

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

SPATIAL-TEMPORAL VARIATION OF THE COMMUNITY STRUCTURE OF PERIPHYTIC ALGAE AT THE MICRO-BASIN LA VEGA, MUNICIPIO DE SAN ROQUE (ANTIOQUIA), COLOMBIA

Esnedy Hernández-Atilano^{1,2}, Néstor J. Aguirre^{1,3}, Jaime A. Palacio^{1,4}

Resumen

Entre agosto de 2001 y septiembre de 2002 se estudió la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la quebrada La Vega en tres estaciones y cuatro muestreos. Los 31 géneros algales registrados pertenecen a cuatro divisiones, de las cuales la división Bacillariophyta registró tanto el mayor número de géneros como de individuos. La mayoría de los géneros no presentaron variaciones importantes en la abundancia relativa. Los resultados del análisis de agrupamiento, del índice de diversidad y sus componentes mostraron alta similaridad espacial y temporal en la estructura de la comunidad de algas. A pesar de que la mayoría de las variables ambientales no registraron diferencias significativas entre estaciones y períodos de muestreo, se encontró que la combinación de alta intensidad lumínica y la disponibilidad de sustratos duros y nutrientes podrían estar influenciando la densidad algal en la estación tres.

Palabras clave: algas perifíticas, caudal, corriente, estructura, sustrato.

Abstract

From August 2001 to September 2002 three sampling points and four field campaigns were accomplished in order to study the community structure of the periphytic algae at the stream "La Vega". The 31 algae genera found in La Vega belong to four divisions, from which the Bacillariophyta showed the largest number of individuals and genera. Most of these genera did not show important variations of relative abundance. The results from the cluster analysis, diversity index and its components exhibited a high spatial and temporal similarity of the algae community structure. In spite of the fact that most of the environmental variables did not show a significant difference between sampling points and sampling periods, it found that the combination of high light intensity and the availability of hard substrates and nutrients might be influencing the algae density at sampling point number three.

Key words: community structure, current, periphytic algae, stream, substrate,

INTRODUCCIÓN

Debido a su posición en la interfase agua-sustrato, el perifiton desempeña un papel fundamental en algunos ciclos biogeoquímicos y en la dinámica de los ecosistemas lóticos (Hansson, 1990; Masseret et al., 1998). Adicionalmente, la composición y abundancia del perifiton reflejan las condiciones ambientales del

pasado reciente y en consecuencia, pueden ser usadas como indicadores de la calidad del agua (Cox, 1991; Masseret et al., 1998; Ter Braak y Verdonschot, 1995). La velocidad de la corriente es uno de los factores más importantes para la adhesión algal al sustrato, para la productividad y para la estructura

Recibido: febrero de 2005; aceptado: junio de 2005.

¹ Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería, Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA). Universidad de Antioquia, A. A. 1226. Medellín (Antioquia), Colombia.

² Correo electrónico: <esheat@jaibana.udea.edu.co>.

³ Correo electrónico: <naguirre@jaibana.udea.edu.co>.

⁴ Correo electrónico: <japalaci@jaibana.udea.edu.co>.

de la comunidad (Horner y Welch, 1981; Traaen y Lindstrom, 1983). No obstante, las relaciones causales entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad, no son suficientes para identificar la complejidad del sistema, la cual puede ser afectada por tensores ambientales a gran escala (Griffith et al., 2002; Karr y Chu, 1999).

Entre algunos estudios relacionados con el perifiton en ambientes tropicales figuran los de Pizarro (1999), Potapova y Donald (2002), Scott y Scott (2000) y Viviane et al. (2000). La influencia de la luz, las características del sustrato y los nutrientes, entre otros, han sido utilizados para el acercamiento a la dinámica de las corrientes tropicales, las cuales pueden estar influenciadas por otros factores adicionales a los que rigen las corrientes ubicadas zonas templadas (Scott y Scott, 2000).

El potencial productivo del perifiton en tres embalses colombianos mediante el uso de sustratos artificiales fue evaluado por Moreno (1989) y en estos ambientes Sierra y Ramírez (1999) estudiaron la variación espacio-temporal del perifiton en el embalse la Fe; la variación de la estructura de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en el río Medellín fue investigada por Montoya (1998) y más recientemente, Díaz y Rivera (2004), y Salas et al. (2002) trabajaron sobre diatomeas de ríos andinos y regiones amazónicas.

Este estudio buscó establecer las variaciones espaciales y temporales de la estructura de la comunidad ficoperifítica en tres puntos de muestreo en el cauce de las quebradas Piedras, Guaico y La Vega en relación con el comportamiento de las variables hidráulicas, físicas y químicas del sistema. Para ello se planteó como pregunta e hipótesis los siguientes enunciados, ¿Existen diferencias espacio-temporales en la estructura algal perifítica en tres estaciones de la microcuenca La Vega?, si la dinámica de algunos parámetros hidráulicos y fisicoquímicos como el caudal, la velocidad de la corriente, la turbulencia, la intensidad lumínica, pH, oxígeno disuelto y nutrientes bajo las formas NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y PO_4^{3-} presenta variaciones espaciales y temporales significativas, estos cambios podrían reflejarse en algunos atributos de la estructura espacial y temporal de la

comunidad de algas perifíticas como la composición, la densidad y los índices de diversidad en tres sitios y cuatro momentos de muestreo en la microcuenca de la quebrada La Vega.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área. La quebrada La Vega es un afluente del río Nus, que a su vez tributa las aguas al río Magdalena (figura 1). La cuenca del río Nus tiene un área de 800 km² y está ubicada al oriente del corregimiento de San José del Nus en el departamento de Antioquia, Colombia, entre las coordenadas geográficas 6° 27' -6° 29' 30" N y 74° 49' 30" -74° 52' O.

Este sistema es una unidad hidrológica de pequeña escala con un rango altitudinal entre los 790 y 1.250 msnm y un área vertiente de 6,7 km². Los tributarios principales son las quebradas Piedras y Guaico que nacen a 1.000 y 1.250 msnm, respectivamente.

Si bien en la cuenca dominan cuantitativamente las áreas dedicadas a ganadería extensiva, hay fragmentos boscosos en diversos grados de sucesión. En la subcuenca de la quebrada Piedras se observa un estado de transición hacia rastrojo alto y un bosque maduro cerca de las corrientes, debido al abandono de la actividad ganadera desde hace más de una década. En el sector superior de la quebrada Guaico se presentan porciones de bosque poco intervenido.

Entre agosto de 2001 y abril de 2002 se efectuaron dos muestreos en la época de lluvia (noviembre de 2001, abril de 2002) y dos en el período seco (agosto de 2001, febrero de 2002), en tres estaciones. La estación uno se localizó en la quebrada Piedras, 2 km aguas arriba de la quebrada La Vega a 900 msnm en una zona ocupada por un bosque secundario. En este sitio, la quebrada presenta una pendiente fuerte y una alta acumulación de bloques rocosos que conforman un organal (figura 1).

La estación dos se ubicó en la quebrada Guaico, un kilómetro aguas arriba de la confluencia con la quebrada Piedras, a 840 msnm en un lugar con vegetación similar a la de la quebrada Piedras. Esta estación se localizó en una zona de pendiente moderada a fuerte

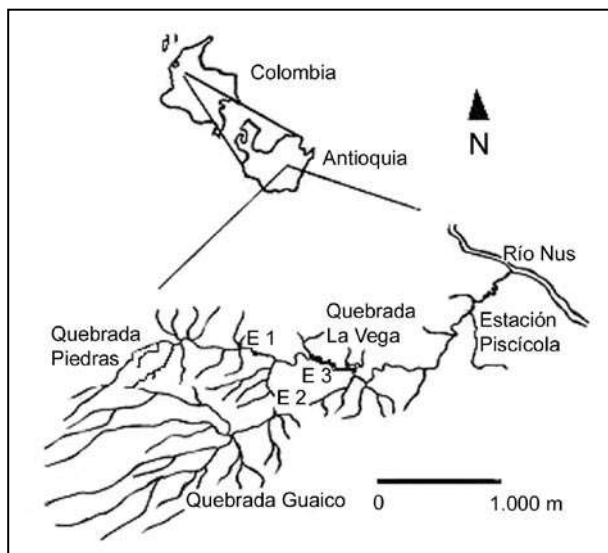


Figura 1. Zona de estudio. Microcuenca de la quebrada La Vega (municipio de San Roque, Antioquia), Colombia, con la localización de las estaciones de muestreo. E = estación

y con acumulación de bloques rocosos. La estación tres se localizó en la quebrada La Vega a 830 msnm y 50 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas Piedras y Guaico en una zona dedicada a la ganadería extensiva y con procesos erosivos avanzados. El sitio de muestreo corresponde a un tramo sinuoso sobre un lecho de arenas levemente inclinado y poco a medianamente extenso.

Medición de las variables físicas y químicas. Para la estimación del caudal y la velocidad de la corriente se utilizaron los procedimientos propuestos por Allan (1995) y King y Brater (1962). Como medida del grado de turbulencia se usó el número de Froude. La profundidad hidráulica se determinó a través de una mira.

La luz incidente sobre la superficie del agua se midió con un luxómetro digital, modelo YFE. YF-172. La temperatura del agua, la concentración de oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno se determinaron con un oxímetro, modelo WTW. 300/Set. Para la medición del pH se empleó un peachímetro, modelo WTW.330/Set-1. La concentración de CO_2 se midió titulométricamente. Las concentraciones de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y ortofosfatos (PO_4^{3-}) fueron medidas en el campo con un espectrofotómetro Spectroquant Nova 60 modelo KGaA 62293.

Muestreo de algas perifíticas. En cada estación se colectaron tres muestras de algas en tres sitios de la sección transversal de la corriente en un área de 900 cm^2 , siguiendo los delineamientos generales de Tümpling y Friedrich (1999). El material adherido a los sustratos incluidos en el área del cuadrante, se raspó con un cepillo plástico, la muestra de 50 ml se fijó con una solución de lugol al 10% y se almacenó en un recipiente plástico opaco. Adicionalmente, con el fin de obtener una aproximación del tamaño de las piedras muestreadas los sustratos se envolvieron individualmente en papel aluminio y luego se estimó el área con papel cuadriculado. La forma, la angularidad y la rugosidad de los sustratos, se determinaron por medio de la guía de Brand (1988).

Tratamiento de las muestras en el laboratorio. La cuantificación se llevó a cabo en un microscopio invertido Leica DMIN, provisto de una reglilla ocular y de una cámara de conteo Sedgwick-Rafter de 1 ml. Por medio de una curva de acumulación de especies se definieron 25 campos de observación y se siguió una trayectoria sinusoidal a partir de los criterios establecidos por Uehlinger (1964). Las observaciones se realizaron con un aumento de 400 X y para la cuantificación de la densidad por mililitro se aplicó la expresión estandarizada para la cámara de Sedgwick-Rafter (Wetzel y Likens, 1990). La relación de la densidad de algas por unidad de área (cm^2) fue obtenida por medio de una división entre el número de individuos totales cuantificados en la muestra sobre el área de muestreo considerada en cada sitio y momento de muestreo (900 cm^2).

Determinación. La identificación taxonómica se realizó hasta género con base en los trabajos de Bourrelly (1966, 1968, 1985), Ettl et al. (1985), Ramírez (2000) y, Strebel y Krauter (1988).

Análisis de la información. A los resultados de las variables físicas y químicas se les calculó la media aritmética y el coeficiente de variación de Pearson. Con respecto a las algas perifíticas se determinaron el índice de diversidad en base logarítmica 2 (Shannon y Weaver, 1949), uniformidad (Pielou, 1969), riqueza de especies (Margalef, 1974) y dominancia (Simpson, 1949).

Teniendo en cuenta como factores independientes las estaciones y las fechas de muestreo se aplicó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para todas las variables hidráulicas, físicas y químicas, igualmente este análisis fue aplicado a los valores espaciales y temporales de los índices de diversidad y la densidad de algas por unidad de área.

Para el análisis de la estructura espacial y temporal de las algas perifíticas se consideró la densidad o abundancia relativa en cada sitio y momento de muestreo, estas abundancias se encuentran basadas en la relación de densidades entre el número de individuos del taxón correspondiente sobre el número total de individuos cuantificados en la muestra, con estos valores fue aplicado un análisis de agrupamiento entre estaciones y muestreos mediante una matriz de 27 filas y 12 columnas, empleando el índice de similaridad de Bray-Curtis y ligamiento completo para las abundancias relativas de la comunidad de algas perifíticas.

RESULTADOS

VARIABLES HIDRÁULICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS. Como se infiere de la tabla 1, los caudales medios fueron similares en las estaciones dos y tres y superiores a los de la uno; a nivel temporal el cuarto muestreo registró valores mayores con respecto a los demás; a pesar de estas observaciones las diferencias no fueron significativas ($p = 0,20$). La velocidad y la turbulencia (número de Froude) presentaron un comportamiento homogéneo en el tiempo, aunque los valores medios fueron ligeramente más altos en la estación tres ($p = 0,02$) y evidenciaron un flujo del agua laminar la profundidad hidráulica no fluctuó en forma importante entre las estaciones ni entre los muestreos.

Como consecuencia del tipo de cobertura vegetal de las márgenes de las quebradas, los valores medios de la luz incidente en las dos primeras estaciones fueron similares y significativamente más bajos con respecto a la estación tres ($p = 0,04$) (tabla 1). La luz incidente en la superficie del agua no presentó variaciones notables a través del tiempo ($p = 0,96$). Por su parte la temperatura mostró diferencias significativas en la estación tres con respecto a las dos primeras ($p = 0,04$) (tabla 1).

A pesar de que el pH presentó diferencias significativas entre las estaciones, el rango de variación en el espacio y en el tiempo fue relativamente estrecho (6,64-7,90 unidades pH). El dióxido de carbono permaneció estable durante el período de estudio a concentraciones inferiores a 2,2 mg/l. Las concentraciones medias de nitratos fueron similares en las estaciones uno y dos (0,30 y 0,27 mg/l respectivamente), mientras en la estación tres el registro superó un poco más del doble estas concentraciones.

El oxígeno disuelto, la saturación de oxígeno, los nitritos, el amonio y los ortofosfatos no experimentaron fluctuaciones importantes durante el estudio. Las concentraciones de oxígeno fueron siempre superiores a 7 mg/l y la saturación no fue inferior al 90%. Con algunas excepciones las concentraciones de nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos fueron inferiores a 0,5 mg/l.

El sustrato. La gran mayoría de los sustratos fueron de tipo inorgánico (piedras, grava, sedimento). La composición, la angularidad, la rugosidad y la forma de los sustratos fue similar en las tres estaciones. Mientras que en la estación uno predominaron los cuarzos (68%) y en la tres los granitos gruesos (55%), en la estación dos se encontraron en proporciones similares granitos gruesos a finos y cuarzos.

Composición y estructura de la comunidad de algas perifíticas. En total se determinaron 31 géneros pertenecientes a 17 familias, 9 órdenes y 4 divisiones. El 58% de los géneros pertenece a la división Bacillariophyta, el 26% a Chlorophyta, el 13% a Cyanoprokariota y el 3% a Pyrrophyta. Dentro de la división Bacillariophyta se encuentran los géneros más abundantes y la mayoría se encontraron en las tres estaciones.

Las abundancias relativas más altas se registraron para *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Cymbella* y *Melosira*. Dado que estos géneros presentan un patrón similar de distribución, hacen parte de un mismo conjunto que logra agruparse con una similaridad aproximada del 28% (figura 2). Estos géneros fueron encontrados en las tres estaciones y en los cuatro muestreos y representan aproximadamente el 88% del total de las algas

Tabla 1. Estadígrafos de tendencia central y de dispersión por estación y muestreo de las variables hidráulicas y fisicoquímicas consideradas en el estudio; valores p de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95% teniendo en cuenta como factores de discriminación las tres estaciones y los cuatro muestreos

Variables / Estación	Muestreo	Q (l/s)	V (m/s)	Prof. (m)	Número de Froude	Intensidad lumínica (lux)	pH	Temp. agua °C	Oxígeno disuelto (mg/l)	% Sat O ₂	CO ₂ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ⁻ (mg/l)
Estación 1. Quebrada Piedras	Agosto de 2001	17,00	0,17	0,10	0,17	1.300,00	6,64	22,00	6,86	87,00	4,95	0,19	0,16	0,03	0,11
	Noviembre de 2001	16,20	0,11	0,15	0,09	1.896,00	7,23	21,40	7,05	89,70	2,86	0,02	0,20	0,02	0,10
	Febrero de 2002	8,70	0,10	0,11	0,09	-	7,28	22,20	7,15	98,10	1,98	0,08	1,80	0,02	0,12
	Abril de 2002	38,80	0,10	0,13	0,08	1.471,00	7,56	22,00	7,36	93,20	1,87	0,08	0,70	0,04	0,13
	X	15,31	0,11	0,13	0,10	1.517,90	7,16	21,90	7,10	91,82	2,51	0,05	0,30	0,02	0,11
CV%	1.098,30	1,12	0,47	1,62	6.204,80	2,09	0,55	0,61	25,03	81,04	9,46	196,64	0,37	0,15	
Estación 2. Quebrada Guaico	Agosto de 2001	46,00	0,18	0,12	0,17	3.000,00	7,75	22,70	7,40	95,00	4,40	0,12	0,13	0,50	0,15
	Noviembre de 2001	55,50	0,25	0,13	0,22	1.853,00	7,78	22,70	7,87	99,50	0,88	0,04	0,20	0,02	0,09
	Febrero de 2002	29,80	0,11	0,17	0,08	-	7,55	22,80	7,61	96,90	0,77	0,05	0,90	0,02	0,12
	Abril de 2002	157,20	0,11	0,15	0,08	2.077,00	7,90	23,00	7,10	91,00	2,75	0,26	0,80	0,05	0,19
	X	50,20	0,14	0,14	0,12	2.214,90	7,74	22,80	7,48	95,50	1,32	0,07	0,27	0,03	0,13
CV%	6.631,70	3,06	0,40	3,81	16.687,80	0,27	0,09	1,42	225,18	14,71	59,80	169,05	1,41		
Estación 3. Quebrada La Vega	Agosto de 2001	64,00	0,22	0,10	0,22	8.000,00	7,50	26,20	7,40	103,00	3,30	0,12	0,45	0,04	0,14
	Noviembre de 2001	70,00	0,35	0,08	0,47	12.490,00	7,54	24,00	7,93	103,90	2,31	0,04	0,60	0,02	0,09
	Febrero de 2002	35,80	0,30	0,05	0,44	-	7,30	26,30	8,00	109,00	2,20	0,04	1,30	0,03	0,13
	Abril de 2002	139,90	0,33	0,16	0,25	7.250,00	7,59	23,20	6,50	85,00	2,31	0,09	0,80	0,04	0,13
	X	61,55	0,29	0,10	0,31	8.746,50	7,48	24,85	7,41	99,32	2,46	0,06	0,68	0,03	0,12
CV%	3.179,79	1,08	2,04	4,94	91.808,70	0,22	9,86	6,47	110,75	10,80	2,71	20,28	0,31	0,41	
Valor p	E	0,05	*0,02	0,21	*0,02	*0,04	*0,04	*0,01	0,23	0,29	0,79	0,82	0,73	0,67	0,62
	M	*0,57	0,57	0,32	0,61	0,96	0,33	0,90	0,30	0,24	0,06	*0,03	*0,02	*0,03	0,06

* Valor p < 0,05, estadísticamente significativo. E = estación, M = muestreo, **M** = media estadística, **CV%** = porcentaje de coeficiente de variación

cuantificadas. Por su parte, algunos géneros con baja abundancia como *Oscillatoria*, *Gyrosigma*, *Pinnularia*, *Surirella*, *Amphipleura*, *Cladophora*, *Desmidium* y *Synedra*, se encontraron al menos en dos muestreos de las tres estaciones y la mayoría de ellos se agruparon en un subconjunto del esquema de agrupamiento (figura 2).

Mientras la abundancia relativa de *Navicula* osciló alrededor de 0,43 (figura 3), para los otros seis géneros señalados inicialmente la abundancia no supera el valor de 0,074. Los demás géneros registraron abundancias relativas inferiores a 0,03 (figura 3).

Mientras la densidad de algas fue similar en las dos primeras estaciones, con valores medios entre 183 y 190 ind/cm² en la estación tres se registró la mayor densidad, con un valor medio de 410 ind/cm² y aumento significativo a través del período de estudio

($p = 0,01$), especialmente en la tercera estación por lo que presentó diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,01$) (figura 4).

El análisis de agrupamiento mostró un rango aproximado de similitud de 39% en la densidad de la comunidad de algas perifíticas entre estaciones y muestreos (figura 5). A pesar de que no se observó una separación completa entre estaciones o muestreos, es posible identificar. Un primer grupo constituido por tres muestreos de la estación uno, tres de la estación tres y uno de la estación dos. El otro grupo lo conforman un muestreo de la estación uno, uno de la tres y tres de la estación dos. Es evidente que la comunidad de algas perifíticas de las estaciones uno y tres presentaron durante el período de muestreo una mayor similitud (57% aproximadamente).

Los valores medios y la reducida variación de la diversidad de Shannon y sus componentes indican una

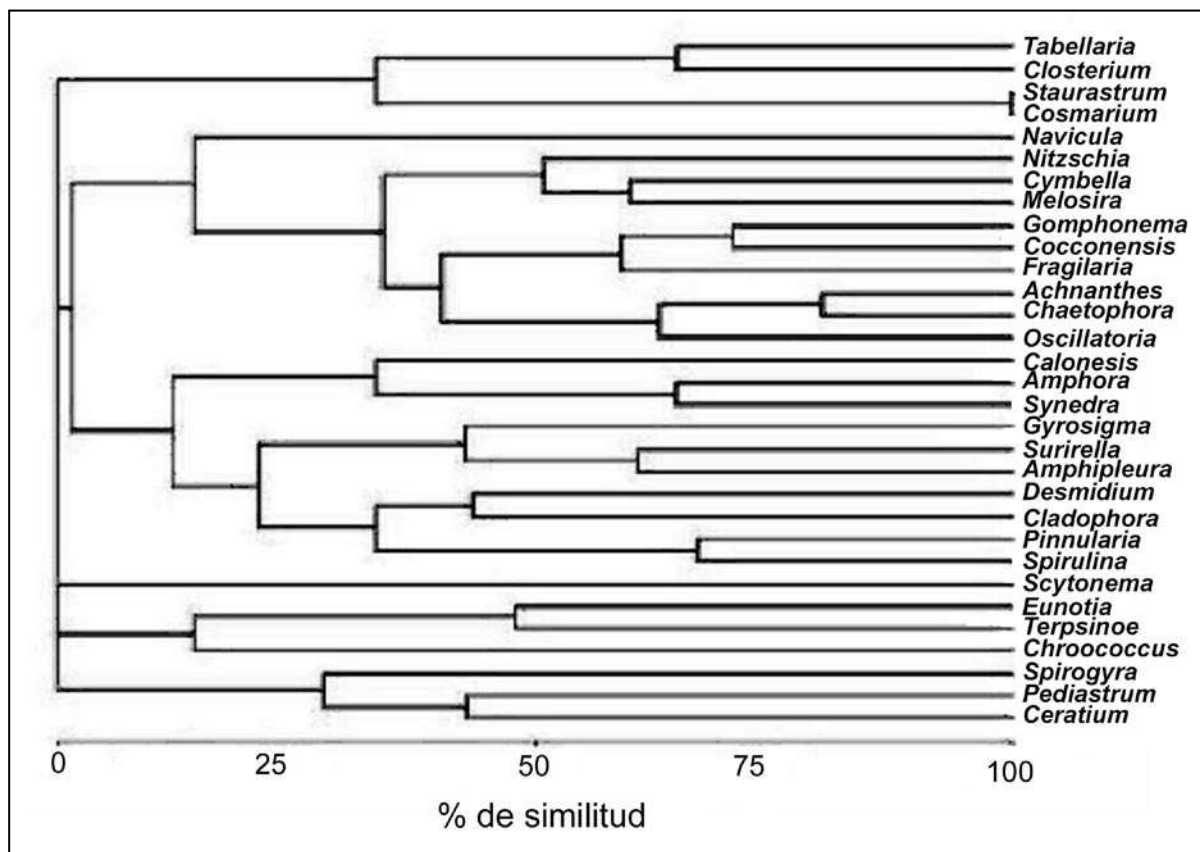
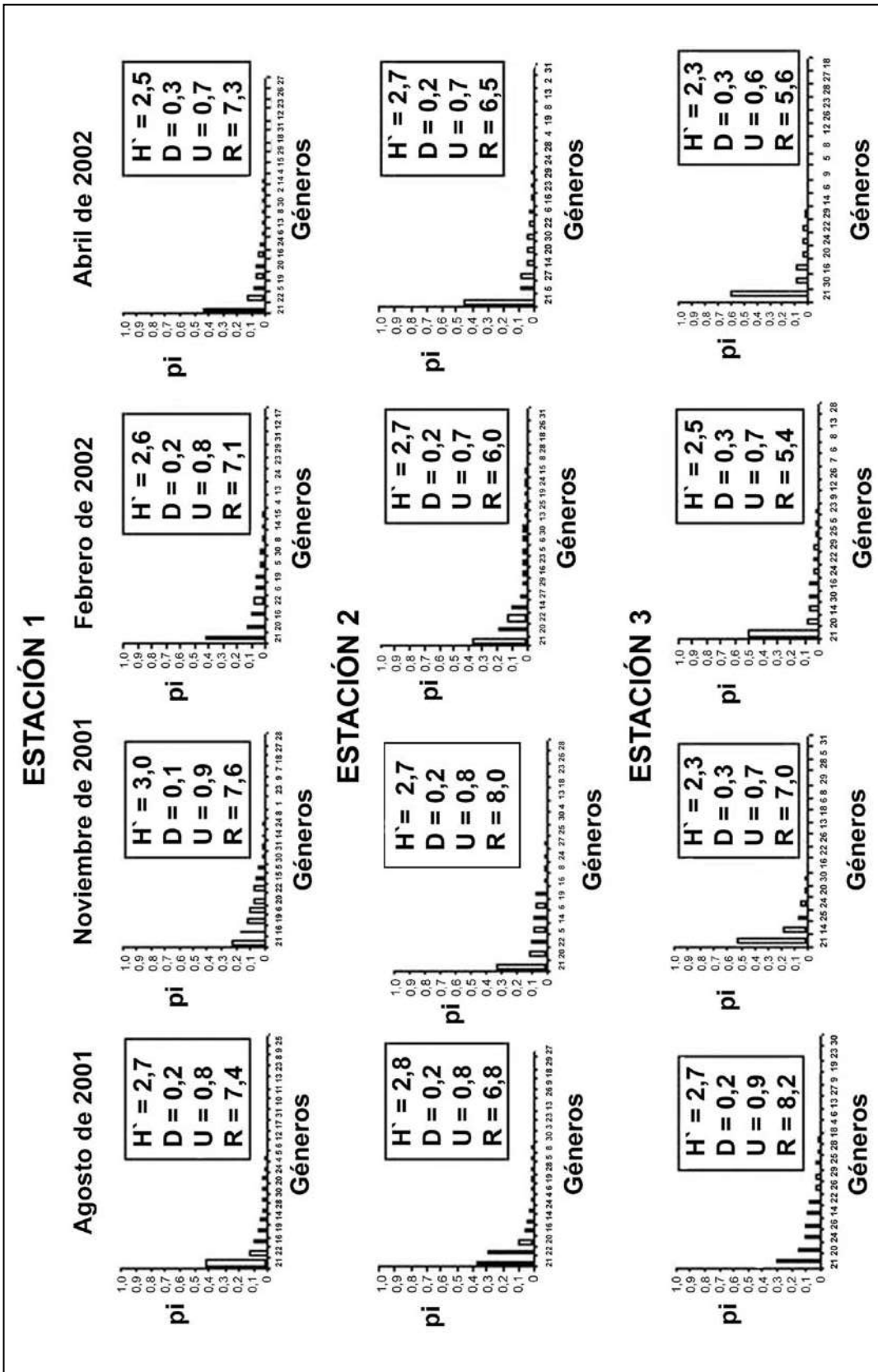


Figura 2. Análisis de agrupamiento entre los taxones registrados durante el estudio empleando el índice de similitud de Bray-Curtis y ligamiento completo para las abundancias relativas de la comunidad de algas perifíticas



Simbología: H' : valor $p = (E = 0,10 \text{ y } M = 0,38)$. D : valor $p = (E = 0,12 \text{ y } M = 0,49)$. U : valor $p = (E = 0,45 \text{ y } M = 0,09)$. R : valor $p = (E = 0,39 \text{ y } M = 0,16)$.
Géneros: 1. *Ceratiun* sp.; 2. *Chroococcus* sp.; 3. *Scytonema* sp.; 4. *Spirulina* sp.; 5. *Oscillatoria* sp.; 6. *Chaetophora* sp.; 7. *Pediastrum* sp.; 8. *Cladophora* sp.; 9. *Spirogyra* sp.; 10. *Cosmarium* sp.; 11. *Staurastrum* sp.; 12. *Closterium* sp.; 13. *Desmidiun* sp.; 14. *Melosira* sp.; 15. *Terpsinoe* sp.; 16. *Fragilaria* sp.; 17. *Tabellaria* sp.; 18. *Synedra* sp.; 19. *Achnanthes* sp.; 20. *Cocconeis* sp.; 21. *Navicula* sp.; 22. *Gomphonema* sp.; 23. *Amphipleura* sp.; 24. *Cymbella* sp.; 25. *Caloneis* sp.; 26. *Amphora* sp.; 27. *Gyrosigma* sp.; 28. *Pinnularia* sp.; 29. *Surirella* sp.; 30. *Nitzschia* sp.; 31. *Eunotia* sp.

Figura 3. Perfiles de abundancia e índices de diversidad, dominancia, uniformidad y riqueza espaciales y temporales. Valores p de Kruskal-Wallis teniendo en cuenta como factores de discriminación las estaciones (E) y los muestreos (M). La numeración en el eje x corresponde al género algal señalado al final de la figura

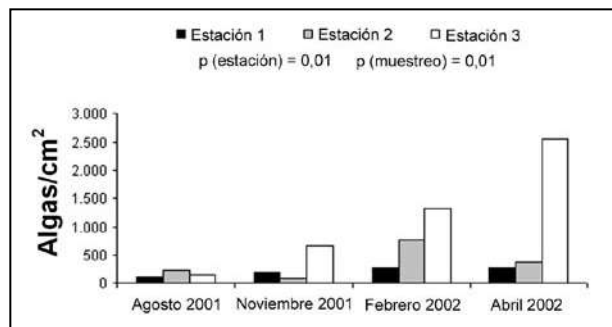


Figura 4. Variación espacio-temporal de la densidad de organismos por unidad de área. Valor “p” de Kruskal-Wallis. Valor $p < 0,05$ es estadísticamente significativo

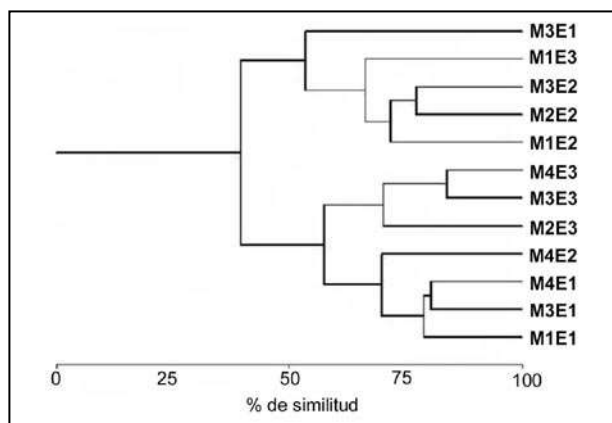


Figura 5. Análisis de agrupamiento de estaciones y muestreos empleando el índice de similitud de Bray-Curtis y ligamiento completo para las abundancias relativas de la comunidad de algas perifíticas

alta similitud entre los valores registrados durante el período de estudio, otra prueba de esta tendencia similar a nivel espacial y temporal fue el hecho de no encontrar diferencias significativas entre los valores (figura 3). Mientras el índice de diversidad de Shannon osciló entre 2,5 bits/individuo y 2,7 bits/individuo ($CV < 1,5\%$), el índice de dominancia de Simpson fluctuó entre 0,2 y 0,25 ($CV < 2,1\%$). Por su parte, la uniformidad de Pielou varió entre 0,7 y 0,8 ($CV < 1,3\%$) y la riqueza de Margalef entre 6,4 y 7,3 ($CV < 26,2\%$).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Entre las variables ambientales que influyen la estructura de las comunidades perifíticas en ambientes lóticos, la velocidad y la turbulencia son fundamenta-

les debido a que condicionan la biodisponibilidad de los nutrientes e influyen en la capacidad de adhesión de las algas al sustrato, afectando la productividad y la arquitectura de la comunidad (Horner y Welch, 1981; McIntire, 1966, 1973; Traaen y Lindstrom, 1983; Wetzel, 1983).

A pesar de que se encontraron diferencias significativas en algunas de las variables hidráulicas, sólo las diferencias del caudal pueden considerarse importantes según los criterios de Allan (1995).

Generalmente las mayores biomásas de algas se observaron a velocidades entre 0,1 y 0,5 m/s, a velocidades inferiores disminuye el transporte de nutrientes y a velocidades superiores se obstaculizan el asentamiento y la estabilización de la masa perifítica (Odum et al., 1979; Raven, 1992; Stevenson et al., 1996; Traaen y Lindstrom, 1983). A partir de estos criterios, la velocidad de la corriente en el área de estudio (0,1 a 0,3 m/s) y el flujo laminar (Allan, 1995; Kemp et al., 2000) garantizan la estabilidad del sustrato para las algas y favorecen un buen desarrollo del perifiton.

Una reducción considerable del caudal puede conducir a la exposición temporal de los sustratos al aire y consecuentemente a la desaparición de las colonias algales. Es evidente que durante el período de estiaje la reducción de los caudales y la desecación del lecho en las tres estaciones pueden afectar significativamente la disponibilidad de sustratos para las formas perifíticas en el sistema estudiado.

En términos generales, las variables fisicoquímicas no presentaron fluctuaciones importantes en el espacio y en el tiempo y mostraron un comportamiento independiente de las variaciones en las condiciones hidráulicas.

Con respecto a los resultados generados con la comunidad de algas perifíticas se evidenció alto porcentaje de géneros algales comunes a las tres estaciones, los cuales en su mayoría pertenecen a la división Bacillariophyta, esta división algal presenta características fisiológicas diversas y algunas de sus representantes, especialmente las formas pennadas que constituyen la mayoría de los géneros encontrados, poseen nu-

trición heterotrófica facultativa y pueden sobrevivir en ambientes con baja luminosidad (Hellebust y Lewin, 1977). En general, todas las formas pennadas suelen crecer en aguas poco profundas y muestran los géneros más frecuentes y las mayores abundancias relativas en el área de estudio.

Navicula, el género más abundante, es extremadamente común, crece en ambientes oscuros y carentes de CO₂, debido a que posee ciertas sustancias de alto valor energético o fácilmente digeribles (Ramírez, 2000). Otra forma pennada que mostró valores importantes de abundancia, aunque no tan altos como *Navicula* fue *Cocconeis*, suele encontrarse en las capas más internas del perifiton para evitar la herviboría (Wetzel, 1983).

Algunos géneros de divisiones diferentes a Bacillariophyta se encontraron en los tres sitios en densidades muy bajas, pero contribuyen significativamente a la arquitectura de las masas perifíticas. Otros géneros encontrados eventualmente como *Chroococcus*, *Pediastrum*, *Scytonema*, *Cosmarium*, *Staurastrum*, *Tabellaria* y *Ceratium* son predominantemente planctónicos y comunes en aguas oligotróficas y en el plancton de lagos y embalses (Ramírez, 2000); sobre la presencia de estos taxones se podría mencionar que se han encontrado algunos grupos taxonómicos de algas que se pueden caracterizar como bénticos o planctónicos, tales como las algas verdes filamentosas y diatomeas pennadas que son generalmente bénticas, o las volvocales y las diatomeas céntricas que tienden a ser planctónicas, sin embargo, otros grupos tienen especies que pueden ser encontradas tanto en el bentos como en el plancton (Stevenson et al., 1996).

En el análisis de agrupamiento, las abundancias relativas entre las tres estaciones y los cuatro muestreos presentaron una similaridad importante (39%). El índice de diversidad y sus componentes no exhibieron diferencias importantes durante el estudio y los valores para cada estación y muestreo pueden considerarse intermedios. A pesar de la gran abundancia de *Navicula*, la regularidad de las abundancias de los demás géneros condujo a valores de dominancia bajos y de uniformidad altos. Estos resultados sugieren que la estructura de la comunidad de algas perifíticas varió poco, debido a la estabilidad de las condiciones ambientales durante el período de estudio.

La disponibilidad de luz y la posible estabilidad del sustrato podrían estar relacionadas con las diferencias en la densidad de algas entre la estación tres y las dos primeras estaciones. La distribución de las algas perifíticas es altamente dependiente de las características del sustrato y de la dinámica física del entorno (Stevenson et al., 1996). En consecuencia, la geología, la topografía y los usos del suelo en las áreas de influencia directa de los cuerpos de agua son factores relevantes a gran escala en la ecología de estos organismos (Potapova y Donald, 2002; Stevenson, 1997). Las diferencias espaciales en la densidad de los organismos perifíticos podrían estar reflejando los cambios en los escenarios geomorfológicos de las estaciones.

La menor densidad de las algas perifíticas durante el primer muestreo se debió a que el sustrato predominante fue sedimento fino, lo cual no favorece el crecimiento de las algas perifíticas, debido a que se adhieren débilmente a este tipo de sustrato (Burkholder y Cuker, 1991; Cattaneo et al., 1997).

La alta densidad de algas en la estación tres está relacionada probablemente con mayor cantidad de luz incidente, debido a que esta variable fue aproximadamente cuatro veces mayor con respecto a las estaciones uno y dos. Stevenson et al. (1996), encontraron que el crecimiento de las algas perifíticas depende de la disponibilidad de luz y de nutrientes. Según McIntyre (1973), bajas biomásas perifíticas en pequeñas corrientes son parcialmente el resultado del efecto de la reducción de la luz por una densa cobertura vegetal terrestre. No obstante, se debe tener en cuenta que no sólo la luz facilita el crecimiento algal, sino la interacción de otros factores como la disponibilidad de nutrientes, el tipo de sustrato, la presión competitiva y la herviboría que afectan el crecimiento del ficoperifiton (Ramírez, 2000). La alta densidad de algas en la estación tres, se debe probablemente al efecto combinado de la mayor intensidad de luz y a la probable estabilidad de los sustratos, que se acumulan gracias a la baja pendiente.

En síntesis, como atributos de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca de la quebrada La Vega, la composición, los perfiles

de densidad relativa y los valores de los índices de diversidad contemplados no presentaron variaciones espacio-temporales importantes. Sin embargo, la densidad de algas por unidad de área sí registró cambios significativos que podrían estar reflejados por la combinación de factores ambientales propiciados por la morfología y estructura física de los sitios muestreados, en adición con la disponibilidad de nutrientes y la reducida variación de la mayoría de las variables fisicoquímicas consideradas durante el estudio, lo cual a su vez igualmente propició la similaridad de la estructura de la comunidad en algunos aspectos.

REFERENCIAS

- Allan JD.** 1995. *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*. Chapman y Hall. University of Michigan. E. U. A.
- Bourelly P.** 1966. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*. Tome I: Les Algues Vertes. Éditions N. Boubée y Cie. 511 S., Paris.
- Bourelly P.** 1968. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*. Tome II: Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Éditions N. Boubée y Cie. 438 S., Paris.
- Bourelly P.** 1985. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*. Tome III: Les Algues bleues et rouges. Les Euglénoides, Peridiniés et Cryptomonadines.- Réimpr. rev. augm., 606 S., (Boubée) Paris.
- Brand EW.** 1988. *Guide to Rock and soil descriptions*. Geoguide 3. Geotechnical control office civil engineering services. Department Hong-Kong.
- Burkholder JM, Cuker BE.** 1991. Response of periphyton communities to clay and phosphate loading in a shallow reservoir. *Journal of Phycology*, 27:373-384.
- Cattaneo A, Kerimian T, Roberge M, Marty J.** 1997. Periphyton distribution and abundance on substrata of different size along a gradient of stream trophy de Montreal. *Hydrobiologia*, 354(1/3):101-110.
- Cox EJ.** 1991. What is the basis for using diatoms as monitors of river quality? En: Whitton BA, Rott E, Friedrich G (eds.). *Use of algae for monitoring rivers*. Institut fur Botanik, University Innsbruck. pp. 33-40.
- Díaz C, Rivera C.** (Sometido a publicación). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*.
- Ettl H, Gerloff J, Heynig H, Mollenhauer D.** 1985. Süßwasserflora von Mitteleuropa.-bisher 1 Bände, (G. Fischer) Stuttgart. Begründet von A. Pascher.
- Griffith MB, Hill BH, Herlihy AT, Kaufmann PR.** 2002. Multivariate analyses of periphyton assemblages in relation to environmental gradients in Colorado rocky mountain streams. *Journal of Phycology*, 38:83-95.
- Hansson LA.** 1990. Quantifying the impact of periphytic algae on nutrient availability for phytoplankton. *Freshwater Biology*, 24:265-273.
- Hellebust J, Lewin A.** 1977. Heterotrophic nutrition. En: Werner D (ed.). *The biology of diatoms*. University of California Press, Berkeley, California. pp. 169-197.
- Horner RR, Welch EB.** 1981. Stream periphyton development in relation to current and nutrients. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*. 38:449-457.
- Karr JR, Chu EW.** 1999. *Restoring life in running waters: better biological monitoring*. Island Press, Washington D. C.
- Kemp JL, Harpera DM, Crosab GA.** 2000. The habitat-scale ecohydraulics of rivers. *Ecological Engineering*, 16(1):17-29.
- King HW, Brater EE.** 1962. *Manual de hidráulica*. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México.
- Margalef R.** 1974. *Ecología*. Ediciones Omega S. A. Barcelona.
- Masseret E, Amblard C, Bourdier G.** 1998. Changes in the structure and metabolic activities of periphyton communities in a stream receiving treated sewage from a waste stabilization pond. *Water Research*, 32(8):2299-2314.
- McIntire CD.** 1966. Some effects of current velocity on periphyton communities in lotic environments. *Ecology*, 47:918-930.
- McIntire CD.** 1973. Periphyton dynamics in laboratory streams: a simulation model and its implications. *Ecological Monographs*, 43:399-420.
- Montoya Y.** 1998. Variación en la estructura de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en dos estaciones de muestreo en la zona de ritual del río Medellín. Tesis de pregrado en Biología. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Moreno LF.** 1989. Colonización del perifiton en tres embalses del oriente antioqueño. Tesis de maestría en Biología. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Odum EP, Finn JT, Franz EH.** 1979. Perturbation theory and the subsidy-stress gradient. *BioScience*, 29:349-352.
- Pielou EC.** 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity- its use and disuse. *American Naturalist*, 100:463-465.
- Pizarro H.** 1999. Periphyton biomass on *Echinocloa* sp. (H.B.K.) Hich of a lake of the lower Paraná river floodplain, Argentina. *Hydrobiologia*, 397:227-239.
- Potapova MG, Donald FC.** 2002. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography*, 29:167-187.
- Ramírez JJ.** 2000. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Raven JA.** 1992. How benthic macroalgae cope with flowing freshwater: Resource acquisition and retention. *Journal of Phycology*, 28:133-146.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Comité para el Desarrollo de la Investigación de la Universidad de Antioquia (CODI) por el financiamiento del proyecto. A los integrantes del Grupo GAIA que participaron en los muestreos. Al biólogo Guillermo Penagos por su valiosa colaboración en el análisis de los resultados del estudio. A los profesores John Jairo Ramírez, Nora Villegas, Álvaro Wills y Carlos Parra por las sugerencias. Al personal de la estación piscícola San José del Nus de la Universidad de Antioquia por su apoyo en las campañas de muestreo.

- Salas SE, Duque S, Núñez M, Lamaro AA.** 2002. Diatoms from the colombian Amazon: some species of the genus *Eunotia*, Bacillariophyceae. *Acta Amazónica* (Manaus), 32(4):589-603.
- Scott L, Scott S.** 2000. Light- and nutrient- limited periphyton in low order streams of Oahu, Hawai. *Hydrobiologia*, 432:101-111.
- Shannon CE, Weaver W.** 1949. *The mathematical theory of communication*. University Illinois, Press Urbana.
- Sierra O, Ramírez JJ.** 1999. Variación espacio temporal de biopelículas en la represa La Fe, El Retiro, Antioquia (Colombia). *Actualidades Biológicas*, 22(73):153-168.
- Simpson EH.** 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163:688.
- Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL.** 1996. *Algal ecology of freshwater benthic ecosystems*. Academic Press. New York.
- Stevenson RJ.** 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of the North American Benthological Society*, 16:248-262.
- Strebel H, Krauter D.** 1988. Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Franckh-Kosmos Naturführer. 399 S. Stuttgart. Deutschland.
- Ter Braak CJF, Verdonschot DFM.** 1995. Canonical correspondence analysis and relate multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Science*, 57:255-89.
- Traaen TS, Lindstrom EA.** 1983. Influence of current velocity on periphyton distribution. En: Wetzel, RG (ed.). Periphyton of freshwater ecosystems: proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems, held in Växjö, Sweden, 14-17 September 1982. Junk Publishers, The Hague, Netherlands. pp. 97-99.
- Tümping W, Friedrich G.** 1999. *Methoden der biologischen wasseruntersuchung 2. Biologische gewässeruntersuchung*. Gustav Fischer Jena. Germany.
- Uehlinger V.** 1964. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. *Archives des Sciences*, 17(2):21-223.
- Viviane C, Raoul H, Pompeo M.** 2000. Seasonal variation of biomass and productivity of the periphytic community on artificial substrata in the Jurimirim Reservoir (Sao Paulo, Brasil). *Hydrobiologia*, 434:35-40.
- Wetzel GR.** 1983. *Periphyton of freshwater ecosystems*. Junk W, Publishers. The Hague/Boston.
- Wetzel GR, Likens GE.** 1990. *Limnological analysis*. Springer-Verlag. New York.

