

DIATOMEAS PERIFÍTICAS DE LA ZONA DE RITRAL DEL RÍO MEDELLÍN (ANTIOQUIA), COLOMBIA

PERIPHYTIC DIATOMS IN THE RHITHRON OF THE MEDELLÍN RIVER, (ANTIOQUIA), COLOMBIA

Yimmy Montoya-M.^{1,3}, John J. Ramírez-Restrepo^{1,4}, Rosemeri Segecin-Moro^{2,5}

Resumen

Se estudió la agrupación de diatomeas colonizadoras de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, ubicada dentro de la reserva ecológica del Alto de San Miguel entre los 1.800-2.800 m de altitud, en el municipio de Caldas (Antioquia). De enero a marzo de 1998 se tomaron muestras semanales con el fin de determinar variaciones en la composición del ensamble de diatomeas perifíticas bajo condiciones de estrés por sequía resultado del fenómeno de El Niño. Durante el proceso de colonización se encontraron 37 especies de diatomeas con distribución tropical, subtropical y cosmopolita. Los taxones encontrados fueron agrupados en 10 familias y 18 géneros, siendo Naviculaceae la de mayor número de géneros (6). Se encontraron diferencias a nivel temporal y espacial entre diversidad y equidad, las que fueron asociadas a las fluctuaciones entre épocas de muestreo y debidas a las variaciones en el caudal, el fósforo soluble reactivo, el oxígeno disuelto y el nitrógeno amoniacal. Cabe anotar que esta última variable fue la única de carácter químico que presentó relación significativa con la riqueza de diatomeas. El caudal se relacionó inversamente con la diversidad ($r = -0,43$; $p = 0,035$). Las demás variables evaluadas no presentaron fluctuaciones importantes, mostraron un comportamiento independiente del caudal y no presentaron relación con los índices biológicos.

Palabras clave: diatomeas perifíticas, índices de diversidad, río Medellín, sistema lótico

Abstract

The diatoms assemblage that colonized artificial substrata in the rhithron area of Medellín river was studied. This zone is located in the natural reservation "El Alto de San Miguel" between 1,800-2,800 m. From January to March 1998, were weekly taken samples with the purpose to evaluated variations in the composition of the assemblage under drought stress caused by the ENSO. During the colonization process, 37 diatom species with tropical, subtropical, and cosmopolitan distribution were found. The taxa were grouped in 10 families and 18 genera, being the Naviculaceae that presented the greatest number of genera (6). Spatial and temporal differences were found in diversity and evenness, associated with fluctuations inflow, soluble reactive phosphorus, dissolved oxygen, and ammonium nitrogen; this last variable was the only chemical one significant and correlated with the diatom evenness. The flow presented inverse correlation with diversity ($r = -0,43$; $p = 0,035$). The other measured variables did not present important fluctuations and showed an independent behavior in relation to the flow and did not present any relation with the biological indices.

Key words: diversity indexes, lotic system, Medellín river, periphytic diatoms

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Sládeckova y Sládecék (1977), el perifiton es la parte de la comunidad adherida, es decir, son organismos microscópicos fijados al

sustrato por rizoides, pedicelos, tubos u otros mecanismos. Actualmente esta biocenosis se define como un ensamble complejo de microbiota (algas,

Recibido: julio 2008. Aceptado para publicación: diciembre de 2008.

¹ Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. A. A. 1226. Medellín (Antioquia), Colombia.

² Departamento de Biología General, Universidad Estadual de Ponta Grossa. A. A. 4748, Ponta Grossa, Brasil.

Correos electrónicos: ³ <yimmymontoya3@hotmail.com>; ⁴ <johnra77@yahoo.com>; ⁵ <rsromo@superigcom.br>.

bacterias, hongos, animales, detritos orgánicos e inorgánicos) adherido a un sustrato que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto (Wetzel, 1983). Una porción importante de cualquier comunidad acuática microbiana adherida está compuesta por material no vivo, especialmente por material mucilaginoso (Wetzel, 2001). Actualmente, las diatomeas a nivel global están representadas por cerca de 250 géneros y 100.000 especies que presentan una amplia distribución geográfica (Lobo et al., 2002).

Hentschel (1916) fue el primero en describir el uso de porta objetos de vidrio para estudios cuantitativos y cualitativos de agrupamientos perifíticos. Desde entonces, son el material más ampliamente utilizado y, a pesar de algunos sesgos, brindan la ventaja de la uniformidad, tan importante en el diseño experimental. A pesar que el uso de sustratos naturales es a menudo deseable, existen numerosos tipos de investigaciones donde deben ser usados sustratos artificiales (Collins y Weber, 1978). Varios investigadores han encontrado que los sustratos artificiales favorecen el desarrollo de las diatomeas respecto a otros grupos taxonómicos (Otten y Willemse, 1988; Wetzel, 2001).

Por ser un agrupamiento complejo debido al alto número de organismos que lo constituyen, a su variada arquitectura en mínimas superficies, a los diferentes sustratos colonizables y a su variación estacional sumada a los cambios sucesionales relacionados con los ciclos de vida de sus integrantes, su estudio integral es sumamente difícil. Pese a lo anterior, en Colombia se han realizado en ecosistemas lóticos algunos estudios como los siguientes: factores que influyen en la colonización de algas perifíticas en un río tropical de alta montaña (Martínez y Donato, 2003); relación entre diatomeas y gradientes tróficos en ríos de bajo orden en Santander (Plata et al., 2000); análisis de diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones

ambientales variables (Díaz y Rivera, 2004), y más recientemente, la variación espacio temporal del ensamble perifítico de la quebrada La Vega (Antioquia) (Hernández-Atilano et al., 2005).

El propósito de esta investigación fue determinar la composición y la estructura de la flora diatomológica del río Medellín en la zona de ritral; establecer si el ensamble tuvo variación en su composición, distribución y diversidad durante el intervalo de ocho semanas en dos estaciones de colecta en el tramo alto del río. Además, se busca evaluar si la dinámica de algunas variables físicas y químicas afecta a las diatomeas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio. La zona de estudio se encuentra dentro de una reserva ecológica localizada entre las veredas La Clara y La Mina, en la Cordillera Central de los Andes, al sur este del municipio de Caldas (6° 03' N y 75° 37' O), con una elevación entre los 1.800 y 2.800 m (figura 1). La cabecera de las microcuencas de las quebradas Santa Isabel, La Moledora, La Vieja y el río Medellín, forman parte de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel, la cual cuenta con 710 hectáreas (Urrego y Ramírez, 2000). El clima de la zona es de régimen tropical de montaña, con una temperatura promedio anual variando de 12 a 20 °C y precipitación anual oscilando entre 2.000 y 3.500 mm (Instituto Mi Río, 1992). Según Espinal (1964), el área de estudio corresponde a la zona de vida del bosque muy húmedo Montano Bajo (**bmh-MB**).

La zona de la reserva ecológica está constituida por depósitos que forman una llanura aluvial ubicada dentro del grupo Ayurá-Montebello, compuesto por rocas sedimentarias principalmente gneis micáceos, micacitas y filitas, y en la parte basal, se presentan anfibolitas. Estas rocas

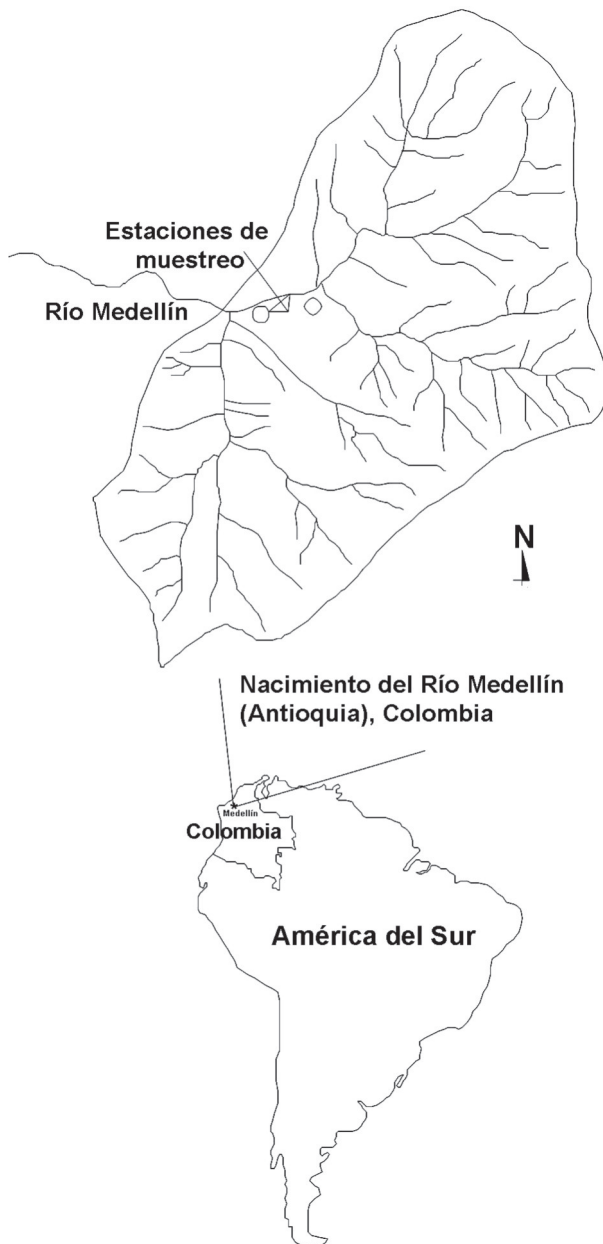


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la parte alta de la cuenca del Río Medellín, Alto de San Miguel, (Antioquia), Colombia

se consideran pertenecientes al Paleozoico o al Precámbrico y son el producto del metamorfismo de una serie sedimentaria, probablemente marina (Botero, 1963).

Los suelos poseen un relieve que varía de fuertemente ondulado a muy escarpado en las vertientes

y partes altas. Son suelos desarrollados a partir de depósitos de cenizas volcánicas, profundos a moderadamente profundos y son utilizados para ganadería, pequeños cultivos de papa, hortalizas y frutales y algunas áreas están reforestadas con ciprés, pinos y eucaliptos. Además de zonas de pastoreo y de rastrojo, también hay pequeños bosques secundarios en proceso de tala, los cuales presentan un dosel abierto (Instituto Mi Río, 1996).

Metodología. Se establecieron dos estaciones aproximadamente a 50 m una de la otra. La primera estación (A), aguas arriba, presentó un caudal cuatro veces menor que la segunda estación (B) ubicada aguas abajo. En cada estación se colocó un muestreador de acrílico con 25 portaobjetos, a una profundidad entre 5 y 10 cm de profundidad en el centro del cauce; fueron fijados con la ayuda de un costal plástico lleno de rocas procedentes del cauce inactivo del río. Su ubicación en el lecho del río fue vertical en relación al flujo, según lo recomendado por Wetzel (1983) y, Wetzel y Likens (1991). El tiempo de exposición definitivo fue de ocho semanas, en concordancia con lo establecido por Lobo y Buselato (1985) y con exposiciones preliminares para determinar el tiempo ideal de colecta para el sitio de muestreo, ya que a partir de siete días el proceso de colonización presenta información permanente. La toma de muestras se inició el 30 de enero y se realizaron colectas semanales hasta completar ocho semanas de investigación (27 de marzo de 1998). En cada muestreo se retiraban tres placas por muestreador.

Las muestras para la evaluación cuantitativa y cualitativa del agrupamiento perifítico fueron depositadas en frascos con agua de la estación de muestreo y fueron fijados con lugol (KI-I₂). En el laboratorio las placas fueron raspadas por un lado con una cuchilla fina. Para la limpieza de las diatomeas, se procedió a lavar las muestras con HCL al 10% durante 5 minutos. Después se lavó con agua destilada tres veces y se centrifugó a 1.500 rpm por tres minutos. Posteriormente, se oxidó la materia orgánica con peróxido de

hidrógeno a 50 °C por 24 horas. Finalmente, se montaron las placas permanentes en NAPHRAX (Moro, 1998).

Luego se procedió a identificar los organismos hasta el máximo nivel taxonómico posible, empleando para ello material bibliográfico específico (Krammer y Lange-Bertalot, 1988, 1991, 2007; Patrick y Reimer, 1966, 1975). El conteo se realizó en un aumento de 40X en la placa de colonización, tomando tres transectos longitudinales elegidos aleatoriamente. Se consideró como individuos a las formas filamentosas (v. g.: *Aulacoseira* y *Fragilaria*) y a las células (*Cyclotella*, *Gomphonema*, entre otras). Los datos de abundancia son presentados como individuos por cm² utilizando la fórmula citada por Ross (1979) para conteos con base en franjas:

$$\text{Individuos/cm}^2 = (n/LDW) (100 \text{ mm}^2/1 \text{ cm}^2)$$

Donde: **n** = número total de individuos contados para la especie *i*; **L** = longitud de cada franja contada = 66 mm; **D** = número de franjas contadas = 3; **W** = ancho de la franja en mm = ancho de un campo en 40X = 0,39 mm.

Los datos de precipitación pluvial fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (**IDEAM**). Las variables físicas evaluadas fueron la velocidad de la corriente (correntómetro Global FP-101) y la temperatura del agua, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (conductímetro WTW 320). Se tomaron muestras de tres litros para los análisis de turbidez (espectrofotómetro Orbeco Hellige), sólidos totales y sólidos volátiles (secado y gravimetría). Se midieron además el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación (oxímetro WTW 320), el pH (pH-metro WTW 320), y se determinaron la alcalinidad, la dureza total, cálcica y magnésica (kits Aquamerck); el nitrógeno amoniacal N-NH₄⁺ (Nesslerización), nitritos N-NO₂ (sulfanilamida), nitratos N-NO₃ (reducción de cadmio) y el fósforo soluble reactivo (**FSR**) (ácido ascórbico). El cálculo del Carbono Inorgánico

Disuelto (**CID**) y del dióxido de carbono libre se realizó según Mackereth et al. (1978).

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis exploratorio mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media aritmética = **MA**) y de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación relativa de Pearson = **CV**). Para establecer la existencia de diferencias significativas entre la abundancia de cada una de las especies y los tiempos de muestreo, se realizó la prueba de Friedman de dos vías tomando como variables de bloque las fechas de muestreo (8) y las estaciones (2).

La estructura del ensamble de diatomeas fue determinada usando las abundancias totales; a estos valores les fue aplicado un análisis de agrupamiento entre estaciones y muestreos empleando el índice de similaridad de Bray-Curtis. Se estudiaron las variaciones en los índices de diversidad calculado con base en logaritmo natural (Shannon y Weaver, 1949), equidad (Pielou, 1975), dominancia (Simpson, 1949) y el índice de riqueza numérica de especies (N₀). La asociación entre la agrupación de diatomeas perifíticas y las variables físicas y químicas se efectuó mediante un análisis de correlación lineal múltiple. Los análisis estadísticos mencionados anteriormente se llevaron a cabo con el paquete estadístico Statgraphics v.3,0.

RESULTADOS

La tabla 1 presenta los valores medios y la variación de los atributos físicos y químicos evaluados. La precipitación pluvial mensual en el alto de San Miguel durante el año de 1998 (figura 2A) presentó en términos generales un patrón bimodal, con menos lluvias en diciembre, enero y febrero e incrementos en mayo y septiembre. La variación temporal encontrada fue alta tanto para la pluviosidad como para los caudales (figuras 2A, B). Durante el periodo de investigación, la pluviosidad y el

Tabla 1. Valores de los estadígrafos de tendencia central y de dispersión relativa de las variables físicas, químicas y biológicas evaluadas en la zona de ritral del río Medellín, Alto de San Miguel (Antioquia), Colombia [para cada estación $n = 8$; **MA** = media aritmética muestral; **CV** = coeficiente de variación (%)]

variable	estación 1		estación 2	
	MA	CV	MA	CV
oxígeno disuelto (mg/l)	8,53	24,1	6,61	19,56
% de saturación de O ₂	114,96	23,39	87,68	18,22
temperatura del agua (°C)	18,71	6,55	18,08	4,87
pH (unidades de pH)	7,1	1,43	6,98	6,81
alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	35,42	36,67	34,62	33,76
dureza total (mg/l CaCO ₃)	16,39	27,11	18,75	19,25
dureza cálcica (mg/l CaCO ₃)	13,29	35,87	13,03	32,11
dureza magnésica (mg/l CaCO ₃)	3,1	77,08	5,72	59,49
conductividad (µS/cm)	21,23	43,12	22,12	49,68
CID total (mmol/l)	0,859	35,55	0,949	33,82
nitrógeno amoniacal (mg/l NH ₄)	2,83	33,53	13,14	16,82
nitritos (mg/l de NO ₂)	0	0	0	0
nitratos (mg/l de NO ₃)	0	0	0	0
fósforo soluble reactivo (mg/l PO ₄)	0,0738	41,6	0,0888	25,86
caudal (m ³ /s)	0,045	75,68	0,185	80,78
velocidad del río (m/s)	0,45	54,81	0,565	48,18
turbidez (FTU)	5,038	54,19	3,6	57,2
sólidos totales (mg/l)	46,63	32,7	37,625	13,84
sólidos volátiles (mg/l)	11,25	36,12	6,125	87,46
sólidos totales disueltos (mg/l)	13,12	90,28	9,62	67,32
silicatos (mg/l de SiO ₂)	18,09	18,38	16,4	17,51
Diversidad (bits/ind)	2,08	28,97	1,67	37,03
Equidad	0,59	26,81	0,475	38,29
Riqueza (N° de especies)	34,5	24,2	36,38	29,68
Dominancia	0,16	31,1	0,27	21,5

caudal presentaron promedios bajos pero con altas variaciones (CV = 160% y CV = 110%, respectivamente). La relación entre la precipitación y el caudal no fue significativa ($r = 0,22$; $p = 0,601$) lo que pudo deberse a la distancia que hay entre la estación meteorológica y las estaciones de trabajo y al bajo número de datos comparados en la correlación.

No se observaron diferencias significativas entre las fechas de muestreo para las variables evaluadas, excepto para la precipitación pluvial semanal ($F = 17,28$; $p = 0,0017$; figura 2B).

Al comparar las estaciones de muestreo, se encontró que el caudal ($F = 9$; $p = 0,0046$), el oxígeno disuelto ($F = 8$; $p = 0,0047$), el FSR ($F = 4$; $p = 0,0045$) y el N-NH₄⁺ ($F = 8$; $p = 0,0047$) presentaron diferencias significativas, lo cual demuestra que la naturaleza química del agua es variable entre las estaciones de muestreo pese a la corta distancia entre ellas y/o la influencia de los suelos por donde fluyen los afluentes que recibe el río Medellín. De estas variables, sólo el N-NH₄⁺ presentó relación significativa con la riqueza numérica de especies ($r = 0,74$; $p = 0,0036$) en la estación 2.

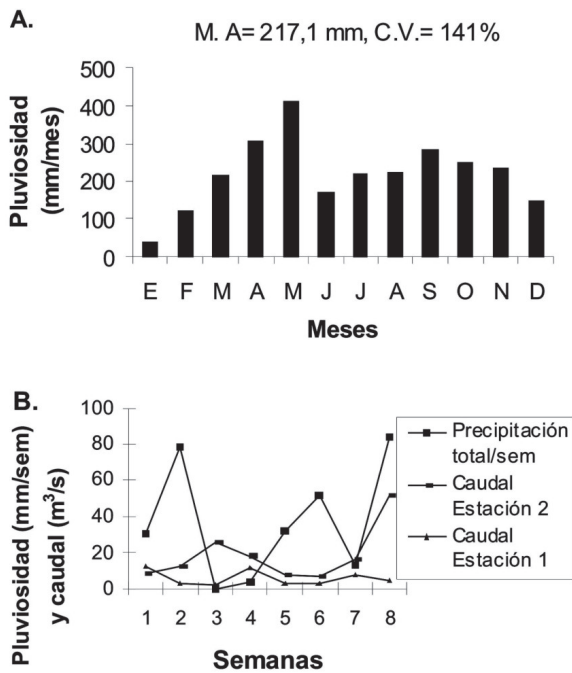


Figura 2. A. Variación de la precipitación durante el año de 1998. B. Relación entre precipitación y los caudales durante el periodo de investigación (la escala para los caudales esta aumentada diez veces)

El nitrógeno durante el tiempo de estudio se presentó en la forma amoniacal y no se detectaron nitratos ni nitritos, pero su concentración al igual que la del FSR fue mayor en la estación 2 que en la 1. Por otro lado, el oxígeno disuelto exhibió un comportamiento inverso al de los nutrientes, es decir, fue mayor la concentración aguas arriba (estación 1).

Resultado del proceso de colonización se encontraron 37 especies pertenecientes a 10 familias y 18 géneros, siendo la familia Naviculaceae la que presentó el mayor número de géneros (6) (tabla 2).

En las primeras tres semanas se presentaron los mayores valores para el índice de diversidad de Shannon y Weaver. La estación 1 mostró el máximo valor del índice de diversidad (2,90 nats/ind) con una equidad de 0,79 y una dominancia de 0,16 en la tercera semana de colonización. En

esta estación se encontró que la diversidad tendió a disminuir con el tiempo. En la estación 2 el índice de diversidad tuvo su máximo valor en la segunda semana de colonización, (2,68 nats/ind), una equidad de 0,67 y una dominancia de 0,27.

La figura 3 presenta las curvas de rango-abundancia para cada una de las estaciones. En ellas se observa una mayor dominancia en la estación 2.

La estación 1 mostró mayores valores de equidad y diversidad, menor dominancia y un mayor número de especies, de las cuales dos fueron dominantes: *Achnantheidium minutissimum* y *A. lanceolatum*. La estructura del ensamblaje perifítico en la estación 2 mostró un mayor valor medio de dominancia, ya que se presentó una especie, *Gomphonema subclavatum* var. *mexicanum* que predominó claramente en el agrupamiento hallado. Consecuentemente, la riqueza, la equidad y la diversidad disminuyeron en comparación con la estación 1.

Los análisis estadísticos llevados a cabo mostraron diferencias altamente significativas entre las fechas de muestreo para la diversidad ($F = 8$; $p = 0,003$) y la equidad ($F = 8,6$; $p = 0,0055$); al comparar diversidad y equidad de las estaciones las diferencias fueron también significativas ($F = 8,3$; $p = 0,0238$ y $F = 8,6$; $p = 0,0220$, respectivamente). La correlación de Spearman entre la diversidad y la equidad, presentó un valor de 0,97 ($p = 0,0000$), y de 0,96 ($p = 0,0001$), para las estaciones 1 y 2 respectivamente; la correlación entre la diversidad y la riqueza numérica de especies no fue significativa para ninguna de las dos estaciones ($r = 0,44$; $p = 0,27$ y $r = -0,1$; $p = 0,8$, respectivamente).

El análisis de agrupamiento mostró un valor aproximado de similitud de 33% en la densidad de la comunidad de diatomeas perifíticas entre muestreos y estaciones (figura 4). En la figura 4 se identifica un primer grupo en el que aparecen las tres primeras semanas de estudio en ambas estaciones.

Tabla 2. Diatomeas ficoperifíticas encontradas en la zona de ritral del Río Medellín, Alto de San Miguel, (Antioquia), Colombia

Taxones (Familias/especies)	Taxones (Familias/especies)
Fragilariaceae	Naviculaceae
<i>Fragilaria capucina</i> Désm. var. <i>capucina</i> (= <i>Fragilaria capucina</i> Désm. var. <i>lanceolata</i> Grun.)	<i>Diploneis eliptica</i> (Kütz.) Cl
<i>Fragilaria capucina</i> Désm. var. <i>vaucheriae</i> (Kütz.)	<i>Frustulia krammeri</i> Lange-Bertalot y Metzeltin (= <i>Frustulia romboides</i>) (Ehr.) De Toni
<i>Fragilaria capucina</i> Désm. var. <i>rumpens</i> (Kütz.)	<i>Frustulia vulgaris</i> (Thw.) De Toni
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz	<i>Navicula criptocephala</i> Kütz
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyng.) Kütz	<i>Navicula cuspidata</i> (Kütz.) Kütz
Eunotiaceae	<i>Navicula subrhynchocephala</i> Hust.
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehr.) Mills	<i>Luticula mutica</i> Kütz
<i>Eunotia denticulada</i> (Bréb.) Rabh	<i>Pinnularia mayor</i> (Kütz.) Rabh
<i>Eunotia hemycichus</i> (Ehr.) Ralfs	<i>Pleurosigma angulatum</i> Queckett.
<i>Eunotia minor</i> (Kütz.) Grun	<i>Stauroneis phoenicenterum</i> (Nitz.) Ehr
<i>Eunotia monodom</i> (Ehr.)	Gomphonemaceae
<i>Eunotia paludosa</i> Grun	<i>Gomphonema acuminatum</i> Eh
<i>Eunotia soleroilli</i> (Kützing) Rabenhorst	<i>Gomphonema clavatum</i> Ehr (= <i>Gomphonema longiceps</i>)
Achnanthaceae	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kütz.) Kütz
<i>Achnanthes inflata</i> (Kütz.) Grun	<i>Gomphonema subclavatum</i> Grun var. <i>mexicanum</i> (Grun.)
<i>Achnanthidium lanceolatum</i> (Bréb ex Kütz.)	Cymbellaceae
<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki 1994	<i>Cymbella mesiana</i> Choln
<i>Coconeis placentula</i> Ehr.	<i>Encyonema minutissimum</i> Hilse
Coscinodiscaceae	Ephitemiaceae
<i>Melosira varians</i> Ag.	<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr.) O. Müll
<i>Aulacoseira granulata</i> (Her) Ralfs	Nitzschiaceae
Thalassiosiraceae	<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) WSm
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	

En un segundo grupo aparece la quinta y séptima semanas en ambas estaciones, las cuales estuvieron influenciadas por las variaciones del caudal.

La figura 5 registra la oscilación temporal de los índices comunitarios y del caudal durante la investigación para cada una de las estaciones de muestreo. En ambas estaciones se observa como hacia la quinta semana del muestreo hay una disminución de los índices comunitarios asociado a la fluctuación del caudal. En la estación 2 se presentó un suplemento de nutrientes y la reducción de la concentración del oxígeno disuelto, lo que se rela-

cionó con la composición de especies del perifiton, ya que en esta estación de muestreo se encontró menor diversidad y riqueza numérica de taxones y una mayor dominancia, ya que una especie, *Gomphonema subclavatum*, alcanza el 66,74% de la abundancia total en esta comunidad.

DISCUSIÓN

El periodo de estudio corresponde a la época de ascenso hidrológico, por lo que se encuentra una tendencia al aumento de las precipitaciones

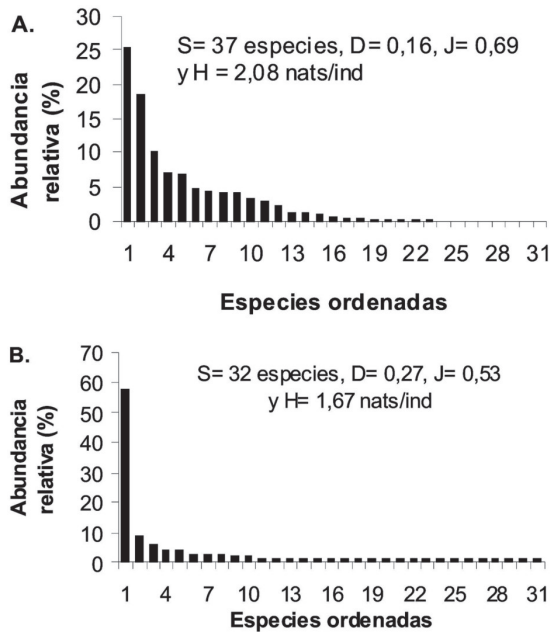


Figura 3. Comportamiento de las especies encontradas del ensamble ficoperifítico en la zona de rital del río Medellín, Alto de San Miguel, (Antioquia), Colombia, en las estaciones 1 (A) y 2 (B) [La numeración en el eje x corresponde a las especies encontradas ficoperifíticas principales en **Estación 1**: 1. *Achnantheidium minutissimum*; 2. *Achnantheidium lanceolatum*; 3. *Achnanthes inflata*; 4. *Frustulia vulgaris*; 5. *Luticula mutica*; 6. *Eunotia bilunaris*; 7. *Navicula subrhynchocephala*; 8. *Nitzschia palea*; 9. *Cymbella mesiana*; 10. *Gomphonema subclavatum*; en **Estación 2**, predominando: 1. *Gomphonema subclavatum*; 2. *Achnantheidium minutissimum*; 3. *Achnantheidium lanceolatum*; 4. *Achnanthes inflata*; 5. *Nitzschia palea*; 6. *Navicula cuspidata*; 7. *Frustulia krammeri*; 8. *Luticula mutica*; 9. *Navicula subrhynchocephala*; 10. *Tabellaria fenestrata*; 11. *Cymbella mesiana*]

pluviales con el avance del tiempo. Pese a esto, la mayoría de los atributos evaluados no presentaron correlación significativa con el caudal, lo que puede deberse a diferencias locales en la textura de los suelos y su capacidad de retención de agua, al tipo y estado de la cobertura vegetal y la pendiente del terreno, además que se presenta diferencia de escala entre los caudales evaluados (instantáneos) y los datos tomados, lo que implica pérdida de las microvariaciones de esta variable.

Se encontraron diferencias entre los caudales de las dos estaciones las cuales están determinadas

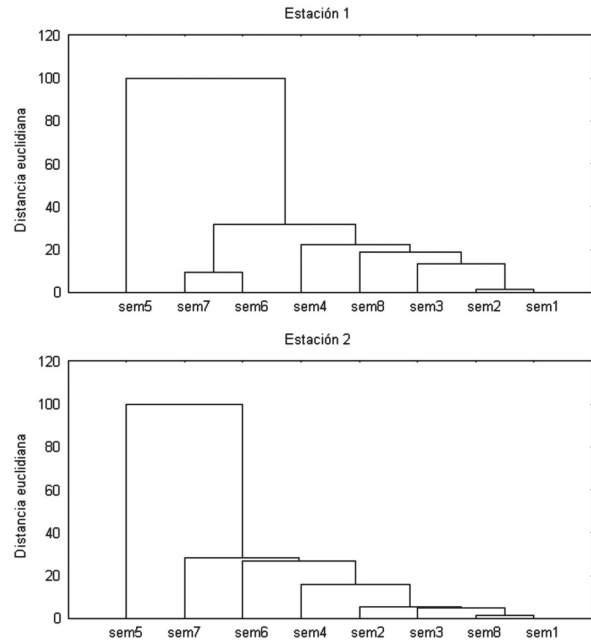


Figura 4. Análisis de agrupamiento de las fechas y las estaciones de muestreo empleando el índice de similitud de Bray-Curtis y ligamiento completo para las densidades de la comunidad de diatomeas perifíticas encontradas (sem = semana) en la zona de rital del Río Medellín, Alto de San Miguel (Antioquia), Colombia

por los afluentes que el río recibe antes de la estación 2, los cuales son debidos a la infiltración de las aguas y su escorrentía, lo que implica unas condiciones hidráulicas diferentes y por lo tanto, variaciones en la composición y estructura de la flora diatomológica. Otro efecto de este aporte de agua, es la variación en las condiciones del caudal. Varios autores recalcan la influencia que tiene la velocidad de la corriente sobre la productividad algal, las tasas de acumulación y la estructura de la comunidad (Horner y Welch, 1981; Traaen y Lindstrom, 1983; Wetzel, 2001). No obstante, la variabilidad alta registrada para esta variable puede indicar procesos de lavado hidráulico y/o a la exposición temporal de los sustratos al aire, lo que genera la desaparición de las colonias algales (Hernández-Atilano et al., 2005). Adicionalmente, el primer fenómeno genera la deriva de esta agrupación, de lo cual no tenemos conocimiento se haya estudiado en el trópico, o al menos en

Colombia, la cual afecta la estructura de las agrupaciones y su capacidad de colonizar nuevos ambientes, por lo que sería interesante en futuros estudios el evaluar la capacidad de deriva de esta agrupación perifítica.

La concentración de **FSR** es alta y supera los valores registrados por otros investigadores en la misma zona (Jaramillo, 1997). La principal fuente del **FSR** es el material arrastrado por las lluvias y la erosión, lo cual varía con la naturaleza geoquímica del terreno y con el estado de conservación de la cuenca (Roldán, 1992). A pesar de poseer el 74 % del área de la cuenca del río Medellín cubierta con vegetación, al presentarse las lluvias la capacidad de infiltración de estos suelos se satura rápidamente, lo que trae consigo un aumento considerable de los caudales, lo que puede incrementar los valores del **FSR** por arrastre, además del aporte del flujo basal de la cuenca y de los procesos de desecación que ocurrieron (obs. personal). En consecuencia, la geología, la topografía y los usos del suelo son

actores relevantes a gran escala en la ecología de las diatomeas (Potapova y Donald, 2002). Se presentaron diferencias entre las estaciones de muestreo, lo que demuestra la influencia de las pequeñas variaciones de las condiciones morfológicas y/o la llegada de aguas de los tributarios con concentraciones de nutrientes diferentes, ya que no hubo correlación significativa entre el caudal y la concentración de **FSR**, lo que puede deberse a que son variables que integran rangos temporales diferentes, ya que los valores de caudal son instantáneos, mientras que los datos del **FSR** integran procesos históricos. Díaz y Rivera (2004) investigaron las diatomeas en 20 pequeños ríos andinos encontrando que el fósforo, el nitrógeno, el pH y la conductividad eléctrica fueron las variables que controlaban estas poblaciones.

Otra posible fuente de incremento del **FSR** pudo ser el material de fijación de los aparatos muestreadores, ya que el costal (malla plástica) pudo actuar como una barrera física y como un filtro, permitiendo la acumulación de materiales, los cuales pudieron permanecer disponibles más tiempo permitiendo su mineralización y su incorporación en las cadenas alimenticias perifíticas.

El valor medio que presentaron los silicatos fue mayor que el encontrado en otras investigaciones (Jaramillo, 1997), lo cual podría ser un efecto del aporte de los suelos al agua debido a la disloción, ya que más del 60% de las rocas de la corteza terrestre están compuestas por sílice (SiO₂), el cual también es indicador de erosión (Roldán, 1992). Los valores de sílice fueron dos veces mayores a los tradicionalmente encontrados en la zona (Jaramillo, 1997), por lo que tampoco se encontraron diferencias entre las estaciones de colecta, favoreciendo a la agrupación de diatomeas, la cual predominó ampliamente durante todos los muestreos en ambas estaciones, alcanzando poblaciones de cerca de 600 millones de individuos por centímetro cuadrado.

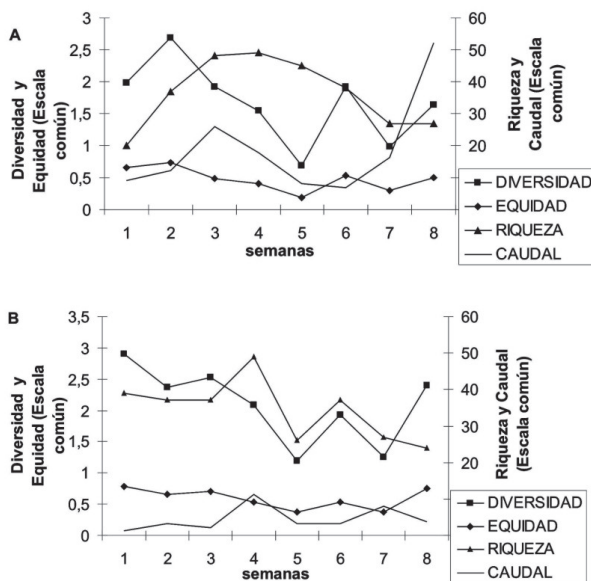


Figura 5. Variación de la diversidad, equidad, riqueza numérica de especies encontradas y caudal en las estaciones 1 (A) y 2 (B) en la zona de ritral del Río Medellín, Alto de San Miguel (Antioquia), Colombia

Las variables físicas y químicas no presentaron fluctuaciones importantes en el tiempo, excepto el caudal, ya que el estudio se llevó a cabo bajo unas condiciones muy particulares de alta radiación solar, baja precipitación, incremento en las fases de desecación, ya que coincidió con la fase positiva del fenómeno de El Niño.

Las dos estaciones presentaron caudales muy diferentes lo que implica un arrastre diferencial de sedimentos, variación en la capacidad de dilución y en la dinámica del río, además que el caudal es una variable que se relaciona directamente con el tamaño, fijación, crecimiento y la estabilidad física de la agrupación de diatomeas (Allan, 1995). La estación 1 presentó un caudal 4 veces menor que la estación 2, lo cual implica que los organismos de la agrupación ficoperifítica están sometidos a condiciones de flujo diferenciales, lo que finalmente repercutió sobre su estructura. La especie *G. subclavatum* var. *mexicanun* presentó una abundancia del 66,74% en la estación 2 y en la estación 1 presentó un valor casi diez veces inferior (6,84%), lo que implicaría que esta diatomea se desarrolla mejor bajo condiciones de menor caudal. Las especies que se encontraron durante todo el proceso de colonización, se caracterizan porque presentan secreciones mucilaginosas, tamaños pequeños, rápida multiplicación y un bajo valor de la razón superficie/volumen, por lo que se consideran estrategias r (Reynolds, 1984).

En las comunidades de diatomeas ficoperifíticas estudiadas, la diversidad depende principalmente de la equidad, ya que las especies dominantes se presentan en menor proporción con respecto a las especies raras, las cuales presentan una gran cola en la distribución de taxones encontrados durante el proceso de colonización. El flujo de nitrógeno en forma amoniacal fue 4,7 veces mayor en la estación 2 que en la 1, siendo esta variable la única que presentó correlación con la riqueza numérica (N_0). Traaen y Lindstrom (1983) afirmaron que la distribución del perifiton depende de la velocidad de la corriente y es modificada por

otros factores ecológicos, tales como el sustrato, la concentración de nutrientes, la luz y las variaciones del flujo.

En términos generales, se puede dividir el comportamiento sucesional de la comunidad de diatomeas perifíticas en una etapa inicial, en la que ocurre una rápida colonización, alcanzándose la máxima diversidad entre la segunda y tercera semana de colonización y la máxima riqueza en la cuarta semana de este proceso. Luego, los procesos de interacción entre las especies se hacen más fuertes (aumentando la competencia), ya que el espacio comienza a ser un factor limitante, sumado a otras variaciones, como el aumento en las precipitaciones, lo que conlleva a la disminución de la diversidad, la equidad y la riqueza de especies a partir de la cuarta semana de exposición de los sustratos.

No se presentaron diferencias significativas en la composición de diatomeas entre las dos estaciones, pero si en su abundancia relativa, la cual se asoció al efecto combinado de las oscilaciones en el caudal y en los nutrientes, especialmente en el nitrógeno amoniacal. Para mejorar este tipo de investigaciones se debería tener un estudio diario de los caudales.

La pluviosidad fue la única variable que a nivel temporal presentó diferencias, pero no se correlacionó con el caudal, debido a los aportes asociados a la infiltración del agua que se presentan en la estación 2, los cuales favorecen el incremento de nutrientes y del caudal, a su vez generando una reducción de la concentración de oxígeno disuelto. Estas condiciones estimularon la dominancia alta de *G. subclavatum* var. *mexicanun* quien incremento su abundancia nueve veces respecto a la estación 1.

El caudal, el **FSR** y el nitrógeno amoniacal fueron las variables que presentaron variación estadística significativa entre estaciones de muestreo, pero solo el nitrógeno presentó correlación con la riqueza numérica de diatomeas, ya que esta

forma es fácilmente asimilada por los organismos perifíticos.

Al comparar los resultados encontrados en esta investigación con los datos de Díaz y Rivera (2004) quienes trabajaron en pequeños ríos andinos, se puede afirmar que la riqueza numérica encontrada es alta, ya que ellos registraron 96 especies para un total de 20 ríos evaluados y en esta investigación se registran 37 en un solo río, tomando dos estaciones de muestreo.

Entre las estaciones se presentaron esquemas de colonización diferentes asociados a las fluctuaciones del caudal. El incremento del caudal generó una reducción drástica de la diversidad y la equidad de la comunidad. Algunas investigaciones han reportado diferentes relaciones entre el caudal y la asociación de algas colonizadoras (Ghost y Jaur, 1998; Potapova y Donald, 2002), incluso se ha encontrado diferentes patrones de asociación de acuerdo a los microhabitats del río.

CONCLUSIONES

Las especies de diatomeas dominantes son indicadores de ambientes limpios, poco mineralizados y sometidos a fases de desecación. El caudal, el FSR y el nitrógeno amoniacal fueron las variables que presentaron variación estadística significativa, pero solo el nitrógeno presentó correlación con la riqueza numérica de diatomeas, ya que se deben realizar investigaciones que evalúen la influencia de las microvariaciones de las variables ambientales, físicas y químicas sobre la estructura de las asociaciones de diatomeas perifíticas. La fluctuación del caudal presentó una correlación inversa con la diversidad.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos al Instituto Mí Río por su apoyo económico para la realización de la presente investigación y a los aportes realizados por un grupo de evaluadores anónimos que revisaron este manuscrito.

REFERENCIAS

- Allan JD.** 1995. *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Chapman y Hall. University of Michigan. E. U. A.
- Botero G.** 1963. Contribución al conocimiento de la zona central de Antioquia. *Anales de la Facultad de Minas*, 57:36-75.
- Collins G, Weber C.** 1978. Phycoperiphyton (algae) as indicators of water quality. *Transactions American Microscopic Society*, 97(1):30-43.
- Díaz C, Rivera C.** 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2):381-394.
- Espinal S.** 1964. Formaciones vegetales de Antioquia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*, 24:60-67.
- Ghost M, Jaur JP.** 1998. Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquatic Botany*, 60:1-10.
- Hentschel E.** 1916. Biologische untersuchungen uber ten tierichn und pslanzlishen bewuchs im hamburger hasan. *Zoologisches Museum Bolletin*, 33:1-172.
- Hernández-Atilano E, Aguirre NJ, Palacio JA.** 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.
- Horner RR, Welch EB.** 1981. Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*, 38:449-457.
- Instituto Mí Río.** 1996. *Perfil ambiental del río Medellín*. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Instituto Mí Río.** 1992. *Monografía del río Medellín*. Convenio EPM-Instituto MÍ RÍO. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Jaramillo JC.** 1997. *Variaciones mensuales de factores climáticos, físicos, químicos y biológicos durante un año, en el tramo alto de la cuenca del río Medellín (alto de San Miguel)*. Convenio Instituto MÍ RÍO-Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Krammer K, Lange-Bertalot H.** 1988. 2/2 Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Vol 2. *En: Ettl H, Gerloff J, Heyning H, Mollenhauer D (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Alemania.
- Krammer K, Lange-Bertalot H.** 1991. 2/3 Bacillariophyceae. 2. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Vol 3. *En: Ettl H, Gerloff J, Heyning H, Mollenhauer D (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Alemania.
- Krammer K, Lange-Bertalot H.** 2007. *Iconografía diatomológica: Tropical diatoms of South America*. A. R. G. Ganter Verlag K. C. Königstein, Alemania.

- Lobo EA, Buselato C.** 1985. Tempo de exposicao de um substrato artificial para o estabelecimento da comunidade do perifiton no curso inferior do rio Cai, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rickia*, 12:35-51.
- Lobo EA, Callegaro VL, Bender EP.** 2002. *Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da água em rios e arroios da região hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil.* Edunisc. Brasil.
- Mackereth SJ, Heron J, Talling JF.** 1978. *Water analysis; some revised methods for limnologist.* Freshwater Biological Association. Titus Wilson and Sons Ltda. Kendall. London.
- Martínez EL, Donato JC.** 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*, 25(1):337-354.
- Moro SR.** 1998. *Interpretacoes peloecológicas do quaternário a través da análise de diatomáceas (Bacillariophyta) nos sedimentos da lagoa dourada, Ponta Grossa, Pr.* Tesis de doctorado, Universidade Estadual Paulista. Brasil.
- Otten JH, Willemsse TM.** 1988. First steps to periphyton. *Archives Fur Hydrobiologie*, 112(2):177-195.
- Patrick R, Reimer WC.** 1966. *The diatoms of the United States.* Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. Philadelphia, E. U. A.
- Patrick R, Reimer WC.** 1975. *The diatoms of the United States.* Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. Philadelphia, E. U. A.
- Pielou EC.** 1975. *Mathematical ecology.* Wiley. New York, E. U. A.
- Potapova MG, Donald FC.** 2002. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography*, 29:133-146.
- Plata Y, Donato JC, Gavilán R.** 2000. *Diatomeas y gradientes tróficos en ríos de bajo orden en Santander.* Resúmenes del V Seminario Colombiano de Limnología, Leticia, Colombia.
- Reynolds CS.** 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton.* Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Roldán G.** 1992. *Fundamentos de limnología neotropical.* Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Ross J.** 1979. *Prácticas de ecología.* Omega. Barcelona, España.
- Shannon CE, Weaver W.** 1949. *The mathematical theory of communication.* University of Illinois Press. Urbana, E. U. A.
- Simpson EH.** 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163:688-693.
- Sládeckova A, Sládecék V.** 1977. Periphyton as indicator of the reservoir water quality II. Pseudo-periphyton. *Archives Fur Hydrobiologie*, 63:202-237.
- Traaen TS, Lindstrom EA.** 1983. Influence of current velocity on periphyton distribution. Pp.97-99. 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.
- Urrego AP, Ramírez JJ.** 2000. Cambios diurnos de variables físicas y químicas en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Caldasia*, 22(1):127-141.
- Wetzel RG.** 1983. Recommendations for future research on periphyton. Pp. 339-346. 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.
- Wetzel RG.** 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems.* 3ª ed. Academic Press. San Diego, E. U. A.
- Wetzel RG, Likens E.** 1991. *Limnological analyses.* Springer-Verlag. New York, E. U. A.