

## Aproximación multivariada a la dinámica del ensamblaje algal epifítico en un sistema de planos inundables tropical

### Multivariate approach to dynamics of epiphytic algal assemblage in a tropical system flood plains

Yimmy Montoya-Moreno\*, Néstor Aguirre\*

#### Resumen

**Objetivo:** Identificar la dinámica del ensamblaje algal epifítico a través del pulso de inundación durante tres ciclos hidrológicos en una planicie inundable tropical.

**Materiales y métodos:** En diferentes fases del pulso de inundación entre los años 2006 y 2009 se realizaron nueve muestreos donde se evaluó la variación espacial y temporal de los ensamblajes de algas epifíticas asociadas con raíces de macrófitas en 14 sitios de muestreo, 7 zonas con condiciones lénticas y 7 con condiciones lóxicas del sistema de planos inundables de Ayapel. Se tomaron muestras de raíces que se fijaron en lugol, en las que se observó el ensamblaje algal epifítico, lo que permitió hacer el estudio multivariado de su dinámica.

**Resultados:** La similitud florística entre los ensamblajes ficoperifíticos fue baja y denota especificidad de las especies que habitan cada uno de estos compartimentos del sistema de planos inundables. En ambos sistemas se observó una ubicación mayoritaria de especies alrededor del amonio. Las pocas especies o géneros que se repiten entre ambos ecosistemas se ordenan con respecto a condiciones diferentes, lo que puede estar asociado con el grado de adaptación de los organismos a las condiciones ambientales.

**Conclusión:** El pulso de inundación en su fase de expansión no alcanza a homogeneizar los ensamblajes ficoperifíticos, situación que sucede también en la fase de contracción, razón por la cual cada subsistema responde de una manera particular a las características hidrológicas, respuesta mediada por su resiliencia. Se hipotetiza que al presentarse un tiempo de retención hidráulico bajo en la ciénaga de Ayapel este factor reduce el efecto del pulso de inundación y debido a la morfometría variada del sistema, cortocircuitos hidráulicos y aporte de tributarios con características diferenciales, estas condiciones reflejan situaciones particulares para el ensamblaje, lo que favorece la riqueza alta de especies encontradas. El ficoperifiton mostró cambios en su estructura en relación con el pulso de inundación. 1) Aguas bajas. Aumento del efecto de cada sistema (caños y ciénagas) sobre el ensamblaje debido a la reducción del caudal del río y caños (efecto del pulso fase de desecación). Ello determinó que las estructuras de los ensamblajes epifíticos fueran diferentes de un sistema a otro. 2) Aguas bajas en ascenso. Reducción del efecto de cada sistema sobre el ensamblaje e incremento del efecto del pulso de inundación. 3) Aguas altas. Uniformidad de las condiciones fisicoquímicas en los caños y ciénagas por la entrada de agua desde el río. Similitud de la composición específica del ficoperifiton en los diferentes ambientes. 4) Aguas altas en descenso. Reducción de la uniformidad en las condiciones fisicoquímicas del agua por la disminución del caudal procedente del río. Reducción en la similitud de la composición específica de los ensamblajes de diferentes ambientes.

**Palabras clave:** Epifiton; Perifiton; Ciénaga; Colombia.

#### Abstract

**Objective:** Identify dynamics of periphytic algal assembly through flood pulse during three hydrological cycles on a tropical flood plain.

**Materials and methods:** In different phases of flood pulse between 2006 and 2009, nine samplings were carried out which evaluated the spatial and temporal variation of epiphytic algal assemblage associated with macrophytes roots in 14 sites of sampling, 7 zones with lentic and 7 lotic conditions of the Ayapel flood plain were taken at different stages of the flood pulse between 2006 and 2009. Macrophytes roots were taken in lugol, in which it was observed epiphytic algal assemblage, what allowed the multivariate study of their dynamic.

**Results:** Similarity floristic between the algae assemblages was low and denoted specificity of species that inhabit each of these compartments of the system. A majority location of species around the ammonium was observed in both systems. The few species or genera that are repeated between two ecosystems are ordered with respect to different conditions, which may be associated with the degree of adaptation of organisms to environmental conditions.

\* Grupo Geolimna, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

e-mail: yimmymontoya3@hotmail.com

naguirre@udea.edu.co

Fecha de recibido: Abril 9, 2012

Fecha de aprobación: Julio 13, 2012

**Conclusion:** The flood pulse in expansion phase fails to standardize epiphytic assemblages, situation which happens also in contraction phase, reason by which each subsystem responds in a particular way to the hydrological characteristics, this response is mediated by their resilience. It is hypothesized to occur low hydraulic retention time in Ayapel swamp this factor reduces the effect of flood pulse and because morphometry varied system, hydraulic short circuits and differential characteristics in effluents, these conditions reflect particular situations for the assemblage, which favors the high richness of species founded. Phycoperiphyton showed changes in its structure in relation to the flood pulse. 1) Shallow waters. Increase the effect of each system (streams and swamps) on the assemblage due to the reduction of the flow of the river and streams (flood pulse in desiccation phase). This determined the structures of epiphytes assemblages were different from a system to another. (2) Low water rising. Reduction of the effect of each system on the assembly and increase the effect of flood pulse. (3) High water. Uniformity in the physico-chemical conditions in the streams and swamps by the entry of water from the river. Similarity of the specific composition of the phycoperiphyton in the different environments. (4) High water in descent. Reduction of uniformity in physicochemical conditions of water flow decreased from the river. Reduction in the similarity of the species composition of assemblages from different environments.

**Keywords:** Epifiton; Periphyton; Swamp; Colombia.

### Introducción

Las algas epifíticas hacen parte de los organismos que sostienen la cadena alimenticia, su estudio es prioritario y en los ecosistemas poco profundos, alcanzan mayor importancia en los balances de materia y energía que fluyen a través de este compartimiento (Goldsborough & Robinson, 1996). Estos organismos son indicadores biológicos del nivel trófico del agua, los cuales muestran variación con los cambios en la calidad del agua y la dinámica del sistema (Junk *et al.*, 1989).

En los ambientes de planos inundables existen pocas investigaciones sobre las algas perifíticas (Rivera-Rondón *et al.*, 2010; Álvarez, 2008; Martínez *et al.*, 2008; Montoya-Moreno & Aguirre, 2008; 2009; Montoya-Moreno *et al.*, 2011; Abuhatab & Asprilla, 2006; Báez-Polo y Hernández-Jiménez, 2001; Maturana *et al.*, 2001).

A pesar de la gran abundancia de las áreas de

inundación a escala mundial, Goldsborough & Robinson (1996) consideran que las investigaciones ficológicas se han concentrado en otros sistemas como lagos y ríos, de modo que la información sobre los ensamblajes algales en los ambientes de planos de inundación, en forma general, son bastante fragmentadas, particularmente en las áreas tropicales y subárticas.

Los sistemas de planos inundables están sometidos a variaciones altas del nivel de la columna de agua, como respuesta a las fluctuaciones de las precipitaciones propias del ciclo hidrológico. Este conjunto de cambios debe ser internalizado por los organismos (Montoya-Moreno & Aguirre, en prensa). Los humedales conectados a un río han sido catalogados bajo la denominación de llanuras de inundación y están sujetos a fluctuaciones importantes en los niveles y a cambios pronunciados de sus fases terrestre y acuática (sistemas pulsantes). Estos sistemas mantienen una conexión permanente con el río y poseen una zona litoral móvil que se configura como zona de transición acuático terrestre (ATTZ) (Junk *et al.*, 1989). El mismo autor considera que el tamaño de la ATTZ, su estado trófico y el tipo de pulso, determinan el conjunto de las comunidades de plantas y animales, la producción primaria y secundaria y los ciclos de niveles en el humedal.

Los sistemas de planos inundables en su fase extrema de expansión y contracción y sus fases intermedias (ascenso y descenso), generan variaciones en las condiciones fisicoquímicas y morfométricas (Montoya-Moreno *et al.*, 2011), que afectan la estructura y dinámica de los ensamblajes algales epifíticos, por lo que el objetivo de este trabajo es realizar una aproximación multivariada a la dinámica de las algas epifíticas en el sistema de planos inundables de Ayapel, la cual fue evaluada durante tres ciclos hidrológicos consecutivos.

### 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 (Figura 1). Forma parte del macrosistema de humedales y zonas anegables de la depresión Momposina. La cuenca de la ciénaga tiene un área de 1504 km<sup>2</sup>, 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).

**Muestras.** Se realizaron nueve muestreos entre los años 2006 y 2009, que abarcaron tres ciclos hidrológicos bajo condiciones diferenciales del pulso de inundación -fase de aguas altas, aguas altas en descenso, aguas bajas y aguas bajas en ascenso- en 14 sitios de muestreo, 7 zonas con condiciones lenticas (ciénagas) y 7 con condiciones lólicas (caños) del sistema de planos inundables de Ayapel (Tabla 1). Detalles sobre la información morfométrica, fisicoquímica y ambiental puede consultarse en Montoya-Moreno *et al.* (2011).

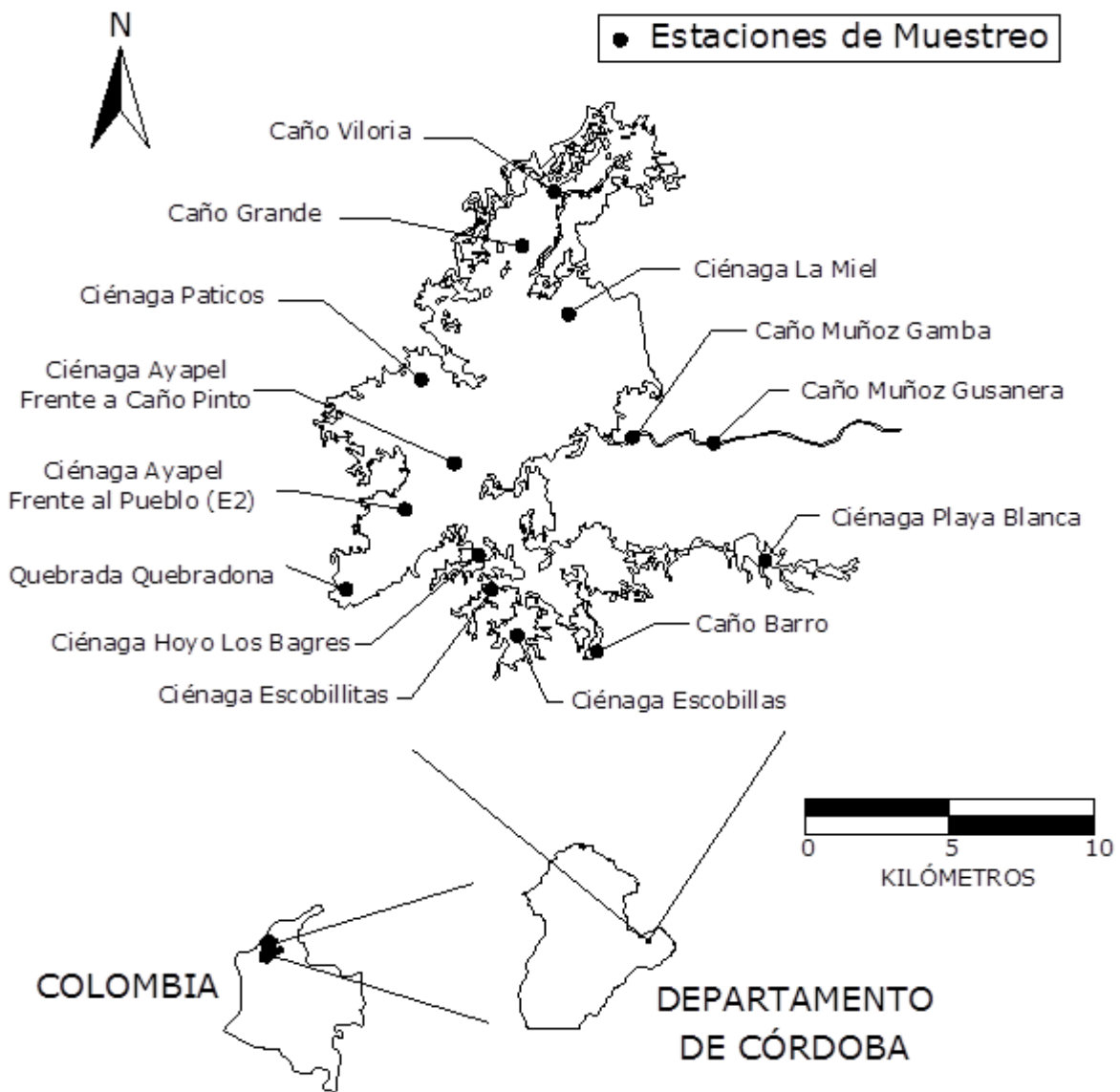


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo.

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 tres muestras de raíces por cada especie de planta acuática dominante. En el sitio de recolección de las raíces se midió la transparencia y 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. Se tomaron muestras de 3 litros de agua para la determinación en el laboratorio de la concentración de nutrientes, como nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo soluble reactivo (FSR), alcalinidad, sulfatos, los sólidos totales disueltos (STD) y los sólidos suspendidos totales (SST), evaluados según APHA (2005).

Las muestras se depositaron en frascos de plástico de 100 ml, a los que se adicionó agua de la ciénaga previamente filtrada y después se fijaron con solución de lugol, hasta obtener una concentración final del 4%. Las raíces recolectadas se llevaron al laboratorio para la determinación de las especies del ficoperifiton con base en literatura especializada (Montoya-Moreno *et al.*, 2011).

El conteo se realizó a partir del uso de cámaras de Segdwick-Rafter de 1 ml de capacidad, se empleó

un microscopio olimpus DHK con el objetivo de 40X en 50 campos aleatorios, los cuales se determinaron al tener en cuenta curvas de saturación de especies. Para calcular la densidad del fitoperifiton se utilizó la fórmula de Ross (1979).

La composición, abundancia y diversidad de la comunidad se evaluó mediante curvas de importancia y se usaron los índices comunitarios. Para evaluar la relación de las algas perifíticas con las variables ambientales se utilizó la correlación por rangos de Spearman ( $r_s$ ). Para evaluar el efecto de las variables físicas y químicas sobre la composición, abundancia y diversidad del ensamblaje, se realizó un análisis de correlación múltiple y un análisis de componentes principales. Además, se efectuó un análisis de regresión lineal simple para evaluar el efecto de las diferentes variables físicas, químicas y ambientales sobre los grupos algales componentes del ensamblaje. Se empleó un análisis de correspondencia canónica (ACC) para identificar las tendencias de variación entre ciénagas y caños, mediante el programa Canoco versión 4.5.

### Resultados

Se presentan tres tendencias, las variables que exhiben coeficientes de variación altos, tales como la transparencia, los nutrientes ( $N-NO_3^-$ ,

**Tabla 1. Fechas de muestreo y condición hidrológica**

Muestreo	Característica hidrológica
Mayo/2006	Aguas en ascenso
Julio/2006	Aguas en ascenso
Septiembre/2006	Aguas altas
Diciembre/2006	Aguas altas en descenso
Marzo/2007	Aguas bajas
Agosto/2007	Aguas en ascenso
Enero/2008	Aguas altas en descenso
Septiembre/2008	Aguas altas
Enero/2009	Aguas altas en descenso

N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, FSR), sulfatos y los STD y SST (Tabla 2). Esta característica se podría atribuir al efecto del pulso de inundación. Por otro lado, la temperatura del aire y del agua, presentan coeficientes de variación menores al 10%, lo que indica una estabilidad alta de estas variables durante los 3 años de investigación. Finalmente, la conductividad eléctrica, el nivel de la ciénaga, la concentración de oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación y la alcalinidad se encuentran en un nivel medio de variación.

El análisis de correlación mostró pocas relaciones entre las variables descriptoras del ensamblaje y las condiciones fisicoquímicas del agua, por lo que se optó por un estudio multivariado. Entre las variables indicadoras del estado del ensamblaje que exhibieron relaciones significativas se resalta el número total de algas epifíticas, el cual presentó el mayor número de relaciones significativas con otras variables (nitritos, nitrógeno amoniacal, alcalinidad, abundancia de diatomeas y clorofíceas).

El análisis de regresión permitió identificar que las diatomeas se relacionaron positivamente con la conductividad eléctrica, la concentración de nitratos y el número total de individuos en la matriz epifítica y negativamente con la precipitación, la profundidad, la diversidad, la equitatividad, la riqueza de especies, la transparencia y la abundancia de las clorofíceas. En el caso de las clorofíceas, estas se relacionaron con una mayor cantidad de variables, positivamente con la precipitación, la profundidad, el total de individuos epifíticos, la transparencia, la diversidad y la riqueza de especies, y negativamente con la conductividad eléctrica, concentración de nitritos, de nitrógeno amoniacal y la dominancia.

Con respecto a las cianoprocariontas, estas se relacionaron positivamente con la concentración de nitrógeno amoniacal, el fósforo, dominancia, equitatividad, pH y profundidad, y negativamente, con la precipitación, diversidad, la concentración de nitritos, la transparencia y la abun-

**Tabla 2. Medidas de tendencia central y de dispersión de la información fisicoquímica**

Variable	n	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Transparencia (m)	114	0,60	0,37	61,05	0,05	1,7	1,65
Profundidad (m)	113	3,27	1,40	42,69	0,25	6,7	6,45
Temperatura del aire (°C)	110	30,84	1,46	4,75	28,2	35,6	7,4
Temperatura del agua (°C)	114	30,66	2,69	8,78	23,9	39,1	15,2
Oxígeno disuelto (mg. l <sup>-1</sup> )	112	4,92	2,04	41,45	0,4	10,6	10,2
Saturac. de oxígeno (mg.l <sup>-1</sup> )	71	65,82	29,78	45,25	4,73	143	138,27
pH (unidades de pH)	109	6,65	0,78	11,68	0,29	8	7,71
Cond. eléctrica (µS.cm <sup>-1</sup> )	110	67,63	49,63	73,38	12,1	261	248,9
Nitratos (mg. l <sup>-1</sup> )	80	1,19	1,27	106,70	0	5	5
Nitritos (mg. l <sup>-1</sup> )	72	0,19	0,41	218,34	0	2,1	2,1
Nitróg. amoniacal (mg.l <sup>-1</sup> )	81	0,08	0,08	97,65	0	0,42	0,42
FSR (mg. l <sup>-1</sup> )	88	0,56	0,57	101,82	0,03	2,8	2,77
Sulfatos (mg. l <sup>-1</sup> )	70	3,37	5,62	166,50	0,03	38	37,97
SST (mg. l <sup>-1</sup> )	46	21,81	19,69	90,29	1	76	75
SDT (mg. l <sup>-1</sup> )	48	120,99	120,47	99,57	23	543	520
Alcalinidad (mg. l <sup>-1</sup> )	23	46,99	29,79	63,40	0	100	100

dancia de clorofíceas. Las crisofíceas presentaron regresión positiva con la abundancia de las diatomeas y negativa con la conductividad eléctrica, fósforo, profundidad, riqueza y la diversidad. Las dinofíceas presentaron regresión positiva con la concentración de sulfatos en el agua y negativa con la diversidad y el total de individuos. Finalmente, la euglenofíceas exhibieron regresión lineal positiva con la concentración de sulfatos y negativa con la diversidad.

En el análisis de componentes principales (Figura

2), el primer eje canónico explicó el 29% de la varianza y resultó positivamente correlacionado con la diversidad de diatomeas y la concentración de nitrógeno amoniacal y negativamente con los índices de diversidad, equitatividad y la abundancia de clorofíceas. El segundo eje, que explicó el 18,9% de la varianza, estuvo relacionado positivamente con la profundidad y la precipitación y negativamente con la concentración de nitritos, lo que indica que estas variables determinan el principal gradiente al que respondió la distribución de las especies (Tabla 3).

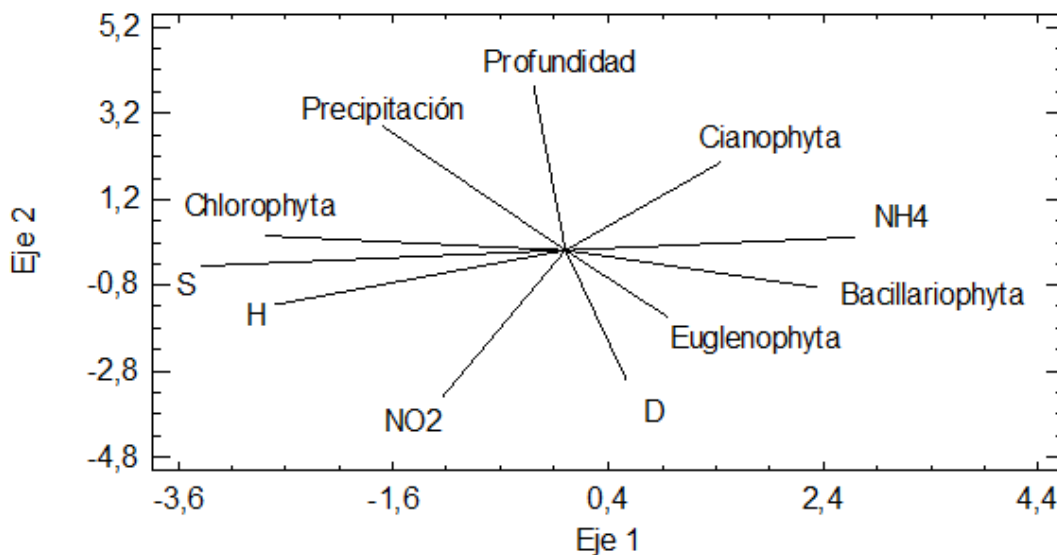


Figura 2. Organización de las variables ambientales y los grupos ficoperifíticos predominantes.

Tabla 3. Correlaciones de las variables con los ejes

Variables	Eje 1	Eje 2
Profundidad	-0,04	0,53
NO <sub>2</sub>	-0,17	-0,47
NH <sub>4</sub>	0,39	0,04
Precipitación	-0,25	0,40
S (riqueza de especies)	-0,49	-0,05
D (dominancia)	0,08	-0,41
H (diversidad)	-0,40	-0,17
Bacillariophyta	0,34	-0,12
Cianophyta	0,21	0,28
Chlorophyta	-0,41	0,05
Euglenophyta	0,14	-0,21

La ubicación de los grupos algales en el plano de ordenación permite diferenciar algunas tendencias, porque las diatomeas se ubicaron cerca de las concentraciones de nutrientes (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); las clorofíceas se localizaron en sentido opuesto a éstas y con mayor afinidad hacia la pluviosidad y la riqueza de especies; las cianoprocariontas presentaron afinidad con la profundidad de la columna de agua y con la concentración de nitrógeno en forma amoniacal. Finalmente, las euglenofíceas se ubican hacia el centro de la figura, en la cual registra relación con la dominancia.

Con el fin de depurar la información se realizó un ACC individual para las ciénagas y los caños res-



pecto a las especies epifíticas, con el fin de afinar las aproximaciones anteriores, aunque las diatomeas son los organismos predominantes en el epifiton sin importar el tipo de ambiente que se haya evaluado (Figura 3). Tanto en los caños como en las ciénagas se observó una ubicación mayoritaria de especies alrededor del amonio, las cuales difieren entre ambos tipos de ecosistemas (Figura 4). Las pocas especies o géneros que se repiten entre ambos ecosistemas, se ordenan respecto a condiciones diferentes, lo que puede estar asociado con el grado de adaptación de los organismos a las condiciones ambientales.

En ambos sistemas (caños y ciénagas) los nitritos son una variable importante, aunque son pocas las especies sensibles a su variación. En las ciénagas la concentración de oxígeno, la precipitación y la profundidad son las variables físicas y químicas que influyen sobre todo en su dinámica y en el caso de los caños, la concentración de fósforo, la profundidad, la precipitación y la conductividad.

Al considerar las ciénagas y caños (Figura 5) la similitud florística entre los ensamblajes fico-

perifíticos fue baja (30%), se evidencia la separación de las ciénagas de los caños al formar dos grupos con similitudes del 31,7% y 32,3%, respectivamente. Estos valores son bajos y denotan especificidad de las especies que habitan cada uno de estos compartimentos del sistema de planos inundables. En cada compartimento se encontró una baja similitud, porque en el caso de las ciénagas, se encontró entre ellas 47,6% de similitud en aguas altas en descenso y aguas altas en ascenso en el año 2006. Con respecto a los caños, se alcanzó un máximo de 38,7% en aguas bajas y altas en el año 2007.

En el caso de las ciénagas, *Amphora* sp, *Euastrum* cf. *ansatum* se asociaron con el aumento de la pluviosidad; *Crucigenia* sp y *Hannea arcus* con el aumento de la profundidad; *Naviculadicta nanogomphonema* y *Clorella* sp con el aumento de las concentraciones de oxígeno y de nitritos y finalmente, *Ankistrodesmus falcatus*, *Rivularia* sp, *Coelanastrum* sp, *Sphaerocistis* sp, *Trachelomonas* cf. *crebea*, *Oedogonium* sp, *Lymbia* cf. *limnetica* y *Trichodesmium* sp con el incremento de la concentración de nitrógeno en forma amoniacal.

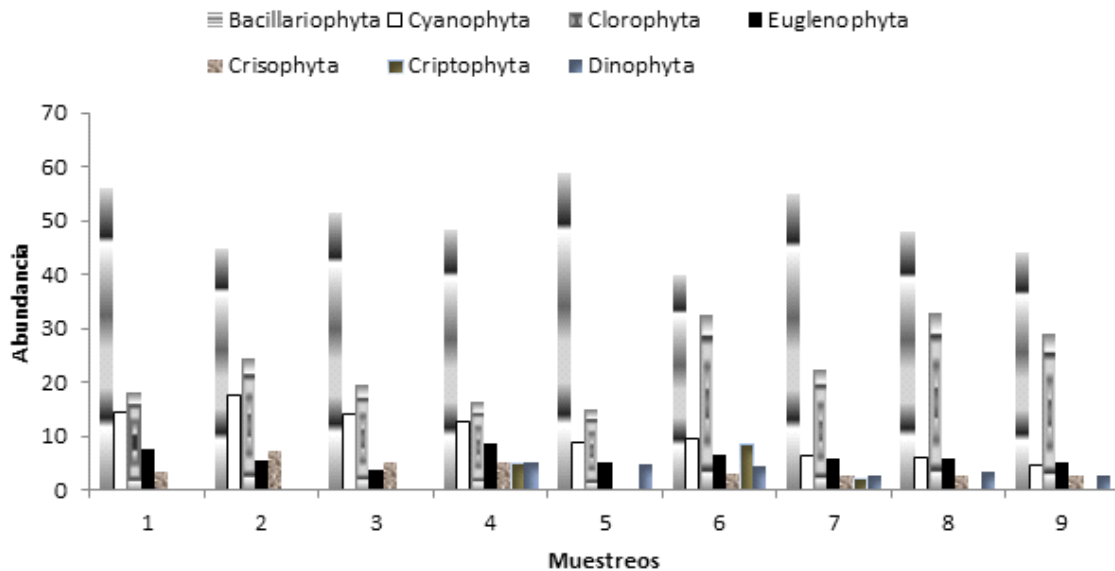


Figura 3. Variación de los órdenes de algas que conforman el ficoperifiton a lo largo del pulso de inundación.

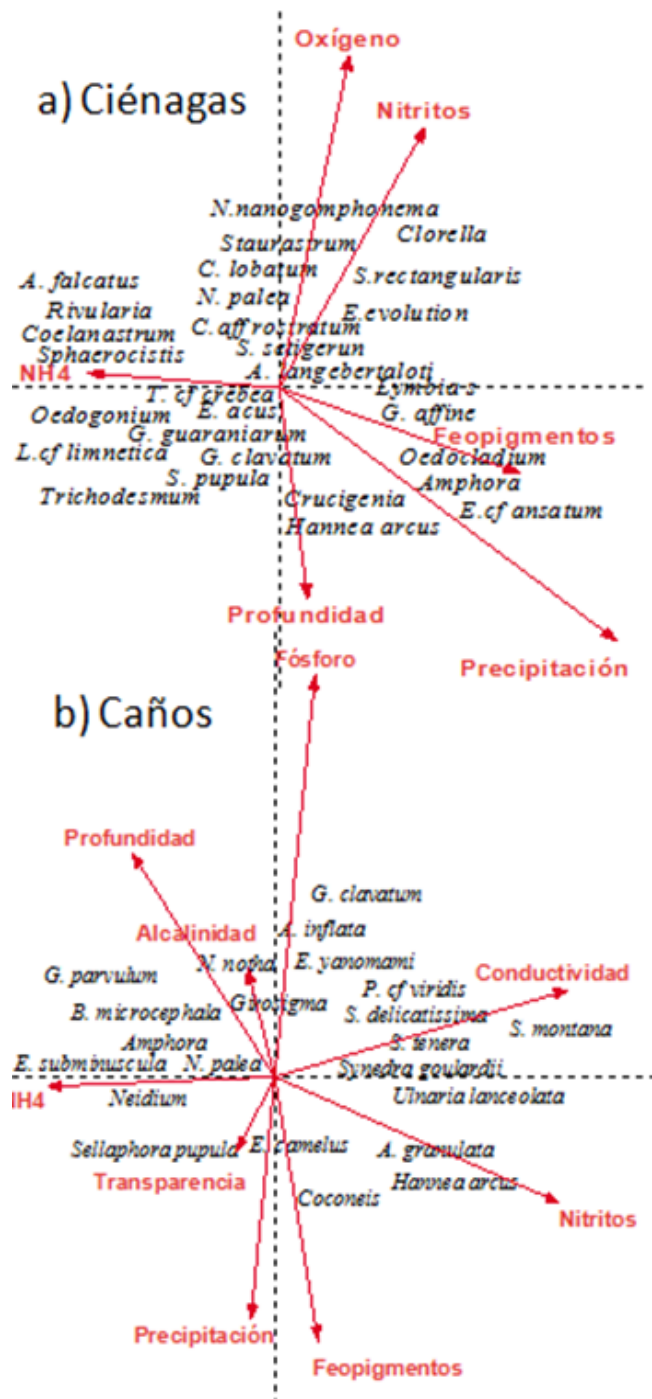


Figura 4. Organización de las variables ambientales y los grupos ficoperifíticos predominantes en las ciénagas (a) y los caños (b).

Con respecto a los caños, *Achanthes inflata* y *Gomphonema clavatum* se asociaron con el incremento del fósforo; *Synedra montana* se relacionó con el incremento de la conductividad eléctrica; *Aulacoseira*

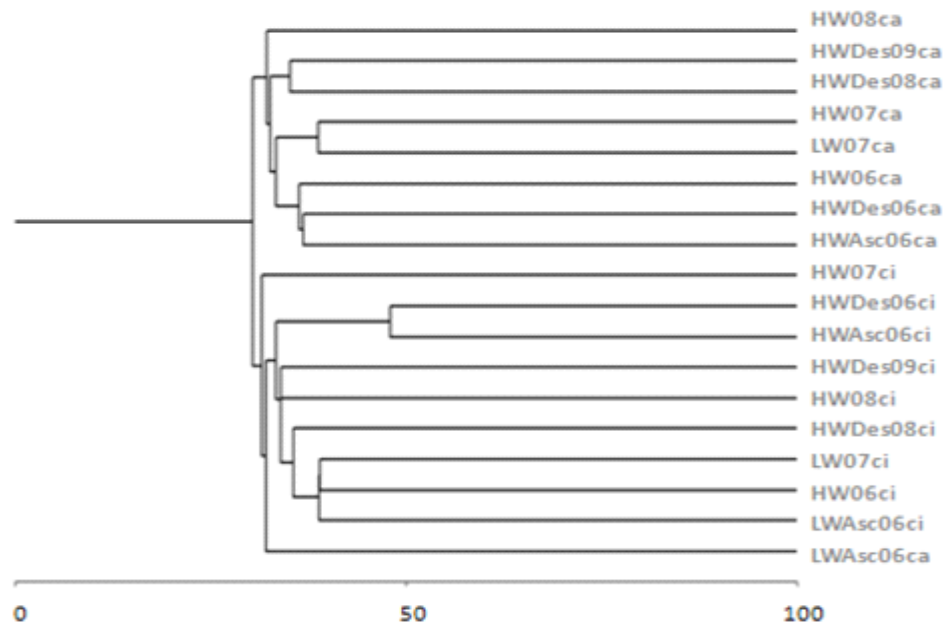
*granulata* y *Hannea arcus* se relacionaron con el aumento de los nitritos y *Gomphonema parvulum*, *Brachysira microcephala*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia palea* y *Neidium aff. affine* con el incremento de la concentración de nitrógeno en forma amoniacal.

### Discusión

En la época de estiaje, las concentraciones de nutrientes son mayores debido a los efectos de la resuspensión y de la mineralización de la materia orgánica, lo que favorece el desarrollo de las diatomeas, la disminución de la densidad algal perifítica y la reducción de la competencia intraespecífica y un aumento de la competencia interespecífica. En este sentido, sobre el primer aspecto, las diatomeas en el ACP y en el ACC se ubican cerca de la concentración de nutrientes. Rivera-Rondón y Díaz-Quiróz (2004) encontraron que dentro de las variables químicas, el fósforo reactivo soluble influyó sobre la composición de especies de diatomeas cuando registró concentraciones altas.

En aguas bajas varios sectores del sistema se aíslan por barras de sedimento, que segregan el sistema en varios compartimentos, los cuales desarrollan estructuras del ensamblaje diferentes, las cuales, en aguas altas permiten la integración de especies y la sostenibilidad de una microdiversidad alta. Thomaz *et al.* (2007) consideran que en aguas bajas las comunidades biológicas de cada hábitat de los planos de inundación (lagunas, aguas detenidas, ríos) desarrollan distintas trayectorias temporales debido a los efectos de las fuerzas locales (por ejemplo un depredador eficiente que atrapa en lagunas pero no en otros ambientes). Estos sistemas fragmentados son susceptibles al trabajo del viento, el cual estimula la mezcla





**Figura 5.** Dendrograma de afinidad entre las especies ficoperifíticas en las ciénagas y los caños a través del pulso de inundación.

HW: aguas altas, LW: aguas bajas, Des: descenso, Asc: ascenso, 06: año 2006, 07: año 2007, 08: año 2008, 09: año 2009, ci: ciénaga, ca: caño.

nocturna, lo que genera un aumento en la dinámica del cuerpo de agua.

La ubicación de las clorofíceas en un extremo opuesto del ACP a las diatomeas podría confirmar la sospecha de que ambos grupos algales son indicadores de condiciones contrastantes en la ciénaga de Ayapel, aunque su abundancia se encuentra ligada entre sí. Teniendo en cuenta que las demidiáceas son el grupo predominante en las clorofíceas, se puede considerar la investigación de Rodrigues y Bicudo (2001) en la que relacionaron una gran riqueza de desmidiáceas perifíticas con la presencia de estanques de macrófitas, los cuales alcanzan su mayor densidad en el sistema de Ayapel en la fase de aguas altas, cuando el aumento en las precipitaciones induce la movilidad de los bancos de macrófitas. Según estos autores muchas clorofíceas planctónicas poseen un desarrollo derivado del hábitat perifítico, por lo que en aguas bajas se favorecería la salida de estas algas hacia el

plancton debido al incremento en la energía turbulenta del sistema. En este sentido, las diatomeas también se ven beneficiadas por los bancos de macrófitas, debido a que poseen diversas formas de fijación al sustrato (Round, 1990).

La abundancia de las diatomeas se relaciona de una manera altamente competitiva con la abundancia de las clorofíceas y con la dinámica diferencial de cada ambiente. La disminución de la relación Si/P puede favorecer el reemplazo de las diatomeas por clorofitas y esto puede llevar a un cambio en la relación N/P (Margalef, 1983). Tilman *et al.* (1996) demostraron que las diatomeas dominan si la razón N:P y la temperatura son bajas, las algas verdes en la medida en que la temperatura y la razón N:P presentan valores intermedios y las cianobacterias cuando hay temperaturas altas y bajas razones N:P. En el caso del sistema de Ayapel las temperaturas son altas durante todo el año, no obstante las diatomeas

presentan abundancias mayores al 50% y en el período de aguas bajas (mayores temperaturas), las cianofíceas alcanzan a incrementar sus abundancias, sin llegar a ser dominantes en el perifiton.

Las cianoprocariontes de acuerdo con la ordenación canónica presentaron relación con la temperatura del agua, la profundidad de la columna de agua y la concentración de nitrógeno en forma amoniacal. No obstante, esta tendencia presenta mayor importancia a nivel local, en donde zonas como la ciénaga de Ayapel sector La Miel en aguas bajas, presenta blooms de cianoprocariontes planctónicas (*Cylindrospermopsis raciborskii*), las cuales se encuentran dentro de la matriz perifítica. La prueba de regresión lineal no mostró relación significativa entre estas variables y la abundancia de las cianoprocariontes.

Las euglenofíceas se ubicaron en el ACP cerca del pH. Se ha considerado que se presentan en aguas ricas en partículas y compuestos orgánicos (Rodrigues *et al.*, 2008), lo que permite explicar esta relación. Las euglenofíceas presentaron relación positiva con la concentración de oxígeno disuelto y negativa con el número total de organismos en el ensamblaje epifítico. Peres y Senna (2000) observaron que la aparición de la clase euglenofícea estuvo relacionada con el periodo seco en sistemas inundables brasileños.

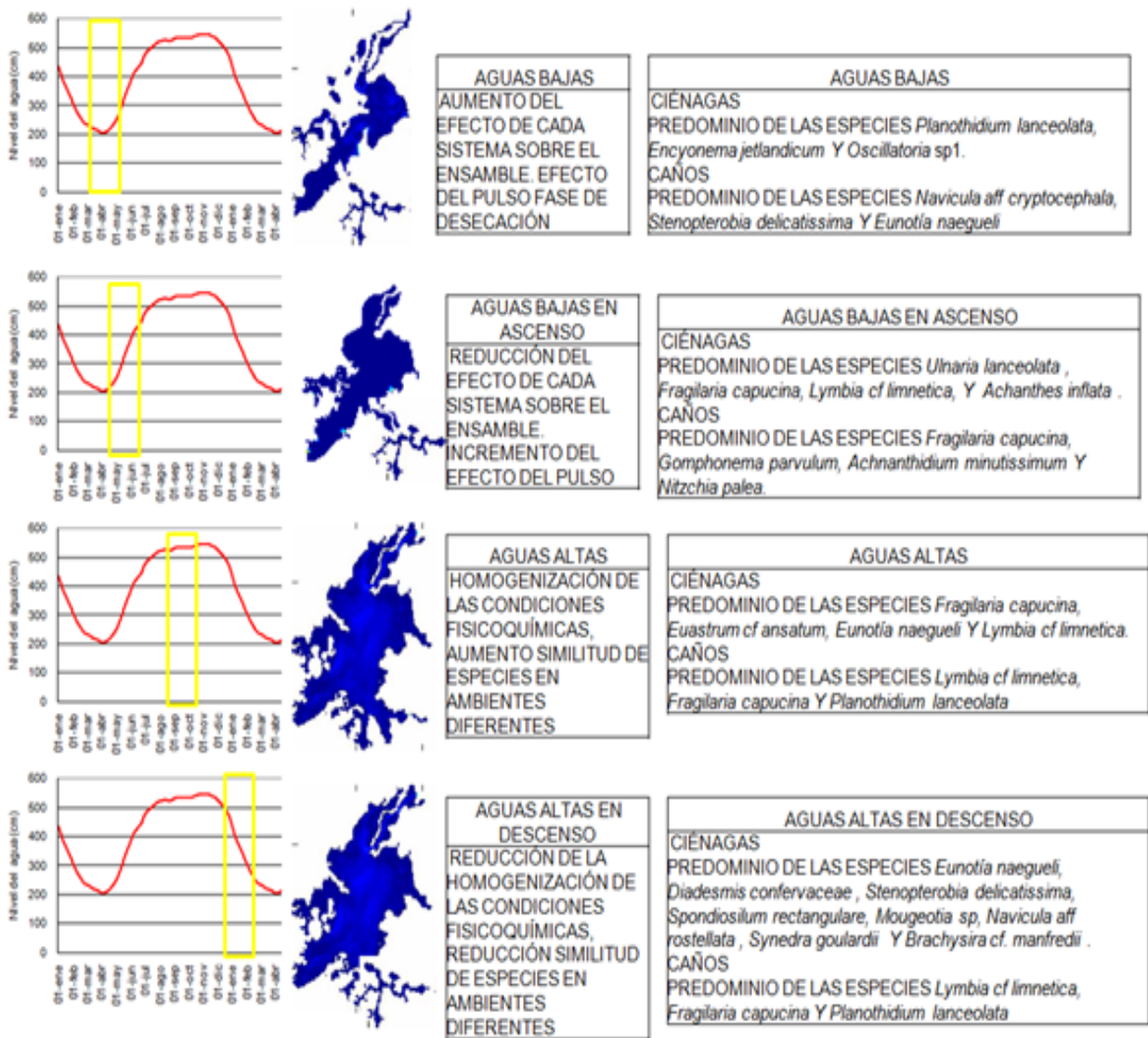
Otro aspecto a tener en cuenta, es la heterogeneidad de hábitats que se generan en la zona litoral, los cuales van a ser decisivos para la diversidad biológica. Como han enfatizado Goldsborough & Robinson (1996) en ambientes rasos, como en las áreas inundables en general, es difícil de establecer límites de hábitat para las poblaciones algales una vez que se presenta una gran interacción entre los compartimentos del ecosistema. En este tipo de ecotono, la interacción epifiton/plancton merece mayor atención,

una vez que puede dar luces sobre los patrones de fluctuación de la estructura del funcionamiento de las comunidades de algas y consecuentemente, sobre el metabolismo y flujos de energía en esos ecosistemas acuáticos (Rodrigues *et al.*, 2003).

El tiempo de retención hidráulico bajo del sistema de planos inundables de Ayapel ejerce una limitación a la fijación sobre los sustratos para el perifiton, por lo que las diatomeas son favorecidas al presentar estructuras especializadas para la fijación. Además que, son rápidas y eficientes colonizadoras, capaces de ocupar sustratos en el rango de un día a varias semanas (Hoagland *et al.*, 1986). Otro aspecto a tener en cuenta es la fisicoquímica del agua, ya que la dominancia de las diatomeas tanto en el perifiton como en el fitoplancton, esta relacionada con la baja concentración de nutrientes y el pH ácido (Rivera-Rondón *et al.*, 2010).

El valor bajo de similaridad para cada subsistema (ciénagas y caños) al igual que entre ellos indicaría que el pulso en su fase de expansión no alcanza a homogenizar los ensamblajes ficoperifíticos, situación que sucede también en la fase de contracción, razón por la cual cada subsistema responde de una manera particular a través del pulso, respuesta mediada por sus características propias principalmente. Se podría hipotetizar que al presentarse un tiempo de retención hidráulico bajo en la ciénaga de Ayapel este factor reduce el efecto del pulso de inundación. Aunque debido a la morfometría variada del sistema, corto circuitos hidráulicos y aporte de tributarios con condiciones diferenciales, estas condiciones reflejan unas condiciones particulares para el ensamblaje, lo que favorece la riqueza alta de especies encontradas.

El ficoperifiton mostró cambios en su estructura en relación con el pulso de inundación. De esta forma, se pudieron discriminar cuatro ensambles



**Figura 6.** Análisis general de las especies ficoperifíticas en las ciénagas y los caños a través de las fases del pulso de inundación.

característicos de cuatro momentos hidrológicos ocurridos en el sistema (Figura 6).

**1) Aguas bajas.** Aumento del efecto de cada sistema (caños y ciénagas) sobre el ensamble debido a la reducción del caudal del río y caños (efecto del pulso fase de desecación). Dinámica particular de las diferentes variables físico-químicas en los caños y ciénagas debido al aislamiento (o desconexión) con el río (fase de desecación). Ello determinó que las estructuras de los ensambles epífitos fueran fuertemente diferen-

tes de un cuerpo de agua a otro. Predominan en las ciénagas las especies, *Planothidium lanceolatum*, *Encyonema jetlandicum* y *Oscillatoria* sp.1 y, en los caños, *Navicula* aff. *cryptocephala*, *Stenopterobia delicatissima* y *Eunotia naegueli*.

**2) Aguas bajas en ascenso.** Reducción del efecto de cada sistema sobre el ensamble e incremento del efecto del pulso de inundación. En las ciénagas predominaron las especies *Ulnaria lanceolata*, *Fragilaria capucina* y *Lyngbya* cf.

*limnetica*. En los caños fueron abundantes *Fragilaria capucina*, *Achnanthes inflata*, *Achnantheidium minutissimum*, *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia palea*.

**3) Aguas altas.** Uniformidad de las condiciones fisicoquímicas en los caños y ciénagas por la entrada de agua desde el río. Similitud de la composición específica del ficoperifiton en los diferentes ambientes. Predominan en las ciénagas *Fragilaria capucina*, *Eunotia naegueli*, *Euastrum* cf. *ansatum*, y *Lyngbya* cf. *limnetica* y, en los caños, *Fragilaria capucina*, *Planothidium lanceolatum* y *Lyngbya* cf. *limnetica*.

**4) Aguas altas en descenso.** Reducción de la uniformidad en las condiciones fisicoquímicas del agua por la disminución del caudal procedente del río. Reducción en la similitud de la composición específica de los ensambles de diferentes ambientes. Predominaron en las ciénagas, las especies *Synedra goulardii*, *Eunotia naegueli*, *Diadsmis confervaceae*, *Brachysira* cf. *manfredii* *Navicula* aff. *rostellata* *Stenopterobia delicatissima*, *Spondylosium rectangulare* y *Mougeotia* sp. En los caños, fueron abundantes *Lyngbya* cf. *limnetica*, *Fragilaria capucina* y *Planothidium lanceolatum*.

#### Literatura citada

- Abuhatab AY, Asprilla S. 2006. *Distribución y abundancia de la comunidad fitoperifítica y su relación con las variables físicas y químicas en diferentes cuerpos de agua en los cerros Las Mojarras, Istmina-Chocó*. VII Seminario Colombiano de Limnología, Ibagué. 56 pp.
- APHA, AWWA, WPCF. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). 1325 pp.
- Álvarez JP. 2008. *Caracterización limnológica de los complejos cenagosos de Arcial-Poor-Cintura (Río San Jorge) y de Bañó-Charco Pescao-Pantano Bonito (Río Sinú) Córdoba, Colombia*. VIII Seminario Colombiano de Limnología, Cali. 30 pp.
- Báez-Polo A, Hernández-Jiménez C. 2001. *Composición de especies y variación temporal de las comunidades de perifiton de substratos artificiales en la ciénaga de Pajara, Caribe colombiano*. Resumen extendido en el IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. San Andrés Isla. 6 pp.
- Goldsborough LG, Robinson G.G. 1996. Pattern in wetlands. In: *Algal ecology, freshwater benthic ecosystems*. Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL, eds. San Diego: Academic Press. p.78-117.
- Hoagland KD, Zlotzky A, Peterson CG. 1986. The source of algal colonizer on rock substrates in a freshwater impoundment. In: *Algal biofouling*. Evans LV, Hoagland KD, eds. 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 pp.
- Junk WJ, Bayley PB, Sparks RE. 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. *Can Spec Publ Fish. Aquat Sci.* 106: 110-27.
- Margalef R. 1983. *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega, SA. 951 pp.
- Martínez LF, Ayaríth Y, Moreno Y. 2008. *Composición y distribución de la comunidad fitoperifítica en diferentes ecosistemas lóticos de la cuenca del San Juan, Chocó-Colombia*. VIII Seminario Colombiano de Limnología, Cali. 30p.
- Maturana MM, Cuesta OJ, Asprilla S. 2001. *Variación de la estructura numérica de las comunidades fitoperifíticas asociadas a Nymhoideae sp en la ciénaga de Plaza Seca, corregimiento de Sanceno, Quibdó-Chocó, Colombia*. Trabajo de grado de biología. Universidad Tecnológica del Chocó. 46 p.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical colombiana. *Hidrobiologica.* 18 (3): 189-98.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2009. Dinámica del perifiton asociado con macrofitas en la ciénaga de Escobillitas y su relación con el pulso de inundación. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó* 28 (2): 196-202.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N, González EM. 2011. *El perifiton del sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba-Colombia*. Medellín: Editorial Universidad de Medellín. 76 Pp.
- Peres AC, Senna PAC. 2000. Estudo quantitativo e estatístico do fitoplâncton da lagoa do Diogo em um ciclo hidrológico (1995-1996). In: *Estação Ecológica de Jataí*. Santos JE, Pires JSR, eds. São

- Carlos: RiMa. 483-95.
- Rivera-Rondón CA, Díaz Q. 2004. Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum*. 9: 75-86.
- Rivera-Rondón CA, Zapata AM, Pérez D, Morales Y, Ovalle H, Álvarez JP. 2010. Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquía, Colombia). *Acta Biol Colomb*. 15 (1): 1-16.
- Rodrigues L, Bicudo DC. 2001. Similarity among periphyton algal communities in lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev Brasil Bot*. 24 (3): 235-48.
- Rodrigues L, Bicudo DC, Moschini-Carlos V. 2003. O papel do perifiton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. In: *Ecología e manejo de macrófitas aquáticas*. Thomaz SM, Bini LM, eds. Maringá: Eduem. p. 211-29.
- Rodrigues L, Zanon JE, Carapurnala L, Biolo S. 2008. *Perifiton en a Planície Alagável do Rio Paraná: estrutura e processo ambiental*. Capítulo 4. Disponible en <http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo04.pdf>. Fecha de consulta: 17 de julio de 2010.
- Roldán PG, Ramírez JJ. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2ª ed. Medellín: Universidad de Antioquia. 440 pp.
- Round, FE, Crawford RM, Mann DG. 1990. *The diatoms, biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press. 747 pp.
- Ross J. 1979. *Prácticas de ecología*. Barcelona: Omega. 250 pp.
- Thomaz SM, Bini LM, Bozelli RL. 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia*. 579 (1): 1-13.
- Tilman D, Wedin D, Knops J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*. 379: 718 20.