prep.) han mostrado una tendencia a la baja diversidad y productividad fitoplanc-tónica, por lo que cobra importancia el estudio de la comunidad algal perifítica no sólo en esta ciénaga, sino en todo el complejo cenagoso, ya que el perifiton puede ser el responsable de generar el sustento para las demás comunidades acuáticas.

En general, se observó una comunidad ficoperifítica caracterizada por una estructura simple de un solo estrato pese a que las diferentes macrófitas estudiadas presentaron variados hábitos de crecimiento, lo cual seguramente se debió tanto a la alta concentración de material inorgánico como a la foto-oxidación; ambos factores limitantes del desarrollo algal.

Por otro lado, la densidad de algas perifíticas por unidad de área presentó diferencias entre las raíces estudiadas, pero no estuvieron asociados a las variables evaluadas, por lo que los resultados se atribuyen a la combinación de factores ambientales, físicos, químicos, tipo de sustrato y en especial a la arquitectura de la raíz, ya que los sistemas radiculares de las macrófitas evaluadas son diferentes, lo que puede generar espacios de colonización e interacciones con el sustrato diferentes, de acuerdo con cada raíz. Wetzel (1983) señaló que el perifiton es un eslabón entre los ecosistemas de aguas abiertas y los terrestres. A nivel de la micro escala, esta comunidad actúa como una interfase entre el sustrato y el agua, por lo que el estudio de la productividad perifítica deberá ser el paso siguiente dentro de la estrategia de conocimiento de este ecosistema, como una vía de estudio que nos permitirá aproximarnos al entendimiento de los flujos de energía en la cadena trófica del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el convenio Universidad de Antioquia-GAIA-Universidad Nacional de Colombia, en el proyecto Grecia-Colciencias. Agradecemos a árbitros anónimos que ayudaron a mejorar este manuscrito.

REFERENCIAS

- AGUIRRE, R. N. 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.
- ALVAREZ, C. M. & T GALLARDO. 1989. Una revisión sobre la biotecnología de las algas. *Botanica Complutensis* 15: 9-60.

- ARIAS, P. 1985. Las ciénagas en Colombia. *Revista Divulgación Pesquera Inderena* 22: 39-70.
- ASPRILLA, S., J. J RAMÍREZ & G. ROLDÁN. 1998. Caracterización limnológica preliminar de la ciénaga de Jotaudó (Chocó, Colombia). *Actualidades Biológicas* 20 (69): 87-107.
- 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.
- CHALARCA, D., R. MEJÍA & N. AGUIRRE. 2007. Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga. *Revista Facultad de Ingeniería* 40: 41-58.
- DELBEQUE, E. J. 1985. Periphyton on nymphaeids: An evaluation of methods and separation techniques. *Hidrobiología* 124: 85-93.
- DONATO, R. J., G. E. GONZÁLES & M. L. RODRÍGUEZ. 1996. *Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo*. Universidad Javeriana. Bogotá. 164 p.
- EATON, A. D., L. S. CLESCHERI & A. E. GREENBERG (Eds.). 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th Ed. American Public Health Association (APHA). Maryland. 760 p.
- FOERSTER, J. W. & H. E. SCHLICHTING. 1965. Phyco-periphyton in an oligotrophic lake. *Transactions American. Microscopical. Society* 84: 485-502.
- HERNÁNDEZ-ATILANO, E., N. J. AGUIRRE, & J. A. PALACIO. 2005. Variación espacio-temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca de la quebrada la vega, municipio de San Roque (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas* 27 (82): 67-77.
- 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, 282 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1988. 2/2 Bacillariophyceae. 2. Teil: *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Suriellaceae*. In: Ettl H., Gerloff J., Heyning H. y Mollenhauer D. (Eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1991. 2/3 *Bacillariophyceae*. 2. Teil: *Centrales, Fragilariaeae, Eunotiaceae*. In: Ettl H., Gerloff J., Heyning H. y Mollenhauer D. (Eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag. 576 p.
- LOBO, E. A., M. V. L. CALLEGARO & E. P. BENDER. 2002. *Utilização de Algas Diatomáceas Epilíticas como indicadores da Qualidade da Água em Rios e Arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil*. Edunisic, 127 p.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega, S A. Barcelona. 951 p.
- MARSHALL W. D. 1991. *Biología de las algas (Enfoque fisiológico)*. Limusa. México. 237 p.

- MITSCH, W., J. R. & R. E. TURNER. 1994. *Wetlands of the old and new world: ecology and management*. In: Mitsch W. J.(Ed.). *Global wetlands: old and new*. Elsevier Science B.V., New York. 895 p.
- MONTOYA, M. Y. 2000. *Estudio limnológico preliminar del río Cocorná*. Convenio Omníambiente-Cornare, Colombia. 340 p.
- MONTOYA, M. Y. & J. J. RAMÍREZ. 2007. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 55 (2): 585-593.
- MORENO, L. F. 1989. *Colonización del perifiton en tres embalses del oriente Antioqueño*. Tesis de pregrado (Biología), Universidad de Antioquia. Medellín. 130 p.
- OTTEN, J. H. & M. T. WILLEMSE. 1988. First steps to Periphyton. *Archiv fuer Hydrobiologie* 112 (2): 177-195.
- PATRICK R. & W. C. REIMER. 1966. *The diatoms of United States*. vol 1, Philadelphia, 688 p.
- PATRICK R. & W. C. REIMER. 1975. *The diatoms of United States*. vol 2, Philadelphia, 212 p.
- PIELOU, E. C. 1975. Shannon's formula as a measure of specific diversity- its use and disuse. *American Naturalist* 100: 463-465.
- PLANAS, D. 1998. *Anais do IV Congresso latinoamericano de Ficologia. Sociedad Ficológica da América Latina e Caribe*. Sao Paulo. 306 p.
- RAMÍREZ, G. A & V. G. VIÑA. 1998. *Limnología Colombiana*. BP- Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 292 p.
- RAMÍREZ, J. J. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Universidad de Antioquia, Colombia. 207 p.
- ROLDÁN, P. G. 1992. *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia, Medellín. 529 p.
- RUMRICH, U., H. LANGE-BERTALOT & M. RUMRICH. 2000. *Diatoms of the Andes*. A.R.G. Gantner Verlag Kommanditgesellschaft, Germany. 695 p.
- SHANNON, C. E. & W. WIENER. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, USA. 117 p.
- SIERRA, O. & J. J. RAMÍREZ. 2000. Variación espacio-temporal de biopelículas en la represa La Fe, el Retiro, Antioquia (Colombia). *Actualidades Biológicas* 22 (73): 153-168.
- SIMPSON, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 689-698.
- STEVENSON, R. J., M. L. BOTHWELL & R. L. LOWE, (EDS). 1996. *Algal Ecology*. Academic, New York. 753 p.
- STREBLE, H. & D. KRAUTER. 1985. *Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua*. Omega, S.A., Barcelona. 337 p.
- TELL, G. 1977. Estudios ecológicos sobre las algas epifíticas de *Ricciocarpus natans*. *Ecosur* 8 (4): 117-135.
- TELL, G. 1979. Chlorophyceae epífitas y epizoicas de agua dulce de Tierra del fuego, algunas características ecológicas. *Ecosur* 11 (6): 1-23.
- WETZEL, R. G., ED. 1983. *Periphyton of aquatic ecosystem*. B. V. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands. 346 p.
- WILLIAMSON, C. E. & H. E ZAGARESE,. 1994. Impact of UV-B Radiation on Pelagic Freshwater Ecosystems. *Archiv fuer Hydrobiologie* 143: 322-336.

Recibido: 9 de abril de 2008.

Aceptado: 15 de octubre de 2008.