



GRANDES TAXONES DE FITOBENTOS Y SU RELACIÓN CON LA HIDROLOGÍA, FÍSICA Y QUÍMICA DE PEQUEÑOS RÍOS ANDINOS

Carlos Alberto Rivera-Rondón¹, Catherina Díaz-Quirós¹

*Unidad de Ecología y Sistemática. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Pontificia
Universidad Javeriana, Carrera 7ª No. 43-82, Bogotá, D.C.
crivera@javeriana.edu.co, catherinadiaz@hotmail.com*

RESUMEN

En 16 puntos de muestreo, ubicados en 14 ríos de la cuenca media y alta del río Bogotá (2.617 - 2.988 m) se realizaron dos muestreos durante el año 2002 para analizar algunas variables físicas, químicas, hidrológicas y la comunidad de fitobentos a nivel de clases. Mediante un Análisis de Componentes Principales se encontró que los ríos responden a un gradiente dado por el área de la cuenca y un gradiente de mineralización. Los ríos estudiados son de orden 1 a 4, de carácter ácido y presentan caudales inferiores a los $3.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Los valores de nitrógeno total y fósforo total no superan los 7 mg l^{-1} y 1.4 mg l^{-1} , respectivamente. En el fitobentos se encontró que las diatomeas son el grupo dominante seguidas de las cianofíceas y las clorofíceas. Los gradientes encontrados determinan los grupos de fitobentos dominantes y codominantes en cada uno de los ríos.

Palabras clave: fitobentos, ríos de montaña, análisis de componentes principales. Río Bogotá

ABSTRACT

In 16 sampling points, which were located in 14 streams of the middle and high basin of the Bogotá River (2.617 - 2.988 m), we analyzed some physical, chemical and hydrological variables and the benthic algae community (taxonomic classes). By means of Principal Component Analysis, we concluded that the rivers respond to a basin area gradient and mineralization gradient. The streams are of the acidic order 1-4, and their flow rates are lower than $3.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. The total nitrogen and total phosphorus concentrations are lower than 7 mg l^{-1} and 1.4 mg l^{-1} , respectively. The benthic community is dominated by diatoms, cyanobacteria and green algae. The basin area and mineralization gradients determine the dominant and co-dominant benthic algae class per stream.

Key words: benthic algae, mountain streams, principal components analysis. Bogotá Stream.

INTRODUCCIÓN

Los ríos colombianos de montaña constituyen una pieza importante de los recursos hídricos del país y son la fuente principal de alimentación de lagos, humedales, embalses y zonas agrícolas. Transcurren sobre zonas relativamente extensas, arrastran consigo sedimentos de la cuenca, recogen vertimientos

de aguas residuales de alcantarillado, agricultura e industria. Estas condiciones crean sistemas altamente heterogéneos cuya química del agua varía en intervalos cortos de tiempo.

Caracterizar la dinámica de las condiciones ambientales en los ríos andinos, requiere el desarrollo de varios indicadores bióticos y abióticos. En este sentido, las

algas bénticas han sido utilizadas exitosamente como indicadores biológicos del ambiente al responder rápidamente al cambio en las condiciones químicas del agua (Pan *et al.*, 1996, Snyder *et al.*, 2002).

El término algas bénticas o fitobentos, se refiere al conjunto de algas que vive sobre el fondo o que están asociadas a cualquier tipo de sustrato e incluye tanto las micro como las macroalgas (Stevenson, 1996). La abundancia y composición del fitobentos está regulada por factores hidrológicos, físicos y químicos (Hynes, 1970); la importancia relativa de cada uno de estos factores ha sido pobremente estudiada en sistemas acuáticos colombianos.

Existe un especial interés en realizar algún tipo de inferencia de las condiciones físicas y químicas del río a partir de la composición y abundancia del fitobentos. Las aproximaciones basadas en la abundancia o biovolumen relativo a nivel de especies son las más utilizadas debido a que permiten relacionar las especies con rangos ambientales más concretos (Stevenson y Pan, 1999). No obstante, una aproximación a una menor escala taxonómica puede ser muy útil para tener una rápida idea de las condiciones físicas y químicas de un río.

El objetivo de este trabajo fue estudiar algunos aspectos físicos, químicos e hidrológicos de pequeños ríos de la cuenca media y alta del río Bogotá y relacionar la dominancia relativa de grandes grupos del fitobentos con las condiciones del ambiente acuático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogieron 16 puntos de muestreo ubicados en 14 ríos de la cuenca media y alta del río Bogotá. El río Bogotá nace a 3.400 m en el Alto de Calavera (páramo de Guachaneque municipio de Villapinzón al nororiente de Cundinamarca) y desemboca en el río Magdalena. La parte alta de la cuenca se localiza

desde su nacimiento hasta la ciudad de Bogotá, la cuenca media corresponde al perímetro urbano de Bogotá.

Los ríos se escogieron tomando como criterio caudales inferiores a los $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, la accesibilidad y áreas con baja y mediana influencia antrópica (utilizando como indicador la cercanía a cabeceras municipales y el tamaño de los municipios).

La ubicación geográfica y principales características de los ríos se presentan en la tabla 1. Los ríos escogidos se ubican de 2.617 a 2.990 m, de $4^{\circ}28'$ a $5^{\circ}14'$ N y de $73^{\circ}34'$ W a $74^{\circ}8'$ W. Todos los ríos presentaron un lecho rocoso con clastos entre 2.5 y 50 cm. El ancho de los ríos osciló entre 0.8 y 15.3 m (tabla 1). En los sitios de muestreo, el río Siecha es de orden 4, mientras los ríos Subachoque, Teusacá, Tunjuelito y Aves son de orden 3. Los ríos restantes son de orden 1 ó 2.

De los 14 ríos escogidos dos fueron muestreados en dos puntos debido a que sus condiciones químicas cambian rápidamente durante su recorrido. El río Subachoque fue muestreado antes del municipio de Subachoque y a la altura del municipio de La Pradera (SubachoqueLP). El río Bogotá fue muestreado antes de Villapinzón (BogotáAV) y entre Villapinzón y Chocontá (BogotáACH).

La región donde se encuentran los ríos bajo estudio, se caracteriza por presentar valores de precipitación menores a 1000 mm año^{-1} (IGAC, 2000). Los patrones de precipitación muestran una tendencia bimodal con lluvias entre abril-mayo y octubre-noviembre.

Para aumentar el gradiente químico en el análisis, se realizaron dos muestreos en cada río. El primer muestreo se realizó entre el 1-15 de mayo de 2002 y el segundo se realizó entre el 25 de septiembre y el 7 de octubre de 2002. Los muestreos se realizaron aproximadamente en los períodos transición sequía-lluvia y lluvia-sequía con el fin de evitar condiciones hidrológicas extremas.

TABLA 1. Principales características físicas e hidrológicas de los ríos estudiados en la cuenca alta y media del río Bogotá. La profundidad, el ancho y el caudal corresponden a los valores promedio. Ksm: areniscas cuarzosas, lodolitas silíceas, lutitas y shales. Bancos de calizas. Qal: Depósitos aluviales, lacustres y glaciales. KPgt: Arcillitas y limonitas con mantos de carbón, localmente areniscas y niveles ferruginosos. Qtz: Terrazas aluviales (Fuente datos geológicos: CAR 2001).

Río	Altura (m)	Latitud Norte	Longitud oeste	Caudal (m ³ s ⁻¹)	Área cuenca (km ²)	Geología cuenca
Andes	2617	4°50'9.6"	74°23'16.2"	0.24	31.3	Ksm-Qtz
Aves	2641	4°52'41.4"	73°50'58.1"	0.82	92.6	Qal
Bogotá AV	2804	5°14'10.9"	73°34'48.8"	0.58	97.8	Qal
Cubillos	2990	5°9'2.5"	73°58'56.9"	1.45	180.8	Ksm
Bogotá ACH	2689	5°10'31.9"	73°38'21.4"	0.94	212.5	Qal
Frío	2715	4°55'17.5"	74°3'58"	1.84	164	Qal
Neusa	2681	5°6'32"	73°58'8.3"	0.63	163.1	Qal-KPgt
Q. La Vieja	2850	4°38'45"	74°0.2'57"	0.03	4.1	Qtz
Q. Las Delicias	2730	4°38'16.4"	74°3'11"	0.02	3.6	Qtz
Q. Quincha	2751	5°12'49.5"	73°35'53.9"	0.36	22.9	Qal
San Francisco	2700	4°38'	74°3'	0.27	17.9	Qtz-Ksm
Siecha	2621	4°53'51.4"	73°52'35.9"	2.06	148.4	Qal-Kpgt
Subachoque	2712	4°59'32.6"	74°8'10.9"	0.84	60.7	Kpgt
SubachoqueLP	2727	5°00'9.6"	74°07'56.2"	0.60	51.7	Qal-Kpgt
Teusacá	2798	4°40'56"	73°59'39.4"	0.45	51.8	Kpgt
Tunjuelito	2732	4°28'29.6"	74°7'44.1"	1.80	229.6	Qal

Para estudiar la comunidad de fitobentos, en cada uno de los ríos se seleccionaron seis puntos ubicados en un tramo de 10 a 50 m y en cada uno de ellos se removió la película de algas en cuatro rocas mediante un tubo muestreador de polietileno con un área de 3.14 cm². En total se hizo un muestreo de 24 rocas por río (75 cm²) siguiendo las recomendaciones de Pan *et al.*, (1996) y Porter *et al.*, (1993). Las muestras fueron preservadas con formol al 1% (American Public Health Association 1998).

En campo se cuantificó el pH mediante un potenciómetro SCHOTT, el oxígeno (O₂) con un oxímetro ORION, el dióxido de carbono (CO₂) con un titulador mecánico HACH, la conductividad y la temperatura

con un conductímetro OAKTON. Adicionalmente se tomó una muestra de un litro de agua para analizar turbidez, amonio (NH₃), nitratos (NO₃), ortofosfatos (PO₄), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y sílice (SiO₂). Los análisis fueron realizados de acuerdo con las normas y métodos sugeridos por American Public Health Association (1998).

Para medir la velocidad se utilizó un flotador en superficie. El caudal se calculó con la fórmula propuesta por Gore (1996) y con un coeficiente de corrección de la velocidad de 0.85.

El fitobentos se cuantificó en microscopio óptico a 400X hasta alcanzar por lo menos 400 células del grupo más abundante. Los

datos fueron cuantificados a nivel de grandes taxones (clases) de acuerdo con la clasificación de Sze (1993) y analizados como abundancia relativa. Las desmicias fueron separadas de la clase Chlorophyceae debido a su distinta autoecología. Los morfotipos fueron organizados en grandes taxones utilizando las claves de Bourelly (1966, 1968, 1970) y Parra *et al.*, (1982a, 1982b, 1982c, 1982d, 1983a, 1983b).

Se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para establecer patrones físicos, químicos e hidrológicos en los ríos estudiados. El ACP es un modelo que asume una respuesta lineal de variables cuantificadas con respecto a los gradientes ambientales latentes (Jongman *et al.*, 1995). Las variables estudiadas, a excepción del pH fueron transformadas (Log x+1) y ajustadas a desviación estándar. Para explorar relaciones entre las variables ambientales

y los grandes grupos de fitobentos se utilizaron correlaciones lineales simples (correlación de Pearson), previa normalización de los datos.

RESULTADOS

Generalidades hidrológicas, físicas y químicas de pequeños ríos andinos

La mayor parte de las variables estudiadas presenta una alta variabilidad con un coeficiente de variación entre 9 y 226% (tabla 2). El caudal presentó un promedio de 0.81 m³ s⁻¹ y osciló entre 0.002 y 3.68 m³ s⁻¹. Durante el primer período los valores máximos y mínimos se registraron en el río Frío y la quebrada La Vieja con valores de 3.286 m³ s⁻¹ y 0.013 m³ s⁻¹, respectivamente. Los ríos Frío, Cubillos, Siecha y Tunjuelito presentaron una variación del caudal entre los dos períodos igual o mayor a 1.16 m³ s⁻¹.

TABLA 2. Variables ambientales cuantificadas en 16 ríos de la cuenca media y alta del río Bogotá

	Promedio	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variación %
Velocidad (m s ⁻¹)	0.54	0.093	1.11	48
Caudal (m ³ s ⁻¹)	0.81	0.002	3.27	102
pH	5.89	4.20	6.94	11
Conductividad (mS cm ⁻¹)	82.3	11.6	554	149
CO ₂ (mg l ⁻¹)	2.8	0.2	12.9	86
Temperatura (°C)	14.9	12.3	18.1	9
O ₂ (mg l ⁻¹)	6.8	2.5	9.2	24
O ₂ (% saturación)	93	34	126	23
Turbidez NTU	9.9	1.7	86.0	152
NO ₃ (mg l ⁻¹)	0.42	0.05	4.0	181
NH ₄ (mg l ⁻¹)	0.5	0.04	5.7	226
PO ₄ (mg l ⁻¹)	0.26	0.11	0.98	66
NT (mg l ⁻¹)	0.70	0.025	7.0	185
PT (mg l ⁻¹)	0.36	0.05	1.4	104
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	6.2	3.5	9.0	20
NT:PT (mol a mol)	13.2	0.19	154	221

El pH varió de 4.2 a 6.9, indicando que los ríos durante los dos períodos mantuvieron su carácter ácido. La conductividad presentó un promedio de $82 \mu\text{S cm}^{-1}$. El valor máximo se registró en el río Bogotá (antes de Chocontá) durante el primer muestreo ($554 \mu\text{S cm}^{-1}$) y el valor mínimo fue $11.6 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la quebrada Las Delicias (primer muestreo). La turbidez presentó los valores más altos en el río Tunjuelito (33 UNT en mayo y 86 UNT en septiembre).

El promedio de O_2 fue de 6.8 mg l^{-1} y la saturación de O_2 osciló entre 34-126% con un promedio de 93%. El valor más alto de O_2 se registró en el río Aves (9.2 mg l^{-1}), con un porcentaje de saturación de 124 y 126% para el primer y segundo muestreo, respectivamente. Los valores más bajos se registraron en el río Bogotá durante el primer muestreo (2.5 mg l^{-1} , 34% saturación) y en la quebrada Las Delicias en el segundo muestreo (2.7 mg l^{-1} , 36% saturación). El CO_2 presentó un promedio de 2.8 mg l^{-1} . Los valores máximos se registraron durante el primer muestreo en el río Bogotá 8.5 mg l^{-1} y en el segundo muestreo en el río Andes 12.9 mg l^{-1} .

El PT osciló de 0.36 a 1.4 mg l^{-1} (Coef. Var.=104%) y el PO_4 de 0.26 a 0.98 mg l^{-1} (Coef. Var. = 66%). Los valores más altos PT y PO_4 se presentaron en el río San Francisco. El NT osciló de 0.7 a 7 mg l^{-1} (Coef. Var.=185%) y el NH_3 de 0.04 a 5.7 mg l^{-1} (Coef. Var.=185%). Los valores más altos de NT y NH_3 se presentaron en el río Bogotá antes de Chocontá.

La relación NT:PT presentó un promedio de 13.2 y fue altamente variable (Coef. Var.=221%). La mediana de la relación fue 1.6, sugiriendo una tendencia a una fuerte limitación por nitrógeno. La relación NT:PT fue mayor de 16:1 sólo durante el primer muestreo y únicamente en 7 ríos: Aves (25.8), Bogotá antes de Chocontá (154.9) y antes de Villapinzón (42.2), Cubillos

(24.9), Neusa (25.3), Quincha (46.2) y Siecha (44.2).

Mediante el ACP se ordenó física, química e hidrológicamente los ríos. Los tres primeros ejes del ACP explican el 80% de la variabilidad de los datos (figura 1). El primer eje (49%), se relaciona con el área de la cuenca ($r^2=0.89$), el pH ($r^2=0.69$), el caudal ($r^2=0.68$), la conductividad ($r^2=0.66$) y la turbidez ($r^2=0.58$). El segundo eje (21%), se asocia con la conductividad ($r^2=0.70$), el NH_3 ($r^2=0.68$), el O_2 ($r^2=0.64$) y el CO_2 ($r^2=0.45$). Dos gradientes son visibles en el ACP: El primer eje representa principalmente el aumento en el área de drenaje de los ríos. El segundo eje representa el grado de mineralización de los ríos y su carga de nitrógeno.

Los ríos Bogotá (antes de Chocontá), Teusacá y Andes (segundo muestreo) presentan valores altos de amonio y conductividad que se relacionan con el segundo eje del ACP. Los ríos más pequeños como La Vieja, Las Delicias y el río Bogotá antes de Villapinzón presentan una baja mineralización (figura 1).

Los ríos Tunjuelito, Cubillos y Siecha, se relacionan con el primer eje del ACP y se caracterizan por presentar valores altos de caudal y turbidez. Los restantes ríos, para las diferentes variables presentan valores cercanos a la media.

Fitobentos de pequeños ríos andinos

El fitobentos estuvo conformado por algas pertenecientes a los grupos diatomeas, cianofíceas, clorofíceas, desmidiás y euglenofíceas. La abundancia relativa de los diferentes grupos fue semejante entre los dos períodos estudiados. Las diatomeas (52.4%) y las cianofíceas (29%) fueron los grupos dominantes (tabla 3).

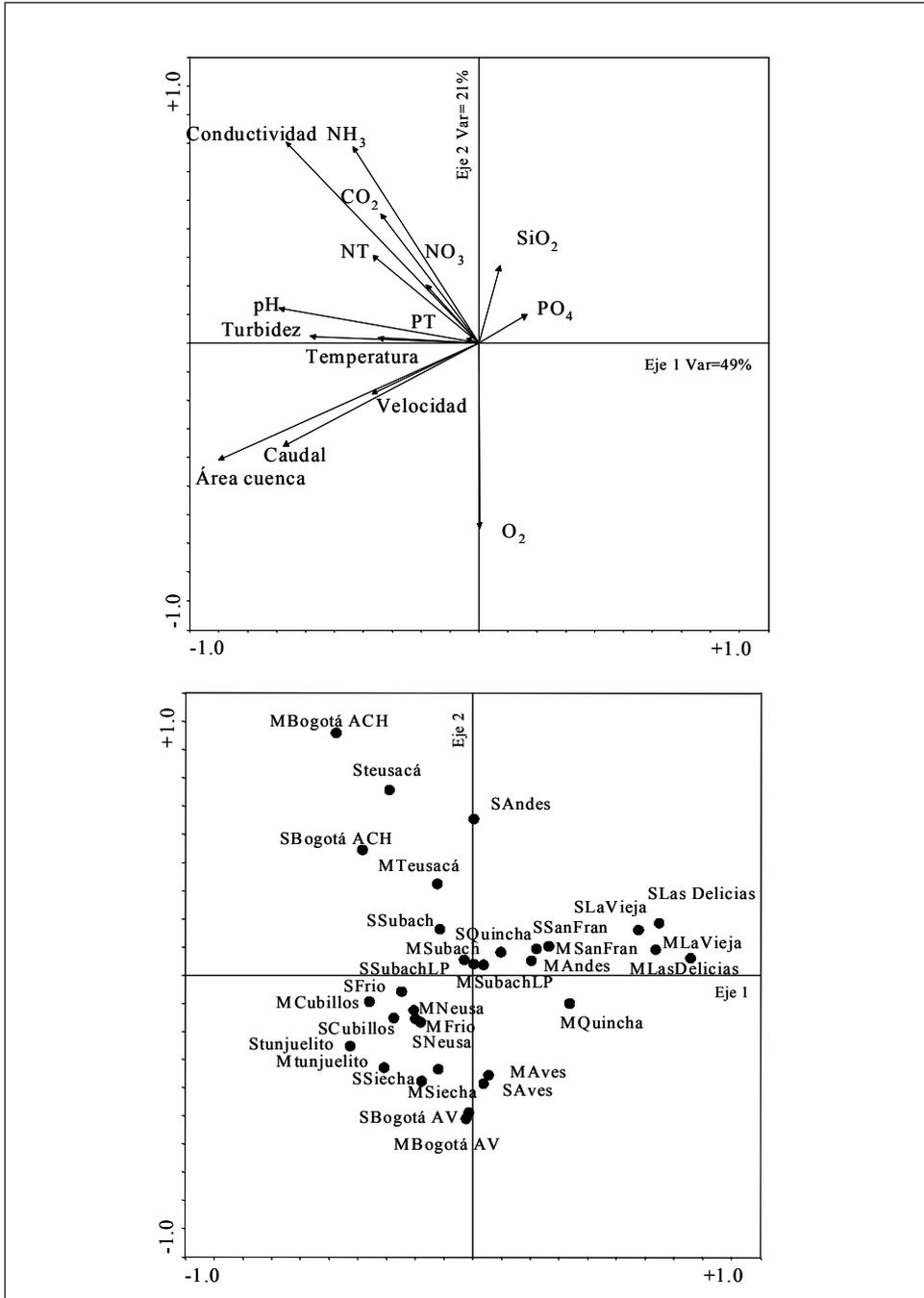


Figura 1. Gráfico obtenido para las variables ambientales (cuadro superior) y para las muestras (cuadro inferior) a partir del ACP. Con M se representan los muestreos de mayo y con S los muestreos de septiembre - octubre.

TABLA 3. Dominancia relativa de los principales grupos de fitobentos encontrados en 16 ríos de la cuenca media y alta del río Bogotá

Taxón	Mayo %	Septiembre %	Total %
Cianofíceas	37.7	20.1	29.0
Clorofíceas	15.2	16.6	15.9
Desmidiás	1.20	3.9	2.6
Diatomeas	45.9	59.2	52.4
Euglenofíceas	0.02	0.11	0.06

El valor máximo de abundancia relativa alcanzado por las cianofíceas fue de 98.4% en el río Subachoque (primer muestreo); el valor más bajo (0.13%) se presentó en el río Teusacá durante el segundo muestreo. Las clorofíceas presentaron un máximo de dominancia del 90.4% en la quebrada La Vieja en el segundo muestreo y durante todo el estudio no fueron registradas en 6 ríos. Las diatomeas presentaron un máximo del 98% en el río Frío durante el segundo muestreo y un valor mínimo de 1.6% en el río SubachoqueLP durante el primer muestreo (figuras 2 y 3).

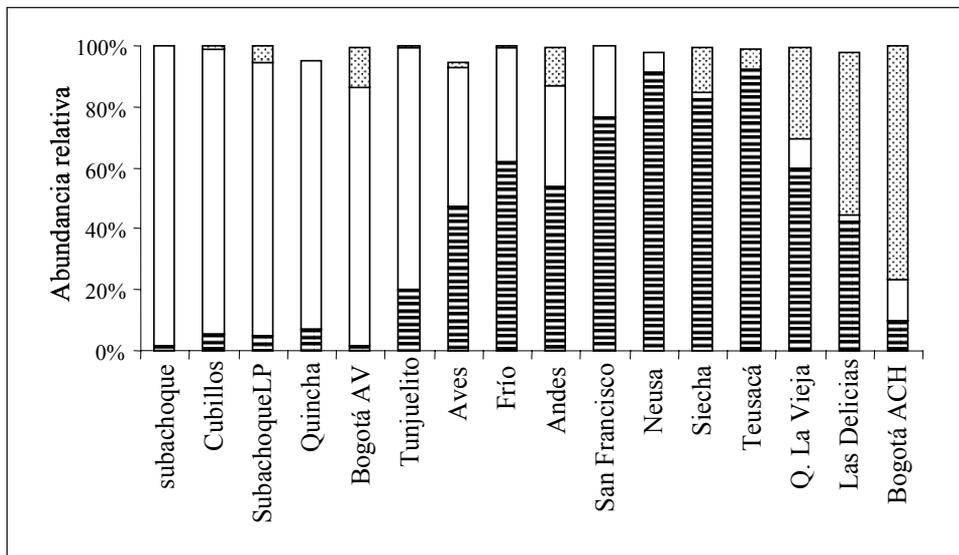


Figura 2. Abundancia relativa de los principales grupos de fitobentos encontrados durante mayo de 2002. El área con líneas horizontales representa a las diatomeas, el área en blanco a las cianofíceas y el área punteada a las clorofíceas.

Las desmidiás y las euglenofíceas presentan una mayor representación durante el segundo muestreo en los ríos Bogotá (antes de Villapinzón) y Cubillos. Durante el primer muestreo las desmidiás presentaron valores inferiores al 6% y durante el segun-

do muestreo alcanzaron un 18%. Las euglenofíceas siempre presentaron valores inferiores a 2%. Estos dos grupos presentaron entre sí una correlación significativa ($r=0.36$, $p=0.04$, $n=32$).

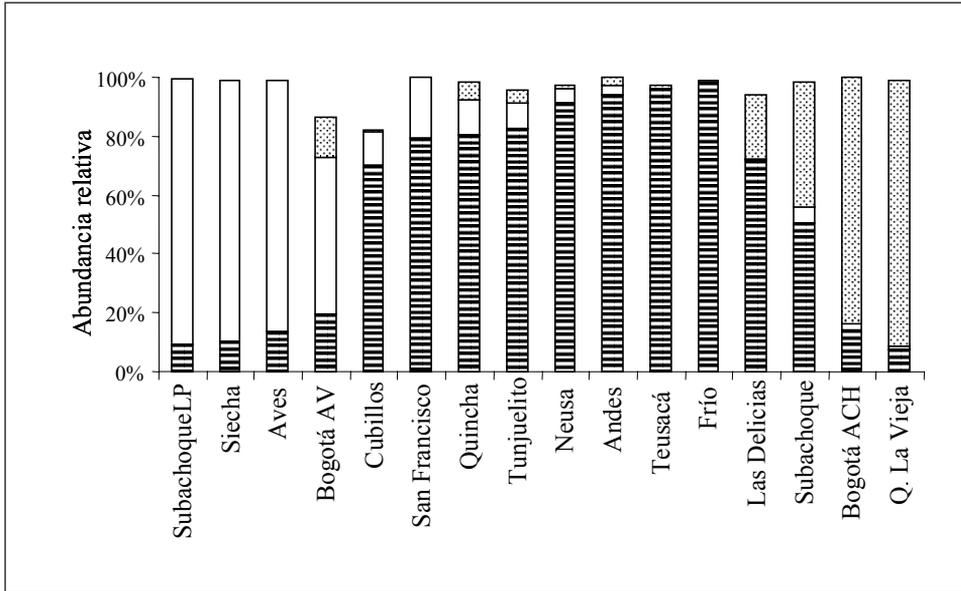


Figura 3. Abundancia relativa de los principales grupos de fitobentos encontrados durante septiembre-octubre de 2002. El área con líneas horizontales representa a las diatomeas, el área en blanco a las cianofíceas y el área punteada a las clorofíceas.

La mayor parte de los ríos estudiados mantuvieron el grupo de algas dominantes durante los dos muestreos. Únicamente los ríos Aves, Siecha, Quincha y Subachoque presentan un cambio sobresaliente en el grupo dominante. Para estos ríos el cambio ocurrido fue de cianofíceas a clorofíceas o viceversa. Durante el mes de mayo las cianofíceas y diatomeas son dominantes en el mismo número de ríos (7), en el segundo muestreo se presentó una tendencia a mayor dominancia de las diatomeas (10 ríos).

A partir de la abundancia relativa tres tipos de ríos pueden ser identificados: ríos dominados por cianofíceas, ríos dominados por diatomeas y ríos dominados por clorofíceas y diatomeas (figuras 2 y 3). Los ríos dominados por cianofíceas presentaron principalmente a las diatomeas como codominantes al igual que los ríos dominados por clorofíceas. Existe una clara ten-

dencia de exclusión entre clorofíceas y cianofíceas ($r=-0.48$, $p=0.006$, $n=32$) que se mantiene durante los dos muestreos. Las cianofíceas se correlacionaron positivamente con las diatomeas ($r=0.70$, $p<0.001$, $n=32$), indicando una tendencia de dominancia y codominancia entre estos dos grupos. Este patrón fue más evidente durante el muestreo de mayo ($r=0.79$, $p<0.001$, $n=16$) que durante el muestreo de septiembre ($r=0.58$, $p=0.02$, $n=16$).

Las cianofíceas y desmidias se relacionaron significativamente con la hidrología y química de los ríos, mientras las clorofíceas sólo se relacionaron con las condiciones químicas (tabla 4). Las diatomeas únicamente presentaron una relación significativa con la relación NT:PT en el muestreo de septiembre - octubre ($r= -0.5$, $p=0.048$, $n=16$).

TABLA 4. Correlaciones de Pearson significativas entre los grupos algales y las condiciones físicas, químicas e hidrológicas de los ríos estudiados (n=32)

Grupo algal	Variable	Coef. Correlación	P - valor
Cianofíceas	Velocidad	0.38	0.03
	Caudal	0.40	0.02
	O ₂	0.38	0.03
Clorofíceas	O ₂	-0.43	0.01
	NH ₃	0.41	0.03
Desmidias	Velocidad	-0.43	0.01
	NO ₃	-0.38	0.03
	PO ₄	-0.42	0.02

DISCUSIÓN

Los ríos de la cuenca media y alta del río Bogotá presentan una alta variabilidad hidrológica, física y química, pero con una tendencia a bajo contenido de nutrientes y baja mineralización. Esto es acorde con lo encontrado en otros ríos de montaña en la cordillera Oriental (Martínez, 2000; Plata, *et al.*, 2002) y está relacionado con el área pequeña de sus cuencas y con la dominancia litológica de rocas pobres en sales (CAR, 2000). El gradiente de mineralización está dado por un gradiente de contaminación que es relativamente independiente del área de la cuenca y que está determinado por los ríos que transcurren sobre áreas urbanas o agrícolas (Bogotá antes de Chocontá, Teusacá, Andes).

El NT, y el pH están asociados al gradiente de mineralización de los ríos. La relación del pH con la influencia de la agricultura y el urbanismo ha sido frecuentemente encontrada y permite utilizar a esta variable como un indicador de la contaminación (Munn *et al.*, 2002, Pan *et al.*, 1996). El NT está más asociado a un aumento en la carga orgánica y a la contaminación por aguas servidas de los municipios ubicados en las cuencas de algunos ríos. Así por ejemplo, el río Bogotá después de Villapinzón pre-

senta una alta carga de N debido al impacto de las curtiembres y a las aguas negras del municipio.

El río Andes durante el mes de septiembre presentó una alta conductividad y una alta concentración de N como producto de una drástica disminución en su caudal (0.38 a 0.01 m³ s⁻¹) y de recorrer una zona con uso ganadero (IGAC, 2000).

Los valores más altos de PT y PO₄ que se presentan en el río San Francisco se explican principalmente por los suelos de la cuenca. El río San Francisco recorre suelos de las consociaciones Typic Eutrodepts y Humic Dystrudepts (IGAC, 2000), caracterizados por presentar una alta concentración de fósforo en horizontes superficiales. Las características químicas del suelo sumadas a la pendiente de la cuenca, permiten el drenaje de aguas enriquecidas.

Los ríos estudiados son sistemas de bajo caudal y baja velocidad. Sus cuencas pequeñas sugieren que son ríos dominados por una dinámica de pulso súbito de caudal y que las comunidades de fitobentos se estructuran de acuerdo con la intensidad, frecuencia y severidad del pulso. Aunque este aspecto no fue cuantificado en el trabajo, la dominancia de las diatomeas en

muchos ríos indica la prevalencia de ríos regidos por esta dinámica. Las diatomeas están más adaptadas a ambientes hidrológicamente fluctuantes por su alta capacidad de colonización y adherencia a sustratos inertes (Peterson, 1996). El aumento en importancia de las diatomeas durante septiembre-octubre podría estar relacionado con condiciones hidrológicamente más inestables durante este muestreo.

La dominancia de las cianofíceas sobre las clorofíceas puede estar relacionada con una mayor cantidad de ríos limitados por nitrógeno. Sin embargo, los ríos con mayor limitación no siempre presentaron como dominante a las cianofíceas. Las correlaciones significativas encontradas en este estudio entre las cianofíceas y la velocidad de la corriente y el caudal, sugieren una compleja interacción entre las variables químicas e hidrológicas, que permiten la dominancia de las cianofíceas en ríos de mayor caudal e hidrológicamente más estables, en donde se pueden alcanzar estados avanzados de la sucesión algal.

En este estudio, las clorofíceas se relacionaron significativamente con el NH_3 e inversamente con el O_2 , indicando una posible relación con el gradiente de mineralización. Las clorofíceas son fuertemente dependientes de una alta disponibilidad de nutrientes en el agua (Borchardt, 1996) y han sido relacionados principalmente con el P, por lo que la relación encontrada con el NH_3 debe ser explorada con mayor profundidad en otros trabajos.

La aparente exclusión entre clorofíceas y cianofíceas está relacionada con el crecimiento colonial y filamentoso de ambos grupos. Cuando las condiciones son más favorables para alguno de estos grupos, ocurre un rápido desplazamiento entre ellos con la consecuente tendencia a que se desarrollen comunidades dominadas y

codominadas por diatomeas-cianofíceas, cianofíceas, clorofíceas-diatomeas o clorofíceas. En todos los casos las diatomeas son favorecidas debido a que la organización tridimensional de la película de algas filamentosas permite más espacios para su desarrollo (Lowe y Laliberti, 1996).

La baja, pero significativa correlación encontrada en este trabajo entre las desmicias y la velocidad de la corriente, NO_3 y PO_4 , indica su relación con aguas de baja mineralización (Esteves, 1998). La falta de relación de las desmicias con el pH y CO_2 obedece a que algunos ríos de mayor caudal como el río Bogotá, están sometidos a fuentes de contaminación y presentan valores bajos de pH y altos de CO_2 .

CONCLUSIONES

A pesar de que los ríos estudiados presentan una baja mineralización y un bajo caudal, muestran un gradiente dado por el área de drenaje y un gradiente de mineralización que determina la estructura de las comunidades de fitobentos a nivel de clases. La interacción entre la hidrología y la química de los ríos determina cuatro comunidades distintas en donde las diatomeas son dominantes y la asociación entre clorofíceas y cianofíceas es generalmente ausente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Facultad de Ciencias y la Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana por la financiación (No. 1047). A la Coordinación de Mantenimiento de Equipos y Transporte de la Universidad Javeriana y a Vladimir Páez por la colaboración en campo. A Edilma Guevara por el apoyo brindado durante la fase de laboratorio. A Ángela Zapata y César Valdés por sus sugerencias al documento. A un evaluador anónimo por sus oportunas recomendaciones.

LITERATURA CITADA

- ALLAN, J. 1995. *Stream Ecology*. Chapman & Hall. London, 388 págs.
- American Public Health Association 1998. Standard methods for examination of water and sewage and wastewater. New York, 1.500 págs.
- BOURRELLY, P. 1966. *Les algues d'eau douce. I. Les algues vertes*, N. Baubée & Cie, Paris, 569 págs.
- BOURRELLY, P. 1968. *Les algues d'eau douce. II. Les algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Pheophycées, Xanthophycées et Diatomées*, N. Baubée & Cie, Paris, 437 págs.
- BOURRELLY, P. 1970. *Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines*, N. Baubée & Cie, Paris, 603 págs.
- BORCHARDT, M.A. 1996. Nutrients. In Stevenson, R.J.; Bothwell, M.L. and Lowe, R.L. (Ed) *Algal Ecology*. Freshwater benthics ecosystems Academic Press, INC. San Diego, California, 184-218.
- CAR. 2001. *Geología*. Atlas ambiental. Ed. CAR. Bogotá, Colombia, 16-19
- COX, E.J. 1996. *Identification of Freshwater Diatoms from Live Material*. Chapman & Hall. London, 124 págs.
- DESCY, J.P. & MICHA, J.C. 1988. Use of biological indices of water quality. *Statistical Journal of the United Nations*. 5: 249-261.
- ESTEVES, F. 1998. *Fundamentos de limnología*. Editora Interciencia. Rio de Janeiro-Brasil. 602 págs.
- GORE, J. 1996. Discharge measurement and stream flow analysis. In *Methods in stream ecology*. HAUER, R. & LAMBERTI, G. (Eds.) Academic Press. London, UK, 53-74.
- HYNES, H.B. 1970. *The ecology of running waters*. Liverpool University Press. Liverpool, Gran Bretaña, 555 págs.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi 2000. *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*, tomo II. IGAC, Subdirección de Agrología. Bogotá D.C. Colombia, 450 págs.
- JONGMAN, R.H.; BRAAK, C.J. and VAN TONGEREN, O.F. 1995. *Data Analysis in Community And Landscape Ecology*. Cambridge University Press. USA, 299 págs.
- LOWE, R.L. & LALIBERTE, G.D. 1996. Benthic stream algae distribution and structure, págs. 269-294. In HAUDER, F.R. & LAMBERTI, G.A. (eds.). *Methods in stream ecology*. Academic Press. San Diego, California.
- MARTÍNEZ, L.F. 2000. *Factores que influyen en la colonización de algas en un río tropical de alta montaña*. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- MUNN, M.D.; BLACK, R.W. & GRUBER, S.J. 2002. Response of benthic algae to environmental gradients in an agriculturally dominated landscape. *Journal of the North American Benthological Society*, 21(2) 221-237.
- PAN, Y.; STEVENSON, R.J.; HILL, B.H.; HERLIHY, A.T. & COLLINS, G.B. 1996. Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems a regional assessment. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(4): 481-495.
- PARRA, O.; GONZÁLEZ, M.; DELLAROSSA, V.; RIVERA, P. & ORELLANA, M. 1982a. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae*. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 70 págs.

- PARRA, O.; GONZÁLEZ, M.; DELLAROSSA, V.; RIVERA, P. & ORELLANA, M. 1982b. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. II. Chrysophyceae-Xanthophyceae*. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 82 págs.
- PARRA, O.; GONZÁLEZ, M.; DELLAROSSA, V.; RIVERA, P. & ORELLANA, M. 1982c. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. III. Cryptophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae*. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 99 págs.
- PARRA, O.; GONZÁLEZ, M.; DELLAROSSA, V.; RIVERA, P. & ORELLANA, M. 1982d. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. IV. Bacillariophyceae*. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 97 págs.
- PARRA, O.; GONZÁLEZ, M. & DELLAROSSA 1983a. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. V. Chlorophyceae*. Parte I. Volvocales. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 151 págs.
- PARRA, O.; GONZÁLEZ, M. y DELLAROSSA 1983b. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. V. Chlorophyceae*. Parte II. Zygnematales. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 353 págs.
- PETERSON, C.G. 1996. Response of benthic algal communities to natural physical disturbance. In STEVENSON, R.J.; BOTHWELL, M.L. & LOWE, R.L. (Eds.) *Algal Ecology. Freshwater benthic ecosystems*. Academic press, INC. San Diego, California, 375-403.
- PLATA, Y.; DONATO, J.CH. y GAVILÁN, R.A. 2002. Diatomeas y gradientes tróficos en ríos de bajo orden (Santander, Colombia). En *Resúmenes Reunión de Limnología Neotropical*. Asociación Colombia de Limnología. Plancton, 14.
- PORTER, S.D.; CUFFNEY, T.D.; GURTZ M.E. & MEADOR, M.R. 1993. *Methods for collecting algal samples as part the national water-quality assessment program*. www.water.usgs.gov/nawqa/protocols/OFR-93-409/algp1.htm
- SABATER, S.; SABATER, F. & ARMENGOL, J. 1988. *Relationships between Diatom Assemblages and Physico-chemical Variables in the River Ter (NE Spain)*. Int. Revue ges. Hydrobiol. 73(2): 171-179.
- SNYDER, E.B.; ROBINSON, C.T.; MINSHALL, G.W. & RUSHFORTH, S.R. 2002. *Regional patterns in periphyton accrual and diatom assemblage structure in a heterogeneous nutrient landscape*. Can J Fish Aquat Sci, 59: 564-577.
- STEVENSON, R.J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. En: STEVENSON, R.J., BOTHWELL, M.L. & LOWE, R.L. (Eds.) *Algal Ecology. Freshwater benthic ecosystems*. Academic press, INC. San Diego, California, 1-30.
- STEVENSON, R.J. & PAN, Y. 1999. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. In STOERMER, E.F. y SMOL, J.P. (Eds.) *The diatoms: applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press.
- SZE, P. 1993. *A biology of the algae*. Segunda edición. Wm. C. Brown Publishers. Dubuque, USA, 259 págs.

<p>Recibido: 16-06-03 Aceptado: 18-08-04</p>
--