

**DIATOMEAS PERIFÍTICAS EN DIFERENTES TRAMOS DE DOS
SISTEMAS LÓTICOS DE ALTA MONTAÑA (PÁRAMO DE
SANTURBÁN, N. DE SANTANDER) Y SU RELACIÓN CON LAS
VARIABLES AMBIENTALES**

ANGÉLICA MARÍA RAMÍREZ CABALLERO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
BUCARAMANGA
2007**

**DIATOMEAS PERIFÍTICAS EN DIFERENTES TRAMOS DE DOS
SISTEMAS LÓTICOS DE ALTA MONTAÑA (PÁRAMO DE
SANTURBÁN, N. DE SANTANDER) Y SU RELACIÓN CON LAS
VARIABLES AMBIENTALES**

ANGÉLICA MARÍA RAMÍREZ CABALLERO

**Trabajo de Investigación presentado como requisito parcial para optar al título de
Bióloga**

**Directora:
Yasmín Plata Díaz
Bióloga**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
BUCARAMANGA
2007**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. METODOLOGÍA	5
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
3.1.1 Nacimiento	5
3.1.2 Zona media	6
3.1.3 Zona de Río	6
3.2 FASE DE CAMPO 6	6
3.3 FASE DE LABORATORIO	7
3.4 FASE DE ANÁLISIS	7

4.	RESULTADOS	9
4.1	VARIACIÓN FÍSICA, QUÍMICA E HIDROLÓGICA	9
4.2	VARIABLES BIOLÓGICAS	10
4.3	ESTRUCTURA DEL ENSAMBLAJE	11
4.4	INTERACCIÓN ESPECIE-AMBIENTE	12
5.	DISCUSIÓN	13
5.1	COMPORTAMIENTO FÍSICO, QUÍMICO E HIDROLÓGICO DE LOS DOS SISTEMAS ESTUDIADOS	13
5.2	DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA DEL ENSAMBLAJE EN LOS DIFERENTES TRAMOS	14
5.3	VARIACIÓN ESTACIONAL DEL ENSAMBLAJE DE DIATOMEAS	17
6.	CONCLUSIONES	18
7.	AGRADECIMIENTOS	19
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

LEYENDAS DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Análisis de Nutrientes en los tramos de muestreo tomado en el último período de sequía (marzo).	27
Tabla 2.	Lista taxonómica, abundancia relativa promedio (media \pm d.S) y porcentaje de frecuencia de las especies más abundantes (AB: abreviatura del nombre de la especie)	28

LEYENDAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Análisis de Componentes Principales (ACP): Relación de las variables físicas, químicas e hidrológicas con los dos primeros ejes del ACP y proyección de los tramos de muestreo en dos ejes planos (Los números al final de cada sigla corresponden a los cuatro muestreos realizados).	29
Figura 2. Distribución de la Abundancia Relativa de las especies en los cuatro muestreos (La abreviatura de los nombres de las especies corresponde al registro de la Tabla 2).	30
Figura 3. Gráfica (biplot) obtenida a partir del Análisis de Ordenación del ensamblaje (DCA): a) biplot de los puntos de muestreo; b) biplot para las especies.	31
Figura 4. Porcentaje de abundancia relativa de algunas especies comunes y su relación con la conductividad a) <i>N. tantula</i> ; b) <i>S. seminulum</i> y <i>Navicula</i> aff. <i>recens</i> ; c) <i>A. minutissimum</i> y <i>A. lanceolatha</i> ; y el pH. d) <i>E. bilunaris</i> y <i>E. muscicola</i>	32

RESUMEN

TITULO:

DIATOMEAS PERIFÍTICAS EN DIFERENTES TRAMOS DE DOS SISTEMAS LÓTICOS DE ALTA MONTAÑA (PÁRAMO DE SANTURBÁN, N. DE SANTANDER) Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES *

AUTOR:

Angélica María Ramírez Caballero **

Palabras claves:

Diatomeas, perifiton, Páramo, nacimientos

DESCRIPCIÓN

En dos sistemas lóticos del páramo de Santurbán, durante lluvia y sequía, se seleccionaron tres tramos de muestreo: nacimiento, zona media y río, evaluando en cada tramo la influencia de las variables ambientales en la estructura del ensamblaje de diatomeas perifíticas. Un Análisis de Componentes Principales evaluó la variación ambiental y mediante una matriz de correlaciones se estableció la importancia de los factores ambientales en las especies registradas.

La salinidad, la conductividad el potencial redox, el pH. y el caudal fueron factores determinantes de la variación ambiental y de las diferencias en la estructura del ensamblaje; el género *Eunotia* es tolerante a pH ácido, y la polución orgánica favoreció el desarrollo de los géneros *Nitzschia* y *Navícula*. Seis especies reportaron una abundancia significativa: *Navícula tantula*, *Achnantheidium minutissimum*, *Achnantheidium lanceolatum*, *Gomphonema parvulum*, *Navícula cryptocephala* y *Gomphonema lagenula*. Los tramos de los ríos presentaron valores altos de caudal, conductividad y salinidad, que influyeron en la baja diversidad de estas zonas. Los valores bajos de caudal y la ausencia de condiciones químicas extremas en las zonas medias explicaron la mayor diversidad y la similitud del ensamblaje entre estas zonas.

El ensamblaje no registró variación estacional significativa, presentando mayores diferencias entre los tramos que entre períodos de muestreo, indicando que las diatomeas perifíticas fueron afectadas principalmente por diferencias en el hábitat entre los tramos y enfatizando la importancia de las condiciones ambientales en los sistemas acuáticos tropicales de alta montaña sobre la estructura y composición de diatomeas.

* Trabajo de Investigación.

** Facultad de Ciencias, Programa de Biología, Directora: Yasmín Plata Díaz.

ABSTRACT

TITLE:

PERIFITIC DIATOMS IN DIFFERENT ZONES OF TWO LOTIC SYSTEMS IN HIGH MOUNTAIN (PÁRAMO DE SANTURBÁN, N. DE SANTANDER) AND THEIR RELATION WITH ENVIRONMENTALS VARIABLES.*

AUTHORS:

Angélica María Ramírez Caballero **

Key Words:

Diatoms, perifiton, streams, Páramo.

DESCRIPTION

Three sample zones: the headwater zone, the mid flow zone and the stream zone were selected in two lotic system of the Santurbán Paramo, during the rainy and the wet season. In each zone the influence of physical, chemical and hydrological variables on the structure of the benthic diatom assemblage were assessed. A component principal analysis evaluated the environmental variation. A correlation matrix established the importance of the environmental factors in the registered species. Salinity, conductivity, red-ox potential, pH, and flow, were determinants factors on the environmental variation and on the assemblage structure differences between the zones. Acidity allowed the high occurrence of *Eunotia* species, and organic pollution allowed the abundance of *Nitzschia* and *Navicula* species. Six species were significantly abundant: *Navicula tantula*, *Achnanthydium minutissimum*, *Achnanthydium lanceolatum*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptocephala* y *Gomphonema lagenula*. The streams zones registered high values of flow, conductivity and salinity, which were related with their lower diversity. Low flow and little stress condition on the mid flow zones were correlated with the highest values of diversity and with the similarity found on the dominant species between this zones in the two systems. The assemblage did not registered seasonal variation; dissimilarity of diatom assemblages was larger among samples from different sites, compared to samples of different periods, indicating that benthic diatom assemblages in the Santurbán Paramo were mainly affected by habitat differences between zones. Ours results highlight the importance of environmental factors in the composition and abundance of benthic diatoms in tropical aquatic systems.

* Investigation

** Faculty of Sciences, Program of Biology, Director: Yasmín Plata Díaz.

INTRODUCCIÓN

Las Diatomeas (Bacillariophyta) constituyen un grupo taxonómico representativo dentro de la comunidad perifítica, principalmente debido a la facilidad que este grupo de algas tiene para formar colonias y adherirse al sustrato (Cox, 1996; Peterson, 1996).

Los ecosistemas lóticos, en los cuales se desarrolla este ensamblaje presentan un movimiento constante de agua con características hidrológicas, químicas y biológicas determinadas por el clima, la geología y la vegetación de la cuenca (Payne, 1986; Allan, 1995), registrando desde las cabeceras hasta las regiones bajas un gradiente de condiciones que incluye ancho del cauce, profundidad, velocidad, volumen de flujo, temperatura y entropía. Según el Concepto de Río Continuo (Vannote *et al.*, 1980) de manera análoga a estas características, la estructura y función de las comunidades se desarrolla ajustándose para un uso eficiente de la energía del sistema; de acuerdo con este modelo, las comunidades perifítica y briofita estarán encargadas de la productividad en las cabeceras de los ríos, las macrófitas ocuparán las regiones medias, y en los grandes ríos pueden desarrollarse también las comunidades fitoplanctónicas (Allan, 1995).

Con base en esta hipótesis se han realizado estudios para determinar el grado de influencia de las condiciones del medio en la estructura de las comunidades en los sistemas lóticos.

Para las diatomeas se ha reportado una amplia heterogeneidad espacial y temporal, representada en variaciones en la composición, biomasa y productividad del ensamblaje respondiendo a factores ambientales como corriente, (Mosisch y Bunn, 1997; Ghosh y Gaur, 1998; Francoeur y Biggs, 2006) luz, (Hill, 1996; Tuji, 2000) temperatura, (DeNicola, 1996) tipo de sustrato, (Townsend y Gell, 2005) concentración de nutrientes, (Reavie y Smol, 1998; Rott *et al.*, 1998; Rosemond *et al.*, 2000) conductividad

(Potapova y Charles, 2003) y pH. (Kwandras, 1993; Battarbee *et al.*, 1997, Hirst *et al.*, 2004). Por otra parte los estudios multifactoriales han puesto en evidencia la complejidad en las interacciones que se presentan entre las diatomeas y su ambiente (Pan *et al.*, 1999; Sabater, 2000; Potapova y Charles, 2002, 2003; Leira y Sabater, 2005).

En Colombia, aunque existen trabajos en ríos enfocados en las algas bénticas (Martínez y Donato, 2003; Díaz y Rivera, 2004; Rivera y Díaz, 2004; Zapata y Donato, 2005; Sala *et al.*, en prensa; Plata *et al.*, observaciones no publicadas) nada se conoce sobre la estructura de las diatomeas en nacimientos de agua en la zona de vida paramuna, y teniendo en cuenta que la mayoría de estudios y generalizaciones se han realizado para regiones templadas, aún falta más profundización en el estudio de los factores influyentes en la estructura del perifiton en ríos tropicales.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la variación espacio-temporal en la estructura del ensamblaje de diatomeas perifíticas, y la influencia de las variables ambientales en diferentes tramos de dos sistemas lóticos del Páramo de Santurbán (N. de Santander)

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.2.1 Evaluar la variación física, química e hidrológica en diferentes tramos de dos sistemas lóticos del Páramo de Santurbán (N. de Santander).
- 1.2.2 Establecer las diferencias espaciales y temporales en la estructura del ensamblaje de diatomeas perifíticas en dos sistemas lóticos del Páramo de Santurbán (N. de Santander).
- 1.2.3 Determinar las variables ambientales influyentes en la estructura del ensamblaje de diatomeas perifíticas en los tramos evaluados.

2. JUSTIFICACIÓN

La información suministrada en la presente investigación, permitirá ampliar el conocimiento sobre la diversidad de la diatomoflora en ríos de montaña tropical, así como conocer las características ambientales de los sistemas acuáticos estudiados, conformando una línea base para el desarrollo de estudios posteriores de bioindicación de sistemas lóticos de alta montaña en Colombia.

3. METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El páramo es una zona importante en la regulación hídrica de Colombia y presenta una variación climática anual marcada (Sturm y Mora-Osejo, 1995). El páramo de Santurbán se ubica en el departamento de Norte de Santander, en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental Andina entre los 3 000 y los 4 000 msnm (Rangel, 2000). Presenta un régimen pluviométrico unimodal, con un período de precipitación máxima de abril a noviembre y un período de menor precipitación de diciembre a marzo (IDEAM, 2005, 2006). En esta zona se encuentran gran cantidad de nacimientos de agua y vertientes que alimentan los ríos de la región nororiental de Colombia.

Los sistemas estudiados corresponden a dos sistemas lóticos de primer orden (Sistema A y B en adelante). Los tramos de muestreo de 20 m cada uno, se seleccionaron a lo largo de 500 m aproximadamente, desde la naciente de cada sistema hasta la llegada a los ríos La Plata y La Venta respectivamente, ubicándolos en tres zonas que se establecieron teniendo en cuenta diferencias en caudal y profundidad.

3.1.1 Nacimiento: corresponde a los tramos superiores de cada sistema, es la zona donde brota el agua y se forman pozetas con poca profundidad y poco caudal. El tramo 1 del sistema A (T1a) se ubica a 7°15'43"N, 72°46'29"W y el tramo 1 del sistema B (T1b) a 7°15'50"N, 72°45'45"W.

3.1.2 Zona media: hay un flujo constante de agua y no se presentan pozetas, corresponde a los tramos 2a (T2a) a 7°15'56"N, 72°46'69"W y 2b (T2b) a 7°15'50"N, 72°45'37"W respectivamente.

3.1.3 Zona de Río: zona donde el nacimiento desemboca en el río; presenta caudal y profundidad considerable y corresponde a los tramos 3a (T3a) a 7°15'51"N, 72°46'35"W y 3b (T3b) a 7°15'50"N, 72°45'37"W.

Un análisis descriptivo de los nutrientes en los diferentes tramos fue realizado en el último muestreo y se presenta en el Tabla 1.

3.2 FASE DE CAMPO

Se realizaron 4 muestreos, distribuidos en épocas de lluvias (octubre y noviembre de 2005, precipitación: 134 y 194 mms respectivamente) y sequía (enero y marzo de 2006, precipitación: 17 y 19 mms respectivamente).

En cada tramo se tomó una muestra de cada uno de los sustratos disponibles (rocas, sedimento y material vegetal) (Barbour et al., 1999). Cada muestra se depositó en un frasco y se fijó con solución Lugol (1%) (APHA, 1998).

El registro de las variables físicas y químicas in situ (oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura ambiente, temperatura del agua, pH, conductividad, salinidad, porcentaje de salinidad y potencial redox) se realizó con una sonda portátil (Eijkelkamp).

Para cuantificar la velocidad superficial de la corriente y el caudal se siguió el método del flotador (Wetzel, 2001).

3.3 FASE DE LABORATORIO

Se tomó una alícuota de 15 ml de cada muestra para realizar una muestra integrada de los tres sustratos para cada tramo; la limpieza del material se realizó mediante el método de oxidación en peróxido (CEN/TC 230, 2002) y se realizaron preparados fijos en Naphrax®.

Este material se depositó en la Colección Limnológica del Laboratorio de Limnología de la Universidad Industrial de Santander (UIS-ML: 1228-1273; UIS-PF: 119-141).

Para el análisis cuantitativo se realizó un conteo de valvas por especie hasta lograr una eficiencia de conteo del 95% (Bate y Newall 1998). El material se determinó siguiendo las claves de Kramer (1982, 1992), Kramer & Lange-Bertalot (1986, 1991a, 1991b), Lange-Bertalot (2001), Metzelin y Lange-Bertalot (1998), Rumrich et al. (2000) y el material de referencia con fotografías al MEB de la colección limnológica del Laboratorio de Limnología de la Universidad Industrial de Santander. El análisis taxonómico fue realizado siguiendo el criterio de clasificación de Round et al. (1990).

3.4 FASE DE ANÁLISIS

El análisis de datos incluyó desde la exploración descriptiva hasta un análisis de varianza (ANOVA) o Kruskal Wallis con prueba post hoc Tukey o Nemenyi, según el caso.

La importancia de las variables ambientales se evaluó mediante un análisis de componentes principales (ACP) (STATISTICA 6.0).

La descripción de la diversidad se realizó con los índices de Shannon-Wiener, Riqueza numérica, Equidad y Dominancia de Simpson (BioTools 0.1) Las diferencias en diversidad entre los transeptos y épocas de muestreo se evaluaron mediante un análisis de varianza y se empleó un Análisis de Ordenación (DCA) para evaluar los cambios espacio-temporales en la estructura del ensamblaje (PCORD 3.7).

Para evaluar la interacción entre las especies y las variables ambientales se realizaron gráficas de rango de distribución de especies en relación con las variables más significativas, así como una Matriz de Correlaciones.

4. RESULTADOS

4.1 VARIACIÓN FÍSICA, QUÍMICA E HIDROLÓGICA

Las variables físicas y químicas presentaron poca variación estacional, sin embargo, a nivel espacial, se encontraron diferencias significativas entre los tramos estudiados; el oxígeno registró valores bajos en los nacimientos y la zona media ($<7\text{mg/l}$), con diferencias significativas entre los tramos T3a y T1b ($p<0.01$).

En relación al pH, se encontraron valores neutros en la mayoría de los tramos, excepto en el tramo T1b donde se registraron valores ácidos (<6) y en T3b con valores medianamente básicos (≥ 8). El tramo del río del segundo sistema (T3b) presentó los valores más altos de conductividad ($275\mu\text{S cm}^{-1}$), salinidad (142 mg/l) y potencial redox (474 mV), alcanzando diferencias altamente significativas ($p<0.01$) en relación con los demás tramos, principalmente en la época de sequía. El caudal presentó cambios estacionales sólo en los tramos de los ríos (T3a y T3b $p<0.05$), alcanzando valores altos en lluvias; las nacientes y las zonas medias presentaron valores similares de caudal, registrando amplias diferencias con los tramos de los ríos ($p<0.01$).

Según el ACP realizado, los tres primeros ejes de ordenación explican el 80.6% de la variación y muestra que la salinidad, conductividad, potencial redox, caudal y velocidad superficial fueron factores determinantes en los patrones de variación ambiental (Fig. 1). El primer eje explica el 41.5% y está asociado con la salinidad ($r^2=0.90$), la conductividad ($r^2=0.88$) y el potencial redox ($r^2=0.80$); el segundo eje explica el 26.1% y se relaciona con la velocidad superficial ($r^2=-0.86$) y con el caudal ($r^2=-0.77$). De acuerdo con este análisis se establece que dentro del grupo de factores evaluados la

mayor variación se presenta en la química y física del sistema, seguida de la variación hidrológica. La distribución de los tramos de muestreo en el análisis muestra la importancia de T3a y T3b en la variación registrada; los puntos más alejados del eje Y para T3b corresponden a los muestreos de sequía en los que se registraron altos valores de conductividad, salinidad y potencial redox; la variación hidrológica en caudal y velocidad superficial está dada principalmente por el tramo T3a en el primer muestreo de lluvias. En general los tramos de los nacimientos (T1a, T1b) y las zonas medias (T2a, T2b) presentaron valores bajos de conductividad, salinidad, potencial redox y caudal.

4.2 VARIABLES BIOLÓGICAS

Se registraron un total de 157 especies distribuidas en 16 familias y 30 géneros. Los géneros más diversos fueron *Nitzschia* y *Eunotia* (25 y 24 especies respectivamente), con una mayor riqueza para *Eunotia* en T1b (20 especies) y para *Nitzschia* en T3b (18 especies). Otros géneros con alto número de especies fueron *Navicula* (20 especies) y *Gomphonema* (13 especies).

Solo seis especies presentaron abundancia cercana o superior al 5% en el total de las muestras, estas fueron *Navicula tantula* (Hust. 1934) (10.3 %), *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki 1994) (9.2 %), *Achnantheidium lanceolatum* ((Breb. ex Kutz.) Czarnecki 1987) (8.1 %), *Gomphonema parvulum* (Kützing 1849) (6.1 %), *Navicula cryptocephala* (Kützing 1844) (5.5 %), *Gomphonema lagenula* (Kützing 1844) (4.5 %). Las especies más frecuentes fueron *A. minutissimum* y *N. tantula* (24 muestras), *G. parvulum* y *N. cryptocephala* (23 muestras), *G. lagenula*, *Achnanthes subatomoides* ((Hust.) Bertalot y Arch. 1985) y *Encyonema minutum* (Hilse ex Rab.) Mann 1990) (19 muestras) (Tabla 2).

En todos los tramos y períodos de muestreo se observó una alta dominancia con poca variación estacional en las especies dominantes (Fig. 2). Para las zonas medias de los dos sistemas (T2a, T2b) se registraron tres especies dominantes comunes: *N. cryptocephala*, *G. parvulum* y *G. lagenula* mientras que los nacimientos (T1a, T1b) y los ríos (T3a, T3b) de los dos sistemas no reportaron especies dominantes comunes entre sí.

4.3 ESTRUCTURA DEL ENSAMBLAJE

Los valores más altos de diversidad y riqueza, se registraron en las zonas medias; los tramos T2a y T2b fueron los más diversos con un promedio de riqueza de 54 especies y con los valores de dominancia más bajos ($D=0.05$ a 0.17); mientras que los ríos registraron los valores más bajos de riqueza (T3a=30 especies y T3b=35 especies). La diversidad no presentó diferencias significativas entre los nacimientos, y las zonas medias de los dos sistemas ($p > 0.1$), pero sí entre los ríos ($p < 0.01$).

El ensamblaje no presentó cambios estacionales significativos, como puede verse en el análisis de ordenación (DCA), el cual agrupó los cuatro muestreos para cada tramo (Fig. 3a), evidenciando la similitud del ensamblaje de diatomeas durante los cuatro períodos muestreados. Los tramos del sistema B se distribuyeron separadamente en el espacio de ordenación a lo largo del eje 1, mientras que los tramos del sistema A se agruparon en el mismo cuadrante, presentándose una menor distancia entre los tres tramos (Fig. 3a). Las zonas medias de los dos sistemas (T2a, T2b) presentaron mayor similitud, agrupándose cerca en el espacio de ordenación, mientras que los tramos de los nacimientos (T1a, T12b) y los ríos (T3a, T3b) fueron más distantes entre sí.

La Fig. 3b muestra la agrupación por especies y registra un grupo formado por los géneros *Eunotia*, *Encyonema* y *Cymbella* del tramo T1b, así como un grupo formado por los géneros *Nitzschia* y *Navícula* del río T3b, y un grupo central que evidencia la similitud por especies compartidas entre los tres tramos del sistema A, y entre las zonas medias de los dos sistemas.

4.4 INTERACCIÓN ESPECIE-AMBIENTE

La salinidad y la conductividad se relacionaron positivamente con la abundancia de *N. tantula*, (Fig. 4a) *Sellaphora seminulun* ((Grunow) Mann 1989), *Navícula* aff. *recens* (Lange-Bertalot 1985) (Fig. 4b), *Navícula* sp1 ($r^2=0.5$, $p<0.01$), *A. subatomoides* ($r^2=0.5$, $p<0.01$) y con ocho especies del género *Nitzschia* como *Nitzschia* sp2 ($r^2=0.7$, $p<0.01$) y *Nitzschia* sp3 ($r^2=0.6$, $p<0.01$), mientras que *A. minutissimum*, *A. lanceolatum* (Fig. 4c), *G. parvulum* y *G. lagenula* presentaron un comportamiento inverso, registrando menor abundancia a valores altos de estas dos variables.

El pH. fue otro factor que se relacionó significativamente con la abundancia de varias especies, especialmente con especies del género *Eunotia* como *E. bilunaris* ((Ehr.) Mills 1934), *E. cf. muscicola* (Krasske 1939) (Fig. 4d) y *E. cf. tenella* ((Bréb.) Rabenhorst 1864) ($r^2=-0.72$, $p <0.01$); el mismo patrón se observó para *Stenopterobia krammeri* (Metzelin y Lange Bertalot) ($r^2=-0.60$, $p<0.01$) y *Navícula* sp2 ($r^2=-0.55$, $p<0.05$). En relación con el caudal, este presentó correlación significativa con la diversidad, la riqueza ($r^2=-0.5$, $p<0.05$) y la dominancia ($r^2= 0.5$, $p<0.01$), y en especial con la abundancia de *T. flocculosa* ($r^2= 0.9$, $p<0.01$), *A. minutissimum* ($r^2= 0.6$, $p<0.05$) y *G. parvulum* ($r^2= -0.5$, $p<0.05$).

5. DISCUSIÓN

5.1 COMPORTAMIENTO FÍSICO, QUÍMICO E HIDROLÓGICO DE LOS DOS SISTEMAS ESTUDIADOS

Los dos sistemas difieren en cuanto a las variables ambientales evaluadas: para el sistema A, el caudal fue el factor determinante de la variación, mientras que para el sistema B lo fue la variación física y química.

Los tramos T3a y T3b, fueron los principales responsables de las diferencias entre los dos sistemas, ya que los tramos T1a, T1b, T2a y T2b registraron un comportamiento similar (excepto por la acidez). Esta diferencia en el comportamiento de los dos ríos se da por el tipo de impacto que recibe cada uno de los sistemas, ya que T3a recorre un área de explotación agrícola a pequeña escala con algunos asentamientos humanos, mientras que T3b recibe descargas domésticas de un caserío cercano, condición que se refleja en los valores altos de conductividad, salinidad y potencial redox registrados en este tramo, principalmente en los períodos de sequía, como consecuencia de la concentración de iones y materiales dada la disminución del caudal en este período; un comportamiento similar para la conductividad en relación con la estacionalidad en ríos de alta montaña tropical se reportó por Martínez y Donato (2003) en el Río Tota.

El pH también fue una variable importante, registrando valores ácidos en T1b. Los valores ácidos de esta variable pueden asociarse con el alto contenido de materia orgánica procedente de la vegetación circundante, así como con las condiciones geológicas de la microcuenca, cuyo suelo lodoso permitiría la disolución de iones en el agua alterando de manera significativa su composición química.

5.2 DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA DEL ENSAMBLAJE EN LOS DIFERENTES TRAMOS

Los valores de diversidad de Shanon-Wiener fueron similares a los rangos reportados para otros ríos andinos (Martínez y Donato 2003, Díaz y Rivera 2004, Zapata y Donato 2005, Plata *et al.*, observaciones no publicadas), aunque el número de especies totales fue comparativamente alto, posiblemente como resultado del tipo de muestreo, y las diferencias de hábitat entre los tramos.

En las zonas medias, la diversidad y la riqueza fue superior a la encontrada en los ríos; varios estudios reportan una relación inversa entre el caudal y la corriente con la diversidad, densidad y biomasa de diatomeas (Lamb y Lowe, 1987; Mosisch y Bunn, 1997; Ghosh y Gaur, 1998; Ryder *et al.*, 2006) y se ha llegado a plantear que en regiones de caudal medio se presenta un mejor desarrollo del ensamblaje (Martínez y Donato, 2003; Díaz y Rivera, 2004).

La similitud en la composición de especies para las zonas medias, es un indicador de la importancia del caudal en la estructura del ensamblaje, ya que las tres especies codominantes: *G. parvulum*, *G. lagenula* y *N. cryptocephala* han reportado mayores abundancias en zonas de baja corriente, por su morfología y débil adherencia al substrato (Lamb y Lowe, 1987; Ghosh y Gaur, 1998). Esta semejanza así como los valores altos de diversidad y riqueza en estas zonas pueden ser un reflejo de la similitud en el hábitat y de la baja fluctuación de las variables físicas, químicas e hidrológicas.

Sin embargo otra posible explicación para este patrón podría estar relacionada con el efecto de la interacción biológica que se da con los herbívoros, debido a la eficiencia diferencial en el consumo de algas y a la importancia de la herbivoría en el mantenimiento de la diversidad y en el

control sobre las poblaciones (McCauley y Briand, 1979; Cuker, 1983), principalmente en ambientes moderados con bajo flujo (Mengue y Sutherland, 1987; Rosemond *et al.*, 2000). Un reflejo de esto se observa en el registro de especies pequeñas en estas zonas, que por su tamaño presentan ventaja contra los consumidores, respaldando el planteamiento de que cuando la interacción biótica principal es la herbivoría, las especies dominantes son competitivamente inferiores por su tamaño, pero menos vulnerables a ser consumidas (Cuker, 1983; Bronmark *et al.*, 1992; Rosemond *et al.*, 2000; Ulrich, 2000).

Aunque la interacción con los herbívoros no se evaluó en este estudio, Castellanos y Serrato (observaciones no publicadas) realizaron un estudio de la comunidad de macroinvertebrados en los mismos tramos y épocas de muestreo del sistema A y registraron la presencia de *Hyaletta sp.*, un género del orden Amphipoda cuyo principal alimento es el fitobentos (Poretti *et al.*, 2003), este género fue particularmente abundante en el nacimiento y la zona media, lo cual respalda el planteamiento de que la herbivoría puede ser un factor importante en la estructuración del ensamblaje de diatomeas en estas zonas.

En el caso de los ríos, el caudal fue un factor importante para T3a, donde se registró un desarrollo de especies con adaptaciones a alta corriente como *T. flocculosa* que desarrolla un mucílago formando cadenas de valvas, *A. minutissimum* que se adhiere fuertemente al substrato, así como especies de la familia Cymbellaceae características de zonas de alto flujo: *E. minutum* y *Cymbella affinis* (Kützing 1844) y tres especies de la familia Fragilariaceae: *H. arcus* ((Ehr.) Patrick 1966), *F. capucina* (Desmazieres 1825), *Ulnaria ulna* ((Nitzs.) Compère 2001) (Cox, 1996; Peterson, 1996; Stevenson, 1996; Potapova y Charles, 2002).

Soininen (2004) plantea que la corriente es un factor importante en la estructuración de las diatomeas en ríos claros, donde se evidencia la necesidad de adaptaciones morfológicas para una mejor adherencia al substrato, mientras que en ríos turbios, debido a las partículas disueltas en el agua y a las condiciones ambientales, pueden desarrollarse especies sin adaptaciones a alta corriente.

La composición de especies en los tramos de los ríos soporta este planteamiento: T3a es un sistema con valores bajos de turbidez, nutrientes (Tabla 1) y conductividad, en el cual se registraron especies con adaptaciones a alta corriente, mientras que T3b corresponde a un sistema hipereutrófico, con altos valores de nutrientes (Tabla 1), turbidez, conductividad y salinidad, en el que se registraron especies que han sido reportadas como tolerantes a la polución debido a sus amplios rangos de tolerancia, entre ellas especies del género *Nitzschia* así como *Navicula tantula*, *N. cryptocephala*, *N. aff. recens*, *S. seminulun*, y *A. subatomoides* (Díaz *et al.*, 2000; Sabater, 2000; Lange-Bertalot, 2000; Wetzel *et al.*, 2002; Kelly, 2003; Potapova y Charles, 2003; Rimet *et al.*, 2004; Leira y Sabater, 2005; Plata *et al.*, observaciones no publicadas.).

Lo anterior evidencia que para T3b la física y química del sistema fueron factores importantes en la estructuración del ensamblaje, mientras que para T3a, que es un río claro, lo fue la hidrología, respaldando así el planteamiento de Soininen (2004).

La baja diversidad encontrada en las nacientes podría asociarse con la limitación de luz que se presenta en las primeras zonas de los ríos debido a la alta cobertura vegetal. En T1b el pH. influyó en la composición de especies, permitiendo una alta diversidad de *Eunotia* y el desarrollo de géneros como *Stenopterobia*, *Neidium* y *Frustulia*, para los que se ha reportado una amplia tolerancia a la acidez (Kwandras, 1983, Pan *et al.*,

1996; Battarbee *et al.*, 1997; Potapova y Charles, 2002; Wetzel *et al.*, 2002; Hirst 2004; Rimet *et al.*, 2004).

5.3 VARIACIÓN ESTACIONAL DEL ENSAMBLAJE DE DIATOMEAS

Aunque para el perifiton se ha reportado una alta incidencia de la estacionalidad en la biomasa y productividad (Mosisch y Bunn, 1997; O'Reilly, 2006), para las diatomeas se ha registrado que la variación espacial en la composición de especies es mayor que la variación estacional, aún si se presentan cambios estacionales en ciertos factores ambientales (Lamb y Lowe, 1987; Stevenson y Hashim, 1989; Sherwood *et al.*, 2000). Sin embargo algunos trabajos reportan que los períodos hidrológicos y los cambios estacionales juegan un papel importante en la estructuración de la comunidad algal, determinando cambios en la abundancia relativa de las especies (Hameed, 2003; Martínez y Donato, 2003; Zapata y Donato, 2005; Gottlieb, 2006).

En nuestro estudio, aunque algunas variables ambientales registraron variación estacional, los cambios en la estructura general del ensamblaje entre períodos no fueron significativos. Lavoie *et al.* (2005) plantearon que la principal fuente de variación en la composición de las diatomeas está asociada con diferencias en las condiciones químicas y físicas del hábitat acuático, presentándose mayor variación entre ríos diferentes, seguida de variación entre zonas del mismo río y poca variación en un mismo tramo como consecuencia de características ambientales similares. Nuestros resultados respaldan este esquema de variación, mostrando más variación espacial entre tramos y entre los dos sistemas, que variación estacional.

6. CONCLUSIONES

Los factores ambientales determinantes en la estructura del ensamblaje variaron entre los tramos muestreados.

Cuando las variables físicas y químicas alcanzaron valores altos, éste fue el factor determinante en la abundancia y composición de especies, mientras que en ausencia de condiciones físicas y químicas extremas, el caudal fue el factor más influyente en las especies encontradas.

Los períodos hidrológicos influyeron en la variación estacional del caudal, pero no jugaron un papel importante en la estructuración estacional del ensamblaje de diatomeas.

Se respalda el potencial de algunas especies de diatomeas como indicadores biológicos de condiciones como pH y polución orgánica.

Se propone para estudios posteriores la inclusión de las interacciones biológicas, con el fin de proporcionar una visión más completa de los factores influyentes en la estructuración del ensamblaje.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Rosa Aura Gavilán (Laboratorio de Limnología. Universidad Industrial de Santander) por la asesoría durante todo el proyecto y por la financiación del mismo; a la Dra. Sully Gómez y al Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático (GPH-UIS), por la colaboración durante las salidas de campo y al Laboratorio de Patología-UIS y Laboratorio de Biología Reproductiva -UIS por el apoyo logístico durante la fase de laboratorio de esta investigación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN D. Stream ecology. Structure and function of running waters. Londres: Chapman & Hall; 1995.

APHA. Standard methods for examination of water and wastewater. 19 Ed. Washington: Amer Pub Health Ass; 1998.

BARBOUR MT, GERRITSEN J, ZINDER BD, STRIBLING JB. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2 ed. Washington: Environmental Protection Agency Office of Water; 1999.

BATTARBEE RW, FLOWER RJ, JUGGINS S, PATRICK ST, STEVENSON AC. The relationship between diatoms and surface water quality in the Høylandet area of Nord-Trøndelag, Norway. *Hydrobiologia*. 1997;348(1):69–80.

BATE N, NEWALL P. Techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves? *Diatom symposium*. 1998;153-158.

BRONMARK C, KLOSIEWSKI S, STEIN R. Indirect effects of predation in a freshwater benthic food chain. *Ecology*. 1992;73(5):1662-1674.

COX E. Identification of Freshwater Diatoms from Live Material. Londres: Chapman & Hall; 1996.

CEN/TC 230. Water quality-Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. prEN 13946; 2002

CUKER B. Grazing and nutrient interactions in controlling the activity and composition of the epilithic algal community of an arctic lake. *Limnol. Oceanogr*. 1983;28(1):133-141.

DÍAZ-Q C, RIVERA-R C. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*. 2004;26(1):381-394

DÍAZ V, QUEIMALIÑOS C, MODENUTT B, AYALA V. Effects of fish farm effluents on the periphyton of an Andean stream. *Arch Fish Mar Res*. 2000;48(3):283- 294.

- DENICOLA D.** Periphyton responses to Temperature at Different Ecological Levels. En: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL, editors. Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. San Diego: Academic Press; 1996. p.150-181.
- FRANCOEUR S, BIGGS B.** Short-term effects of elevated velocity and sediment abrasion on benthic algal communities. *Hydrobiologia*. 2006;561(1):59–69
- GHOSH M, GAUR J.** Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquat. Bot.* 1998;60(1):1-10.
- GOTTLIEB A., RICHARDS J, GAISER E.** Comparative study of periphyton community structure in long and short-hydroperiod Everglades marshes. *Hydrobiologia*. 2006;569(1):195–207.
- HAMEED HA.** The colonization of periphytic diatom species on artificial substrates in the Ashar canal, Basrah, Iraq. *Limnologica*. 2003;33(1):54-61.
- HILL W.** Factores affecting benthic algae: Effects of light. En: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL, editors. Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. San Diego: Academic Press; 1996. p.121-148.
- HIRST H, CHAUD F, DELABIE C, JUTTNER I, ORMEROD SJ.** Assessing the short-term response of stream diatoms to acidity using inter-basin transplantations and chemical diffusing substrates. *Freshwater Biol.* 2004; 49:(8)1072–1088.
- IDEAM.** Datos históricos de precipitación. Estación La Caldera. IDEAM; 2005
- IDEAM** Datos diarios de precipitación 2005-2006. Estación la Caldera. IDEAM; 2006
- KELLY M.** Short term dynamics of diatoms in an upland stream and implications for monitoring eutrophication. *Environ Pollut.* 2003;125(2):117–122.
- KRAMMER K.** Valve morphology in the genus *Cymbella*. En: Helmcke JG, Krammer K, editors. *Micromorphology of diatom valves*. vol. 11. Cramer Vaduz; 1982. p. 11-299.
- KRAMMER, K.** Die Gattung *Pinnularia* in Bayern. *Hoppea*. 1992;52(1):5–291

- KRAMMER K, LANGE-BERTALOT H.** Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae. Jena: VEB Gustav Fisher; 1986.
- KRAMMER K, LANGE-BERTALOT H.** Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae. Jena: VEB Gustav Fisher; 1991a.
- KRAMMER K, LANGE-BERTALOT H.** Bacillariophyceae. 4 Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Jena: VEB Gustav Fisher; 1991b.
- KWANDRANS J.** Diatom communities of acidic mountain streams in Poland. *Hydrobiologia*. 1993;269(1):335-342.
- LAMB MA, LOWE RL.** Effects of current velocity on the physical structuring of diatom Bacillariophyceae communities. *Ohio J Sci*. 1987;87(3):72–78.
- LANGE-BERTALOT H.** Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Alemania: Gantner K.G.; 2001.
- LAVOIE I, SOMERS KM, PATERSON AM, DILLON PJ.** Assessing scales of variability in benthic diatom community structure. *Journal of Applied Phycology*. 2005;17(6):509–513.
- LEIRA M, SABATER, S.** Diatom assemblages distribution in Catalan Rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors. *Water Res*. 2000; 39(1):73–82.
- MARTÍNEZ L, DONATO JC.** Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*. 2003;25(1):337-354.
- MCCAULEY E, BRIAND F.** Zooplankton grazing and phytoplankton species richness: Field tests of the predation hipótesis. *Limnol. Oceanogr*. 1979;24(2):243-252.
- MENGE BA, SUTHERLAND PJ.** Community Regulation: Variation in Disturbance, Competition, and Predation in Relation to Environmental Stress and Recruitment. *Am. Nat*. 1987;130(5):730-757.
- METZELTIN D, LANGE-BERTALOT H.** Tropical Diatoms of South America I. Alemania: Koeltz S.B.; 1998.

- MOSISCH TD, BUNN SE.** Temporal patterns of rainforest stream epilithic algae in relation to flow-related disturbance. *Aquatic Bot.* 1997;58(2):181-193
- O'REILLY CM.** Seasonal dynamics of periphyton in a large tropical lake. *Hydrobiologia.* 2006;553(1):293–301.
- PAN Y, STEVENSON RJ, HILL BH, HERLIHY AT, COLLINS GB.** Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems a regional assessment. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 1996;(4)15:481-495.
- PAN Y, STEVENSON RJ, HILL BH, KAUFMANN PR, HERLIHY AT.** Spatial patterns and ecological determinants of benthic algal assemblages in Mid-Atlantic streams, USA. *J. Phycol.* 1999;35(3):460–468
- PAYNE AI.** The ecology of tropical lakes and rivers. Londres: John Wiley & Sons; 1986.
- PETERSON CG.** Response of benthic algal communities to natural physical disturbance. En: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL, editors. *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems.* San Diego: Academic Press; 1996. p. 375-403.
- PORETTI TI., CASSET MA, MOMO F.** Composición química y dinámica poblacional de *Hyaella curvispina* en el arroyo las flores (Cuenca del río Luján). *Biología Acuática* 2003;20(1):45-48
- POTAPOVA MG, CHARLES DF.** Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *J Biogeogr.* 2002;29(1):167–187.
- POTAPOVA MG, CHARLES DF.** Distribution of benthic diatoms in US rivers in relation to conductivity and ionic composition. *Freshwater Biol.* 2003;48(8):1311–1328.
- RANGEL-CH JO.** Localidades paramunas y altoandinas de Colombia, En: Rangel-Ch. JO, editors. *Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna.* Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales-Instituto Alexander von Humboldt; 1995. p. 837-866.
- REAVIE E, SMOL J.** Epilithic diatoms of the St. Lawrence River and their relationships to water quality. *Can J Bot.* 1998;76(2):251–257.

- RIMET F, ECTOR L, CAUCHIE HM, HOFFMANN L.** Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. *Hydrobiologia* 2004;520(1-3):105–117.
- RIVERA-R C, DÍAZ-Q C.** Grandes Taxones del fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum*. 2004; 9(1):75-86.
- ROSEMOND AD, MULHOLLAND PJ, BRAWLEY SH.** Seasonally shifting limitation of stream periphyton: Response of algal populations and assemblage biomass and productivity to variation in light, nutrients, and herbivores. *Can J Fish Aquat Sci*. 2000;57(1):66-75.
- ROTT E, DUTHIE HC, PIPP E.** Monitoring organic pollution and eutrophication in the Grand River, Ontario, by means of diatoms. *Can J Fish Aquat Sci*. 1998;55(6):1443-1453.
- ROUND F, CRAWFORD RM, MANN DG.** The diatoms. Biology & morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press; 1990.
- RUMRICH U, LANGE-BERTALOT H, RUMRICH M.** Diatomeen der Anden von Venezuela bis Patagonien/Feuerland Und zwei weitere Beiträge. Alemania: Gantner Verlag K.G; 2000.
- RYDER D, WATTS R, NYE E, BURNS A.** Can flow velocity regulate epilithic biofilm structure in a regulated floodplane river? *Marine and Freshwater Research*. 2006;57(1):29-36.
- SALA S, RAMÍREZ JJ, PLATA Y.** Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia, Chocó and Santander Departments in Colombia. *Rev Biol Trop*. En prensa 2007.
- SABATER S.** Diatom communities as indicators of environmental stress in the Guadamar River, SW Spain, following a major mine tailing spill. *J Appl Phycol*. 2000;12(2):113–124.
- SHERWOOD AR, RINTOUL TL, MÜLLER KM, SHEATH RG.** Seasonality and distribution of epilithic diatoms, macroalgae and macrophytes in a spring-fed stream system in Ontario, Canada. *Hydrobiologia* 2000;435(1-3):143–152.

SOININEN J. Assessing the current related heterogeneity and diversity patterns of benthic diatom communities in a turbid and a clear water river. *Aquatic Ecology*. 2004;38(4):495–501,

STEVENSON RJ, HASHIM S. Variation in diatom community structure among habitats in Sandy Streams. *J. Phycol.* 1989; 25(4):678-686.

STEVENSON RJ. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. En: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL, editors. *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic Press; 1996. p. 3-30.

STURM H, MORA-OSEJO L. Clima de la Región Paramuna. En: Rangel JO, editors. *Estudios Ecológicos del Páramo y del Bosque Altoandino. Tomo I*. Santa fe de Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales; 1995. p. 375-403.

TOWNSEND SA, GELL PA. The role of substrate type on benthic diatom assemblages in the Daly and Roper Rivers of the Australian wet/dry tropics. *Hydrobiologia*. 2005;548(1):101–115

TUJI A. The effect of irradiance on the growth of different forms of freshwater diatoms: implications for sucesión in attached diatom communities. *J. Phycol.* 2000;36(4):659-661.

ULRICH S. Benthic microalgal diversity enhanced by spatial heterogeneity of grazing *Oecologia* 2000;122(2):284–287.

VANNOTE R, MINSHALL GW, CUMMINS KW, SEDELL JR, CUSHING CE. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1980;37:130–137.

WETZEL R. *Limnology. Lake and river ecosystems*. 3 ed. San Diego: Academic Press; 2001.

WETZEL CE, LOBO EA, OLIVEIRA MA, BES D, HERMANYG. Diatomáceas Epilíticas Elacionadas a fatores ambientais em diferentes trechos dos Rios Pardo e Pardino, Bacia Hidrográfica Do Río Pardo, Rs, Brasil: Resultados Preliminares *Caderno de Pesquisa Sér. Bio. Santa Cruz do Sul*. 2002;14(1):17-38.

ZAPATA AM, DONATO JC. Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota – Colombia) *Limnetica*. 2005;24(1-2):327-338.

Tabla 1

Análisis de Nutrientes en los tramos de muestreo tomado en el último período de sequía (marzo)

PARÁMETRO	SISTEMA A			SISTEMA B		
	T1a	T2a	T3a	T1b	T2b	T3b
Nitratos						
mg/l N-NO3	0.29	0.33	0.09	0.01	0.25	0.22
Ortofosfatos						
mg/l P-PO4	0.07	0.05	0.01	0.08	0.19	0.72
N. Amoniacal						
mg/l N-NH3	n.d.	n.d.	0.05	0.11	0.70	6.33

Tabla 2

Lista taxonómica, abundancia relativa promedio (media \pm d.S) y porcentaje de frecuencia de las especies más abundantes (AB: abreviatura del nombre de la especie)

	AB.	ESPECIES	ABUNDANCIA FRECUENCIA	
			(x \pm d.S)	(%)
1	<i>N. t</i>	<i>Navicula tantula</i> (Hust. 1934)	10.3 \pm 11.1	100
2	<i>A. m</i>	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki 1994	9.2 \pm 13.8	100
3	<i>A. l</i>	<i>Achnantheidium lanceolatum</i> (Breb. ex Kutz.) Czarnecki 1987	8.1 \pm 15.9	58
4	<i>G. p</i>	<i>Gomphonema parvulum</i> Kützing 1849	6.1 \pm 6.6	96
5	<i>N. c</i>	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844	5.5 \pm 6.3	96
6	<i>G. l</i>	<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing 1844	4.5 \pm 7.8	80
7	<i>E. p</i>	<i>Encyonema cf perpusillum</i> Lange-Bertalot y Rumich	3.9 \pm 8.7	42
8	<i>E. b</i>	<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehr.) Mills 1934	3.6 \pm 7.5	67
9	<i>T. f</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing 1844	3.6 \pm 10.6	37
10	<i>Eu m</i>	<i>Eunotia cf muscicola</i> Krasske 1939	3.6 \pm 6.5	54
11	<i>F. c</i>	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres 1825	3.0 \pm 3.5	70
12	<i>E. m</i>	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse ex Rab.) Mann 1990	2.0 \pm 3.3	80
13	<i>N. 2</i>	<i>Navicula sp 2</i>	1.9 \pm 4.5	33
14	<i>H. a</i>	<i>Hannaea arcus</i> (Ehr.) Patrick 1966	1.6 \pm 4.4	33
15	<i>Adl</i>	<i>Adlafia sp 1</i>	1.6 \pm 1.8	54
16	<i>Na 1</i>	<i>Navicula sp 1</i>	1.4 \pm 1.9	67
17	<i>P. s</i>	<i>Pinnularia cf subcapitata</i> Gregory 1856	1.4 \pm 2.0	54
18	<i>Nu 1</i>	<i>Nupela sp 1</i>	1.3 \pm 2.6	63
19	<i>A. s</i>	<i>Achnanthes subatomoides</i> (Hust.)L-Bertalot y Arch. 1985	1.2 \pm 1.5	80
20	<i>N. l</i>	<i>Navicula longicephala</i> Hustedt 1944	1.2 \pm 1.6	50
21	<i>N. r</i>	<i>Navicula cf. recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1985	1.0 \pm 1.9	58
22	<i>Nu 2</i>	<i>Nupela sp 2</i>	1.0 \pm 2.9	67
23	<i>Ni 2</i>	<i>Nitzschia sp 2</i>	0.9 \pm 2.4	17
24	<i>S. s</i>	<i>Sellaphora seminulun</i> (Grunow) Mann 1989	0.9 \pm 1.4	58
25	<i>Ac 1</i>	<i>Achnantes sp 1</i>	0.9 \pm 2.5	17
26	<i>Ni 1</i>	<i>Nitzschia sp 1</i>	0.9 \pm 2.0	30
27	<i>E. e</i>	<i>Eunotia cf exigua</i> (Bréb.) Rabenhorst 1864	0.8 \pm 1.8	42
28	<i>N. n</i>	<i>Navicula notha</i> Wallace 1960	0.8 \pm 1.3	58
29	<i>S. k</i>	<i>Stenopterobia Krammeri</i> Metzelin y Lange Bertalot	0.7 \pm 1.7	33
30	<i>Ni 3</i>	<i>Nitzschia sp 3</i>	0.6 \pm 1.2	42
31	<i>Na 3</i>	<i>Navicula sp 3</i>	0.6 \pm 1.6	29
32	<i>C. b</i>	<i>Craticula buderi</i> (Hust.) Lange-Bertalot 2000	0.5 \pm 1.2	33
33	<i>Fu 1</i>	<i>Frustulia sp 1</i>	0.5 \pm 1.2	42

Figura 1

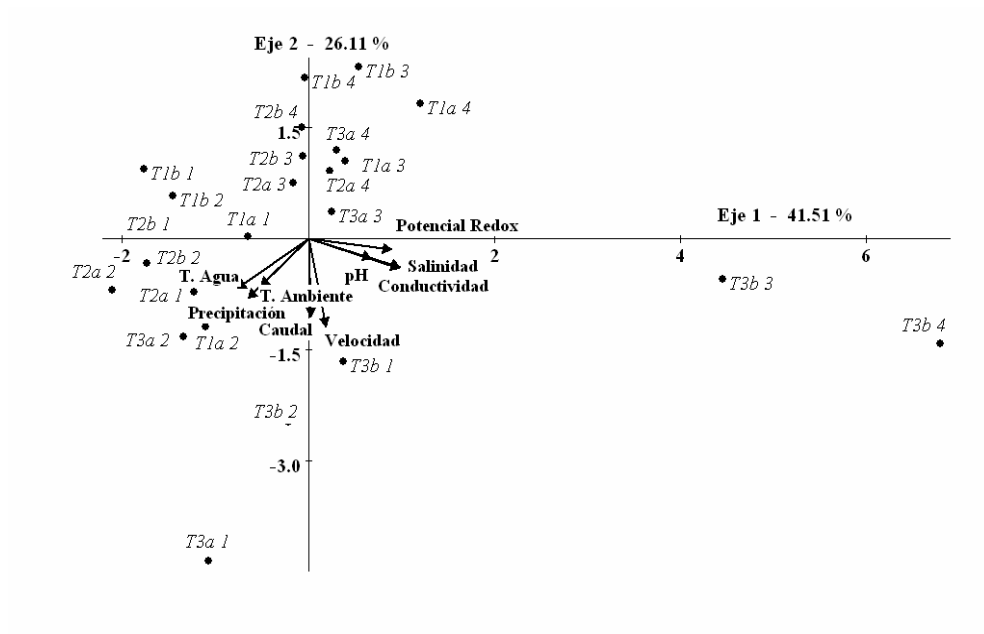


Figura 2

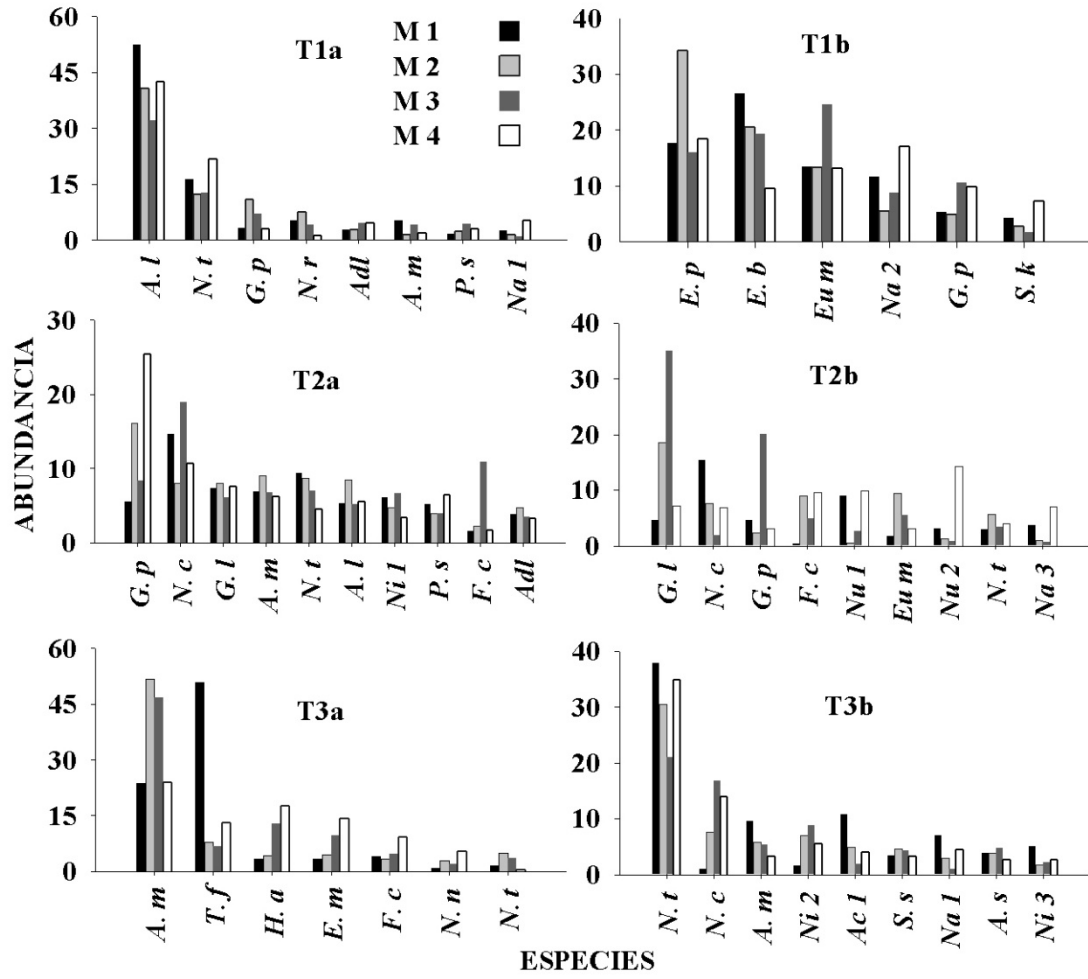
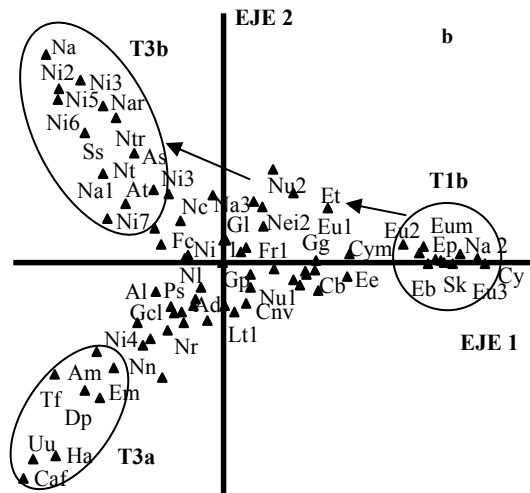
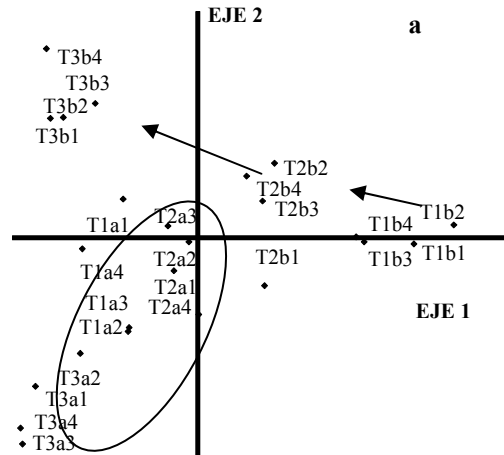


Figura 3



ABREVIATURA DE ESPECIES GRAFICADAS

Cy	<i>Cymbella</i> sp1	Gd	<i>Geissleria decussis</i>	Nei2	<i>Neidium</i> sp2
Cym	<i>Cymbella</i> sp2	Dp	<i>D. placentula</i>	Ni4	<i>Nitzschia</i> sp4
Ca	<i>C. affinis</i>	Uu	<i>U. ulna</i>	Ni5	<i>Nitzschia</i> sp5
Cnv	<i>C. naviculiformis</i>	Gg	<i>G. gracile</i>	Ni6	<i>Nitzschia</i> sp6
Eu1	<i>Eunotia</i> sp1	Gc	<i>G. clavatum</i>	Ni7	<i>Nitzschia</i> sp7
Eu2	<i>Eunotia</i> sp2	Rs	<i>Reimeria sinuata</i>	P2	<i>Pinnularia</i> sp2
Eu3	<i>Eunotia</i> sp3	Lt1	<i>Luticola</i> sp1	P3	<i>Pinnularia</i> sp3
Et	<i>E. tenella</i>	Ntr	<i>N. trinoides</i>		

Figura 4

