

RELACIÓN ENTRE LA COMUNIDAD DE FITOPERIFITON Y DIFERENTES FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN UNA QUEBRADA DE LOS ANDES COLOMBIANOS*

RELACIÓN FITOPERIFITON Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

*Patricia Jiménez-Pérez¹, Beatriz Toro-Restrepo²
Esneidy Hernández-Atilano³*

Resumen

Se evaluó la variación espacio-temporal de la comunidad de algas perifíticas y su relación con los diferentes tipos de contaminación antropogénica y natural a lo largo de la quebrada Tolda Fría-La María. Se realizaron cuatro muestreos en periodo lluvioso, lluvia menor y seco-transición lluvia en cinco estaciones: Bocatoma (E1), Ganadería (E2) y Caserío Gallinazo (E5) con impacto antrópico, y las estaciones Romerales (E3) y Termales (E4) con impacto natural. Se encontró que la relación entre la comunidad de algas perifíticas y el gradiente fisicoquímico varió espacialmente en la quebrada, presentando cambios notables en la composición, abundancia relativa, diversidad y densidad de morfoespecies, donde las estaciones E4 y E5 (las de mayor contaminación) mostraron mayor dominancia y menor densidad de morfoespecies. Dichas variaciones fueron explicadas en un 69% por las variables fisicoquímicas como los metales pesados, nutrientes, iones y las variables hidrológicas, siendo los minerales de las aguas termales los que produjeron un mayor impacto en el área de estudio, evidenciado en la conductividad. Además, la riqueza, diversidad y composición de algas perifíticas registradas, en conjunto con los resultados de las propiedades fisicoquímicas establecen que la calidad del agua de la quebrada Tolda Fría-La María fue mejor en las estaciones E1, E2 y E3.

Palabras clave: algas perifíticas, estructura comunidad, diversidad, contaminación acuática, quebrada Tolda Fría-La María.

RELATIONSHIP BETWEEN PHYTOPERIPHERYTON COMMUNITY AND DIFFERENT SOURCES OF POLLUTION IN AN ANDEAN COLOMBIAN CREEK

Abstract

The spatial and temporal variation of the periphytic algal community and its relation to the different types of natural and anthropogenic pollution along the ToldaFría-La María creek was evaluated. Four samplings were conducted during the rainy season, lesser rain season, and dry-rain transition period, infive stations:Bocatoma (E1), Ganadería (E2) and Caserío Gallinazo (E5) which have human impact, and Romerales (E3) and

* FR: 10-III-2013. FA: 19-X-2013.

¹ Bióloga. E-mail: patty.jimenez.perez@gmail.com

² Universidad de Caldas, Departamento de Ciencias Biológicas. Profesor asistente. E-mail: beatriz.toro@ucaldas.edu.co

³ Universidad de Antioquia. Grupo de Investigaciones GAIA. E-mail: esneidy.hernandez@gmail.com

CÓMO CITAR:

JIMÉNEZ-PÉREZ, P., TORO-RESTREPO, B. & HERNÁNDEZ-ATILANO, E., 2014.- Relación entre la comunidad de fitoperifiton y diferentes fuentes de contaminación en una quebrada de los Andes colombianos. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 18 (1): 49-66.

Termales (E4) which have natural impact. It was found that the relationship between periphytic algae community and physicochemical gradient varied spatially in the creek showing noticeable changes in composition, relative abundance, diversity and density of morphospecies where stations E4 and E5 (the most contaminated) showed more dominance and less density of morphospecies. These variations were explained in a 69% because of physicochemical variables such as heavy metals, nutrients, ions and hydrological variables being minerals in hot springs the ones producing a greater impact in the studied area which was evidenced in conductivity. Besides, richness, diversity and composition of periphytic algae in conjunction with the results of the physicochemical properties establish that the quality of water in the Tolda Fria-La María creek was better in stations E1, E2 and E3.

Key words: periphytic algae, community structure, diversity, aquatic contamination, Tolda Fria-La María creek.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas lóticos de ambientes tropicales, los ríos de montaña son uno de los componentes clave de la biodiversidad en los Andes colombianos debido a las condiciones geográficas y al clima que los caracterizan (RIVERA-RONDÓN & DÍAZ-QUIRÓZ, 2004; ABUHATAB, 2011). De la funcionalidad ecológica de estos ecosistemas acuáticos y de su diversidad, dependen servicios ambientales como la calidad y la disponibilidad del agua; estos servicios se han deteriorado a causa de los sistemas productivos, especialmente la zona cafetera, transformando los paisajes como consecuencia de una alta densidad de la población humana y sus actividades (tales como extracción de recursos, agricultura, urbanización), que finalmente como en un ciclo, afectan negativamente la estructura y función de los ecosistemas lóticos, mediante la alteración de sus características físicas y químicas (RIVERA-RONDÓN *et al.*, 2010; SMUCKER & VIS, 2011).

La importancia de la diversidad en los sistemas acuáticos, se relaciona con la capacidad de adaptación de las diferentes especies al ecosistema y a los cambios que ocurran en él, ya sea que estos cambios se deban a perturbaciones naturales o antrópicas, de manera que para llegar a comprender los mecanismos de respuesta de las comunidades ante posibles alteraciones del ambiente, es imprescindible investigar los vínculos entre ambiente y diversidad (PATRICK, 1988; RIVERA & DONATO, 2008). En este sentido las algas de la comunidad del perifiton, también conocidas como fitoperifiton, ficoperifiton, fitobentos o algas bentónicas, son utilizadas como indicadores bióticos, ya que presentan características que permiten describir la dinámica de las condiciones ambientales. Las algas perifíticas, principalmente las diatomeas, son sensibles a la polución y otros eventos, y por lo tanto, son usadas para el monitoreo de la contaminación ambiental debido a su imposibilidad de evadir la polución por encontrarse adheridas a un sustrato generalmente fijo y responden en cortos periodos de tiempo (MASSERET *et al.*, 1998; WU, 1999; SMITH & SMITH, 2001; HARDING *et al.*, 2005; ARCOS & GÓMEZ, 2006).

Las algas del perifiton, las cuales se encuentran adheridas al sustrato, son los productores primarios dominantes de los ecosistemas de ríos de montaña y su

importancia se atribuye a la captura de la energía lumínica y su transformación en compuestos orgánicos, a partir de los cuales se mantienen niveles tróficos superiores (ROLDÁN, 1992; BIGGS & SMITH, 2002). Para estudiar la respuesta del fitoperifiton a una perturbación se realizan análisis de aspectos estructurales o funcionales. Dentro de los estructurales están los basados en la abundancia, diversidad específica, masa y bio-volumen (DÍAZ & RIVERA, 2004; PIZARRO & ALEMANNI, 2005).

Varias investigaciones limnológicas se han dirigido al estudio de los factores ambientales sobre la diversidad de las comunidades perifíticas en corrientes tropicales; trabajos como los de DÍAZ *et al.* (2000), POTAPOVA & CHARLES (2002), GARI & CORIGLIANO (2004), MENDES & BARBOSA (2004), RAMÍREZ & PLATA-DÍAZ (2008) y MORESCO & RODRIGUES (2010), han permitido tener una idea de la dinámica de las corrientes tropicales, evaluando la influencia de factores como la concentración de nutrientes, luz, sustrato, presencia de herbívoros, la conductividad, entre otros factores.

DÍAZ & RIVERA (2004) mencionan que son muy pocos los trabajos en Colombia que se enfocan en relacionar variables temporales de la estructura de comunidades con la química del agua. Pese a que después de este trabajo nos encontramos con estudios como el de HERNÁNDEZ-ATILANO *et al.* (2005) donde se estudió no solo la variación temporal sino espacial de las algas perifíticas en la quebrada La Vega (San Roque, Antioquia); RAMÍREZ & PLATA-DÍAZ (2008) relacionaron diatomeas con las variables ambientales en diferentes tramos de dos ecosistemas lóticos y BUSTAMANTE-TORO *et al.* (2008) realizaron un estudio de composición y abundancia de la comunidad fitoperifítica en el río Quindío; para la fecha aún siguen siendo pocos los estudios del perifiton que poseen este alcance.

Por lo tanto, este estudio evaluó el impacto de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas acuáticos en una quebrada de los Andes colombianos, y el especial interés en determinar sus consecuencias, realizando inferencias de las condiciones físicas y químicas a partir de la composición y abundancia del fitoperifiton, se planteó la siguiente pregunta: ¿Se detectan cambios o no espaciales o temporales en la estructura de la comunidad de algas perifíticas y la calidad del agua asociados a impactos ambientales en la quebrada Tolda Fría-La María?

MATERIALES Y MÉTODOS

La quebrada Tolda Fría-La María es una microcuenca de montaña, afluente del río Chinchiná, que a su vez tributa sus aguas al río Cauca. Se ubica al nororiente del municipio de Villamaría (Caldas, Colombia), con coordenadas geográficas 4°58'30" - 5°1'30" N y 75°25' - 75°27' W y un rango altitudinal entre los 2180 y 2420 m.

Entre abril de 2009 y febrero de 2010, se realizaron cuatro muestreos en diferentes épocas climáticas, que de acuerdo con los registros de lluvias (Figura 1) de la estación Recinto (IDEA, 2012), el muestreo 1 corresponde a un periodo de lluvioso (caudal alto), el muestreo 2 y 3 a un periodo de lluvia menor (caudales con baja tendencia) y el muestreo 4 en un periodo seco con transición a lluvias (caudal bajo). Se seleccionaron cinco estaciones de muestreo de las cuales tres presentan un impacto antrópico y dos un impacto natural (Figura 2). La El (Bocatoma) se

caracteriza por fuentes puntuales de aguas residuales producto del beneficio del oro; E2 (Ganadería) cuyo uso principal del suelo es la ganadería extensiva; E3 (Romerales) afluente importante cuyas aguas son de pH ácido debido a los aportes de aguas termales; E4 (Termales) presenta contaminación puntual de aguas termales con un pH de 3,0; E5 (Caserío Gallinazo) es una zona semi-rural que vierte sus aguas servidas domésticas directamente a la quebrada.

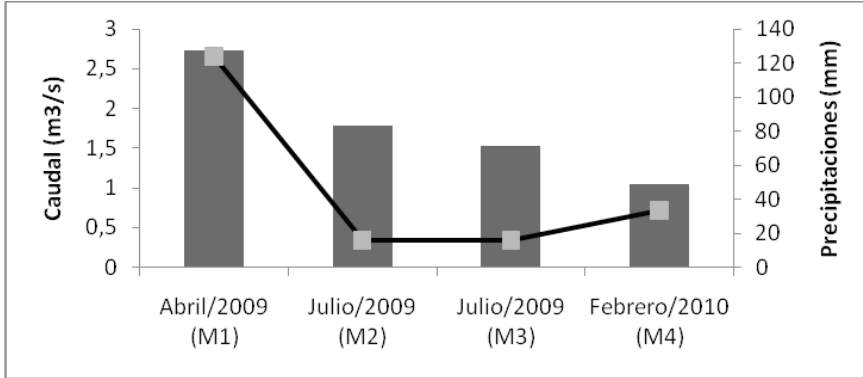


Figura 1. Caudal y Precipitación mensual de los momentos de muestreo. Estación meteorológica Recinto (IDEA, 2012).

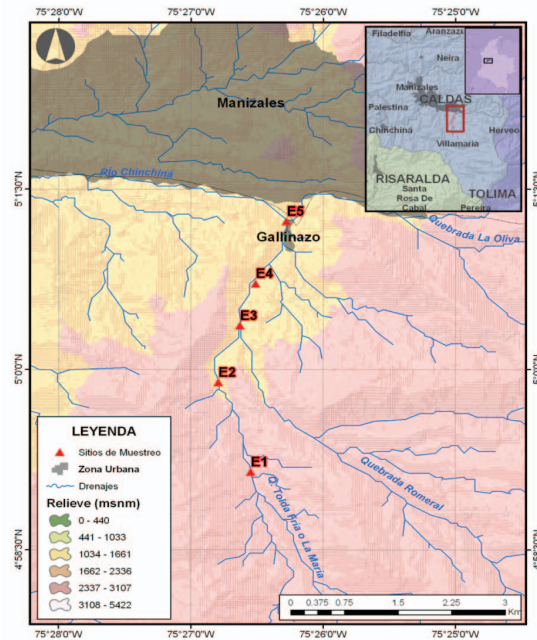


Figura 2. Estaciones en la quebrada Tolda Fría-La María en el Municipio de Villamaría (Caldas, Colombia), E1 (Bocatoma), E2 (Ganadería), E3 (Romeral), E4 (Termales) y E5 (Caserío Gallinazo).

En general la quebrada presenta sustratos heterogéneos, el uso de su entorno en gran parte es ganadero, en algunos tramos hay vegetación ripiara, solo en una de las orillas y en otros tramos se encuentran pequeños bosques de galería con árboles de eucalipto, arbustos y gramíneas; sin embargo, el dosel es abierto permitiendo alta disponibilidad de luz.

Muestreo variables hidrológicas y fisicoquímicas. Para calcular el caudal se siguieron los delineamientos propuestos por SÁNCHEZ (2004) y se estimó velocidad de la corriente con el correntómetro, y la profundidad con la ayuda de varillas ecosondas siguiendo el procedimiento de KING & BRATER (1962).

En cada una de las cinco estaciones durante cuatro muestreos se tomaron datos *in situ* de temperatura del agua, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación y pH (Tabla 1), y se obtuvieron muestras compuestas en el tiempo de 2 L (500 ml cada 30 minutos) para análisis de sólidos, alcalinidad, demanda de oxígeno (DBO, DQO), concentración de nutrientes (Nitrógeno Total Kjeldahl, NTK, N amoniacal, PT) y metales pesados (Zn, Cr, Hg, Pb, Ni, cianuros).

Tabla 1. Variables físicas y químicas *in situ* a lo largo de la quebrada Tolda Fría-La María

VARIABLE	UNIDADES	MATERIAL Y/O MÉTODO
Velocidad de la corriente	m/s	Correntómetro modelo 2100
Caudal	m ³ /s	Correntómetro modelo 2100
Temperatura del Agua	°C	Oxímetro YSI
Conductividad	µS/cm	Conductímetro WTW 3151
Turbidez	NTU	Turbidímetro digital Hanna
Oxígeno disuelto	mg/L	Oxímetro YSI
Oxígeno saturado	%	Oxímetro YSI
pH	Unidades de pH	pH-metro WTW 330i
Nutrientes y metales pesados		Normas APHA-AWWA-WPCF (1992)

Muestreo fitoperifiton. Las muestras fueron colectadas 50 metros antes y después de la descarga de afluentes en cada estación; se seleccionaron cinco rocas al azar en tres sitios de la sección transversal (las márgenes y centro) de la corriente, para remover las algas adheridas a este sustrato mediante un cuadrante de 8,05 cm², raspando cuatro veces con un cepillo plástico. En total se raspó un área de 161 cm² por sitio, se colectaron tres muestras y una repetición de cada una, obteniendo seis muestras en cada estación. Las muestras se fijaron con lugol al 10% en un recipiente plástico color ámbar (TÜMPLING & FRIEDRICH, 1999). Adicionalmente se evaluó la calidad del hábitat, teniendo en cuenta la disponibilidad de luz y tipo de sustrato (BARBOUR *et al.*, 1999).

Análisis de laboratorio. Previo a la observación de las muestras, un volumen de 40 ml se dejó precipitar durante 72 horas. Posteriormente se agitó el contenido de la muestra durante 40 veces e inmediatamente se tomó una gota de la muestra (0,05 ml) la cual se dispuso en un portaobjetos cubierto por un cubreobjetos, luego se efectuó la determinación y cuantificación en un microscopio óptico equipado con una reglilla ocular. Se establecieron 30 campos de observación de acuerdo a la curva de acumulación de especies (UEHLINGER, 1964). Las observaciones se realizaron

con una magnificación de 400X, y para la cuantificación de organismos/ml se aplicó la expresión de ROSS (1979) de la siguiente forma:

$$(\text{org/ml}) = (n \cdot F) / (s \cdot c)$$

Donde:

org: organismos.

n: número de organismos contados.

s: superficie o área del campo visual en mm² del microscopio.

c: número de campos contados.

F: factor de conversión = 50.

Este número se relacionó con el área de muestreo considerada (161 cm²) en cada margen y centro de la quebrada, con el fin de obtener la densidad de organismos/cm². La densidad relativa o abundancia relativa de las algas perifíticas por unidad de área, se obtuvo mediante la división entre el número de individuos cuantificados en la muestra por el área de muestreo sobre el total de individuos encontrados durante todo el periodo de estudio.

La determinación taxonómica se realizó hasta género con base en los trabajos de PRESCOTT *et al.* (1982), BOURRELLY (1968), KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986, 1988), BIGGS (2000), RAMÍREZ (2000) y BICUDO & MENEZES (2006).

Análisis de la información. En primer lugar se realizó una exploración de los datos mediante estadística descriptiva, la dispersión de cada variable fue analizada con cajas esquemáticas e histogramas usando como factores de análisis las estaciones, muestreos y márgenes. Para determinar si los datos presentaban diferencias significativas entre factores de análisis se aplicó Kruskal-Wallis.

A partir de la estimación de la densidad de organismos/cm² se aplicaron los índices de diversidad (SHANNON & WEAVER, 1948), equidad (PIELOU, 1969) y el grado de dominancia (SIMPSON, 1949).

Se ejecutaron dos análisis de componentes principales (ACP). La primera matriz se utilizó para establecer los patrones fisicoquímicos e hidrológicos a partir de 19 variables cuantificadas en campo y laboratorio. La segunda matriz correspondiente a la ordenación biológica con la densidad (org/cm²), los índices diversidad de SHANNON & WEAVER (1948), equidad de PIELOU (1969) y dominancia de SIMPSON (1949); ambas matrices fueron previamente estandarizadas.

Para establecer la relación fitoperifiton-ambiente se efectuó un análisis de correspondencia canónica (ACC) que permitió observar los patrones de distribución y abundancia de las algas entre las variables fisicoquímicas. Después de utilizar el test de Monte Carlo con 499 permutaciones, se determinó que la conductividad, caudal, DBO, Zn, Ni, Pb, sulfuros, Cr, PT y alcalinidad fueron las variables significativas que responden a la varianza de la abundancia y distribución de las algas explicada mediante los parámetros ambientales. Todas las variables fueron estandarizadas y los análisis fueron ejecutados en el programa Canoco 4.5.

RESULTADOS

Variabes fisicoquímicas e hidrológicas

Los valores promedios de las variables físicas y químicas registrados en cada una de las estaciones en la quebrada Tolda Fría-La María se presentan en la Tabla 2. El caudal presentó un valor promedio máximo de 2,7 m³/s y un mínimo de 1,0 m³/s, mientras que la velocidad osciló entre 0,6 y 0,9 m/s, siendo mayor en el periodo lluvioso (p = 0,0001). El pH varió entre 6,6 y 3,6 unidades, adoptando un carácter ácido a partir de la estación Romeral. El oxígeno disuelto presentó un valor promedio mínimo de 6,9 mg/L y un máximo de 10,1 mg/L. Esta buena oxigenación obedece a las bajas temperaturas del agua (14°C), la pendiente y topografía de la quebrada. En cuanto a la presencia de metales pesados, todos presentaron concentraciones bajas, incluso el Hg cuyo valor máximo fue de 0,19 µg/L y un mínimo de 0,10 µg/L pero con coeficientes de variación alto (70%).

Tabla 2. Medidas de tendencia central para las variables fisicoquímicas considerando las estaciones. Código estación: E1 (Bocatoma), E2 (Ganadería), E3 (Romerales), E4 (Termales), E5 (Casero Gallinazo).

Estación	Estadígrafo	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Temp. Agua (°C)		Cond. (µS/cm)		Turbidez		OD (mg/L)		O. Sat. (%)		pH	
				Ant.	Desp.	Ant.	Desp.	Ant.	Desp.	Ant.	Desp.	Ant.	Desp.	Ant.	Desp.
				descarga	descarga	descarga	descarga	descarga	descarga	descarga	descarga	descarga	descarga	descarga	descarga
E1	Media	0.6	1.0	13.1	13.3	73.1	72.4	14.0	17.0	8.3	8.1	78.7	76.8	6.5	6.6
	desv	0.1	1.1	2.0	1.8	20.4	19.4	8.2	6.3	2.1	1.8	15.7	14.1	0.5	0.5
	CV (%)	19.3	104.9	15.4	13.5	27.9	26.8	58.4	37.0	24.8	22.0	20.0	18.3	7.7	7.6
E2*	Media	0.6	1.0	15.0	15.0	87.9	87.9	21.3	21.3	7.8	7.8	76.8	76.8	6.7	6.7
	desv	0.1	0.4	1.4	1.4	20.4	20.4	9.8	9.8	1.5	1.5	12.6	12.6	0.6	0.6
	CV (%)	16.0	38.8	9.1	9.1	23.3	23.3	45.9	45.9	19.	19.7	16.3	16.3	8.4	8.4
E3	Media	0.7	2.4	15.5	14.8	89.3	244.4	14.3	7.8	7.8	8.2	76.9	80.5	6.6	4.3
	desv	0.3	0.6	1.5	1.6	19.0	96.6	10.2	4.5	1.7	1.3	13.9	10.3	0.6	0.5
	CV (%)	38.6	25.9	9.9	11.1	21.3	39.5	71.3	57.9	22.3	16.0	18.1	12.7	9.5	12.8
E4	Media	0.7	2.0	14.3	14.1	270.5	377.8	7.6	8.3	8.8	8.8	86.3	85.6	4.2	3.6
	desv	0.3	0.7	0.6	0.6	68.5	214.9	3.1	5.7	1.1	0.9	10.3	9.1	0.5	0.5
	CV (%)	44.6	33.7	4.5	4.3	25.3	56.9	40.8	67.8	12.1	10.4	12.0	10.7	11.4	14.2
E5	Media	0.8	2.1	14.2	14.1	508.3	451.7	7.7	6.3	8.3	8.3	80.1	81.2	3.6	3.7
	desv	0.3	1.0	1.0	1.6	232.4	216.3	3.0	4.4	1.1	1.0	12.7	12.2	0.7	0.6
	CV (%)	33.8	47.6	6.8	11.1	45.7	47.9	39.5	70.2	13.8	12.2	15.8	15.1	18.6	16.4

Estación	Estadígrafo	ST	SST	S. Sed	Alcalinidad	DBO5	DQO	NTK	N Amon	Ptotal	Sulfuros	Zn	Ni	Cr (VI)	Pb	Hg
		(mg/L)	(mg/L)	(mL/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
E1	Media	118.38	35.64	0.10	38.25	7.97	21.65	2.48	1.04	1.17	0.11	1.28	0.07	0.04	0.15	0.19
	desv	19.29	20.36	0.12	24.98	4.50	10.32	0.85	0.20	0.57	0.04	1.40	0.08	0.01	0.11	0.14
	CV (%)	16	57	115	65	56	48	34	19	49	37	110	114	20	74	70
E2	Media	161.38	41.84	0.21	42.90	10.03	21.16	2.57	0.97	1.29	0.10	1.22	0.07	0.05	0.15	0.17
	desv	31.49	22.11	0.26	38.91	6.56	8.50	0.51	0.17	0.58	0.02	1.41	0.07	0.01	0.16	0.12
	CV (%)	20	53	128	91	65	40	20	17	45	15	115	99	26	107	68
E3	Media	274.38	72.55	N.D.	29.88	10.04	25.60	2.64	0.99	2.10	0.10	1.23	0.07	0.04	0.07	0.13
	desv	70.54	35.57		34.87	2.96	10.34	0.46	0.17	0.18	0.03	1.36	0.06	0.03	0.08	0.09
	CV (%)	25.7	49.0		116.7	29.5	40.4	17.6	17.7	8.7	36.0	110.9	87.5	61.9	104.1	74.0
E4	Media	350.63	73.07	N.D.	0	12.94	28.22	2.81	1.02	1.74	0.10	0.72	0.05	0.05	0.08	0.11
	desv	134.40	35.17			4.33	8.36	0.35	0.15	0.44	0.04	1.19	0.03	0.03	0.12	0.07
	CV (%)	38.3	48.1			33.5	29.6	12.3	15.1	25.2	38.7	165.7	60.5	64.8	145.6	68.5
E5	Media	347.31	76.48	N.D.	0.	15.41	36.79	2.82	1.07	1.91	0.10	0.73	0.06	0.05	0.13	0.10
	desv	134.80	38.44			4.14	10.11	0.35	0.11	0.47	0.04	1.30	0.05	0.03	0.15	0.07
	CV (%)	38.8	50.3			26.9	27.5	12.6	10.6	24.6	42.2	179.9	82.0	64.8	116.6	71.2

Comunidad fitoperifítica

Se encontraron 35 géneros de algas pertenecientes a 20 Familias, 15 órdenes y 4 divisiones (Tabla 3). Aunque la asíntota de la curva de acumulación de especies estuvo por debajo de los 80 taxas, es una buena proporción de la composición de algas perifíticas. De la división *Bacillariophyta* pertenece el 72% de los géneros registrados, seguido por *Cyanobacteria* (27%), y las divisiones *Chlorophyta* y *Euglenophyta* (1% y 0,2% respectivamente). Se encontró que el género *Navicula* fue el que presentó la abundancia relativa más alta (43%), seguido por *Chroococcus* (26%); los géneros *Nitzschia*, *Reimeria*, *Amphora* y *Rhoicosphenia*, solo comprendieron entre el 2 y 10%. En la estación Bocatoma (E1) y Romerales (E3) los géneros más abundantes fueron *Navicula* sp., *Chroococcus* sp., *Reimeria* sp., *Rhoicosphenia* sp., *Nitzschia* sp. y *Amphora* sp. En la estación Ganadería fueron *Navicula* sp., *Pinnularia* sp., *Chroococcus* sp., *Nitzschia* sp., *Reimeria* sp. y *Gomphonema* sp. Para la estación Termales y Caserío Gallinazo la más abundante fue *Navicula* seguida de *Eunotia* sp., *Chaetophora* sp., *Stauroneis* sp. y *Microtammion* sp. (Figuras 3a y 3b).

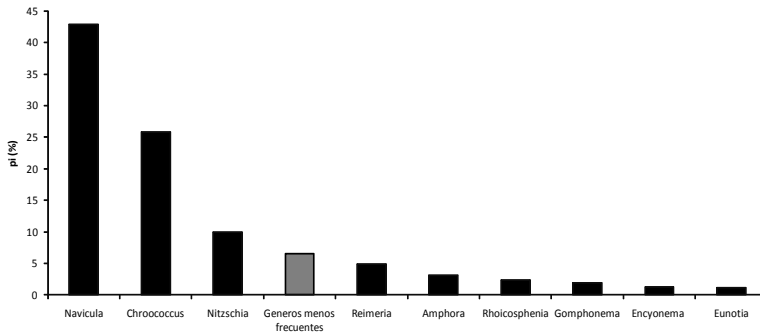


Figura 3a. Abundancias relativas de los géneros de algas perifíticas en la quebrada Tolda Fria-La María.

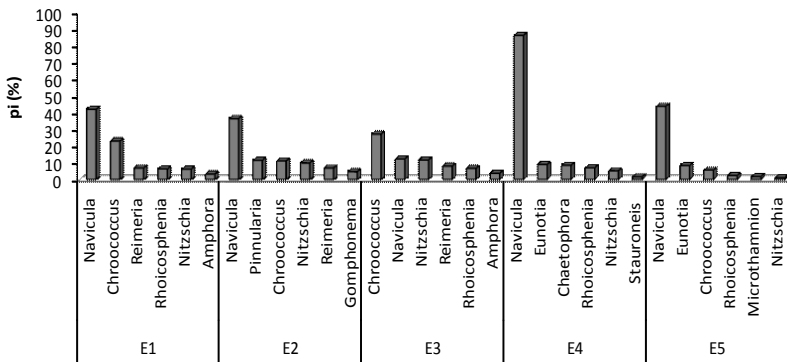


Figura 3b. Abundancias promedio (%) por estaciones de los géneros más abundantes en la quebrada Tolda Fria-La María.

Tabla 3. Clasificación de los géneros de algas registrados en la quebrada la quebrada Tolda Fría-La María (Villamaría, Caldas)

DIVISIÓN	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Cyanobacteria	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i> (Nägeli)
		Synechococcaeae	<i>Synechococcus</i> (Nägeli)
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> (Vaucher)
		Pseudoanabaenaceae	<i>Pseudoanabaena</i> (Lauterborn)
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i> (Ehrenberg)
Chlorophyta	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Chaetophora</i> (Shrank)
			<i>Microthamnion</i> (Nägeli)
	Chlorococcales	Hydrodictiaceae	<i>Hydrodictyon</i> (Roth)
		Oocystaceae	<i>Oocystes</i> (Nägeli)
	Cladophorales	Siphonocladaceae	<i>Cladophora</i> (Kützing)
	Desmiales	Desmidiaceae	<i>Staurostrum</i> (Meyen)
		Diatomaceae	<i>Cosmarium</i> (Corda)
	Ulotrichales	Ulotrichaceae	<i>Binuclearia</i> (Wittrok)
Zygnematales	Mesotaeniaceae	<i>Mesotaenium</i> (Nägeli)	
Bacillariophyta	Achnanthales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i> (Bory)
			<i>Rhoicosphenia</i> (Grunow)
	Coscinodiscales	Coscinodiscophyceae	<i>Melosira</i> (C. Agardh)
	Diatomales	Diatomaceae	<i>Hannaea</i> (Ehrenberg)
		Fragillariaceae	<i>Fragilaria</i> (Lymgbye)
	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i> (Ehrenberg)
	Naviculales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> (Hassall)
			<i>Amphora</i> (Ehrenberg ex Kützing)
			<i>Encyonema</i> (Kützing)
			<i>Cymbella</i> (C. Agardh)
			<i>Reimeria</i> (Kociolek & Stoermer)
			<i>Gomphonema</i> (Ehrenberg)
			<i>Caloneis</i> (Cleve)
			<i>Diatomella</i> (Greville)
<i>Gyrosigma</i> (Hassall)			
<i>Navicula</i> (Bory)			
<i>Neidium</i> (Pfitzer)			
<i>Pinnularia</i> (Ehrenberg)			
<i>Stauroneis</i> (Ehrenberg)			
<i>Surirella</i> (Turpin)			
	Sellaphoraceae	<i>Sellaphora</i> (Mereschkowsky)	

La densidad de algas entre muestreos fue menor en el periodo de caudal alto (17 org/cm²), en contraste con el periodo de bajo caudal (838 org/cm²). Las estaciones Bocatoma, Ganadería y Romerales presentaron la densidad de algas más alta (795, 666, 498 org/cm², en el respectivo orden) en comparación con Termales y Caserío Gallinazo con 127 y 236 org/cm² respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Densidad de organismos (org/cm²) por estaciones y muestreos. Código estación: E1 (Bocatoma), E2 (Ganadería), E3 (Romerales), E4 (Termales), E5 (Caserío Gallinazo).

Muestreo/Estación	M1	M2	M3	M4	Media E
E1	59	434	1548	1140	795
E2	9	580	1541	534	666
E3	4	907	744	335	498
E4	12	40	54	403	127
E5	2	320	305	317	236
Media M	17	456	838	546	

En cuanto a los índices de diversidad, los valores medios más bajos del índice de Shannon se reportaron en las estaciones Termales y Caserío Gallinazo (0,6 en ambas estaciones) y el más alto en la estación Ganadería (2,6) con variaciones significativas ($p < 0,05$). Este índice osciló entre 1,0 y 1,9 en las márgenes y fue sensible. Se observaron diferencias significativas entre estaciones ($H = 42,4552$, $gl = 4$, $p = 0,001$), en las márgenes ($H = 9,91596$, $gl = 2$, $p = 0,0776$) y no se hallaron variaciones significativas entre muestreos ($H = 1,5285$, $gl = 3$, $p = 0,6757$). El índice de uniformidad de Pielou estuvo en un rango de 0,6 y 0,8 entre muestreos, esta variación no fue significativa ($H = 7,4095$, $gl = 3$, $p = 0,0599$). Para las estaciones este índice osciló entre 0,4 y 0,8. De la misma forma que para el índice de Shannon, el índice de uniformidad solo presentó diferencias significativas ($H = 25,1003$, $gl = 4$, $p = 0,001$) en las estaciones.

Correlaciones entre los parámetros ambientales y la comunidad de algas perifíticas

El ACP sintetizó los patrones físicos, químicos e hidrológicos de la quebrada Tolda Fría-La María (Figura 4), indicando que el primer componente respondió por el 35,1% y el segundo por 47,8% de la varianza. Las concentraciones de especies químicas como el Hg, sulfuros, Ni, N amoniacal y NTK se encontraron asociadas al área positiva de los ejes I y II, relacionadas con estas variables se mostraron las márgenes de las estaciones Bocatoma y Ganadería después de la descarga. Complementariamente, el área positiva del eje I indica que el PT y las variables representantes de la corriente como caudal, velocidad y conductividad tienen una mayor influencia en la química del agua para las márgenes ubicadas después de la descarga en las estaciones Termales y Caserío Gallinazo.

El ACP realizado con los cuatro muestreos, las cinco estaciones en las dos márgenes y centro de la quebrada para los parámetros biológicos de la estructura como índices de diversidad de Shannon, dominancia de Simpson, equidad o uniformidad de Pielou y densidad de algas perifíticas (Figura 5), indica que el primer componente respondió por el 66,2% y el segundo por 88,6% de la varianza. El eje I positivo

muestra claramente una mayor influencia de la densidad y diversidad de algas en las estaciones Bocatoma, Ganadería y Romerales tanto antes como después de la descarga; un subgrupo compuesto principalmente por la estación Bocatoma antes de la descarga se encuentra relacionado al índice de equidad, por lo cual se supone una distribución más uniforme entre la densidad de algas en este sitio.

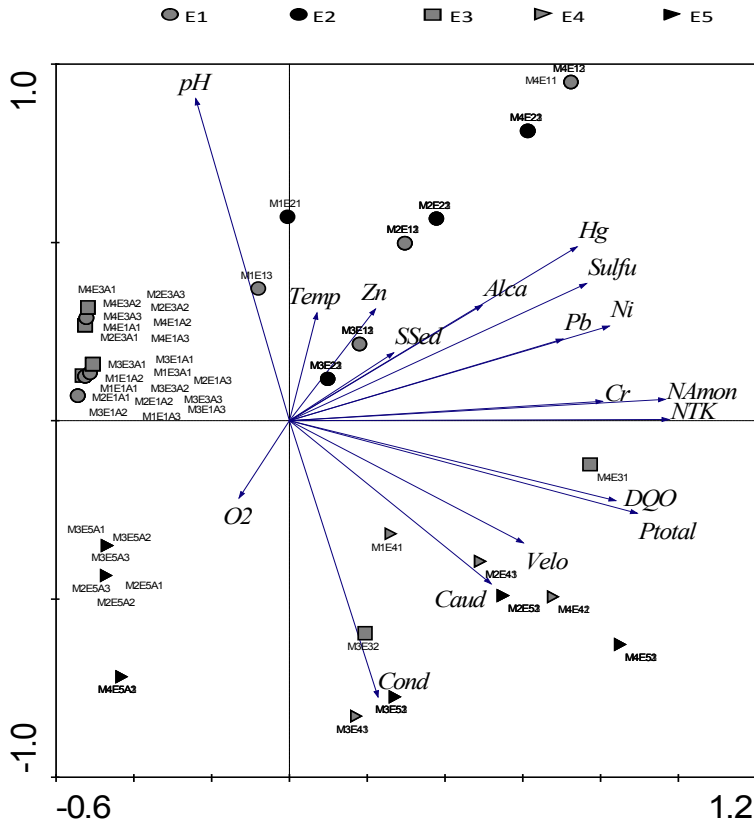


Figura 4. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables ambientales espacio–temporal en el área de estudio. M: muestreo, E: estación, A: antes de la descarga (los códigos sin la letra A indican que se midieron después de las descargas; 1 margen derecho, 2 centro, 3 margen izquierdo).

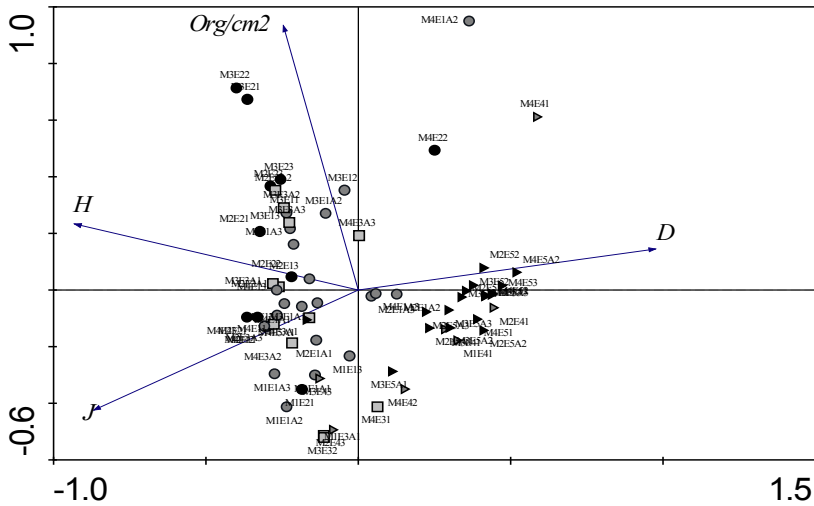


Figura 5. Análisis de Componentes Principales (ACP) espacio-temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en el área de estudio. M: muestreo, E: estación, A: antes de la descarga (los códigos sin la letra A indican que se midieron después de las descargas; 1 margen derecho, 2 centro, 3 margen izquierdo). J = Índice de Pielou; H = Índice de diversidad de Shannon & Weaver; D = Índice de Simpson.

El análisis de correspondencia canónica (ACC) registró una correlación significativa ($p = 0,002$) del 69% en cuanto a la explicación de la varianza acumulada en el cuarto eje entre el grupo de algas perifíticas y el grupo de 10 variables ambientales compuesto por conductividad, caudal, Ni, Pb, Zn, alcalinidad, DQO, Cr, P total, sulfuros (Tabla 5). Estas variables fueron significativas (valor $p < 0,05$) para un test de Monte Carlo. La variable que explicó el mayor porcentaje de la varianza de la abundancia y la distribución de las algas perifíticas fue la conductividad con un 21,1%, mientras que la de menor porcentaje de explicación correspondió a la concentración de sulfuros con un 6,9% (Tabla 6).

Tabla 5. Análisis de correspondencia canónica entre la densidad de algas perifíticas en respuesta a los parámetros ambientales evaluados

Ejes	1	2	3	4	Inercia Total
Autovalores	0.713	0.696	0.407	0.279	9.022
Correlaciones comunidad algas perifíticas-ambiente	0.962	0.959	0.878	0.869	
% Varianza acumulada, relación algas perifíticas-ambiente	23.5	46.4	59.9	69	
Test de significancia de todos los ejes canónicos	Traza=3.034		F-ratio =2.938		p-valor = 0.002

Tabla 6. Valores lambda, significancia y porcentaje de variación explicado por las variables significativas en el test de Monte Carlo en relación al análisis de correspondencia canónica entre la densidad de algas perifíticas en respuesta a los parámetros ambientales

Variable	λ	P	F	% Varianza explicado
Conductividad	0.64	0.002	5.14	21.1
Caudal	0.38	0.002	3.13	12.5
Ni	0.28	0.004	2.36	9.2
Pb	0.25	0.002	2.15	8.2
Zn	0.31	0.002	2.67	10.2
Alcalinidad	0.27	0.002	2.47	8.9
DQO	0.24	0.002	2.18	7.9
Cr	0.22	0.016	2.06	7.3
P Total	0.23	0.002	2.22	7.6
Sulfuros	0.21	0.006	2.04	6.9

DISCUSIÓN

Variables fisicoquímicas e hidrológicas

Pese a todas las variaciones importantes que presentaron los metales pesados analizados, los valores se encuentran dentro del criterio de calidad admisible para la destinación del recurso humano y doméstico (Tablas 2 y 7). Por consiguiente, los vertimientos provenientes de las minas no ejercieron un impacto agudo sobre las comunidades fitoperifíticas, sin embargo, es necesario establecer el efecto crónico que podrían ejercer los metales mediante ensayos de toxicidad.

Tabla 7. Criterios de calidad admisibles en metales pesados para la destinación del recurso humano y doméstico

Metal	Concentración (mg/L)	Norma
Zn	15	Decreto 1594/84
Ni	0.02	OMS/93 (Lenntech, 2011)
Cr (VI)	0.05	Decreto 1594/84
Pb	0.05	Decreto 1594/84
Hg	0.002	Decreto 1594/84

Comunidad fitoperifítica

Es natural que las diatomeas se encuentren mejor representadas en este tipo de ambientes ya que poseen un exoesqueleto de sílice, el cual es un elemento abundante en la mayoría de las aguas y además es el constituyente común de las rocas

ígneas, cuarzo y arena, las aguas volcánicas también lo contienen en abundancia. También es común que la mayoría de las morfoespecies de diatomeas registradas sean de la forma pennales, ya que comparada con las céntricas se encuentran morfológicamente mejor adaptadas. Esto se debe según ACS & KISS (1993 en MOSCHINI, 1999) a que estas algas perifíticas han adoptado diversas estrategias para sobrevivir en aguas con diferentes velocidades de la corriente, por ejemplo *Navicula* y *Nitzschia* son diatomeas móviles que poseen pedúnculos de adhesión. Además, se ha encontrado que las diatomeas podrían responder a cambios en el régimen del flujo del río, dado que son sensibles a la velocidad de la corriente y son buenas indicadoras de la contaminación acuática (GROWNS, 1999).

En el presente estudio se encontró que el género más abundante y con mayor número de morfotipos fueron las diatomeas con *Navicula* sp. presentando la abundancia relativa más alta (43%), seguido por *Chroococcus* sp. (26%), y *Nitzschia* sp. con un 10% (Figura 3a). Se ha reportado que los géneros *Navicula*, *Nitzschia* y *Rhoicosphenia* contienen morfotipos tolerantes a medios contaminados, siendo el género *Chroococcus* sp. característico de ecosistemas lénticos, el cual incrementa su abundancia durante el descenso de caudal, además varias especies de este género son componentes comunes de las rocas húmedas (WEHR & SHEATH, 2003). *Navicula* sp. fue el género más ampliamente distribuido y sus abundancias variaron desde el 1% hasta el 98% (Figura 3b). En la estación Bocatoma y Romerales los seis géneros más abundantes fueron *Navicula* sp., *Chroococcus* sp., *Reimeria* sp., *Rhoicosphenia* sp., *Nitzschia* sp. y *Amphora* sp. En la estación Ganadería fueron *Navicula* sp., *Pinnularia* sp., *Chroococcus* sp., *Nitzschia* sp., *Reimeria* sp. y *Gomphonema* sp. Para la estación Termales y Caserío Gallinazo el más abundante fue el género *Navicula* seguido de *Eunotia* sp., *Chaetophora* sp., *Stauroneis* sp. y *Microtamnion* sp. (Figura 6). De las características que presentan los géneros encontrados, *Rhoicosphenia* sp. se asocia a ambientes con una amplia gama de nutrientes y es tolerante a la contaminación, de igual manera que *Gomphonema* sp. y varias especies de *Nitzschia* sp. que se reconocen como indicadores de enriquecimiento orgánico dado que son heterótrofas de nitrógeno (LOWE, 1974 en WEHR & SHEATH, 2003). *Amphora* sp. se encuentra en aguas neutras a alcalinas, y a menudo en ambientes con altas concentraciones iónicas (KRAMMER & LANGE-BERTALOT, 1986; RONDA *et al.*, 1990 en WEHR & SHEATH, 2003). La baja abundancia que registran los géneros anteriormente mencionados, podría indicar que los niveles de nutrientes encontrados no son lo suficientemente altos para asociarlos a contaminación, además las condiciones ambientales del agua con las que se encuentran relacionados coinciden con las características químicas establecidas para las estaciones donde fueron registrados.

Los géneros que fueron menos frecuentes pertenecen a divisiones como *Cyanobacteria*, *Chlorophyta* y *Euglenophyta*, la mayoría se presentaron en el periodo de caudal bajo, y en las estaciones Bocatoma, Ganadería y antes de la descarga Romerales, que proporcionan condiciones más favorables en cuanto a pH, pero al mismo tiempo su baja frecuencia indica que posiblemente las variaciones de otros parámetros fisicoquímicos les impidió establecerse, presentándose una gran cantidad de morfoespecies accidentales con una abundancia menor al 1%.

Es importante destacar la abundancia del género *Navicula* sp. y *Eunotia* sp. en las estaciones E4 y E5, las cuales son las más impactadas ambientalmente, como se pudo establecer mediante las variables fisicoquímicas. En varios estudios han

encontrado que el género *Navicula* no solo presenta la mayor abundancia, sino también el más alto número de taxa (WU, 1999). Del género *Eunotia*, en general se menciona que la familia Eunotiaceae crece en función al pH, si son hábitats como los pantanos ricos en ácidos húmicos, o lagos de aguas cristalinas acidificadas naturalmente, o por fuentes de contaminación antropógenicas, registrándose particularmente algunas especies en hábitats con pH bajo (entre 2-3), además muestran un rango de tolerancia a concentración de nutrientes y contaminación orgánica (PEDROZO *et al.*, 2010).

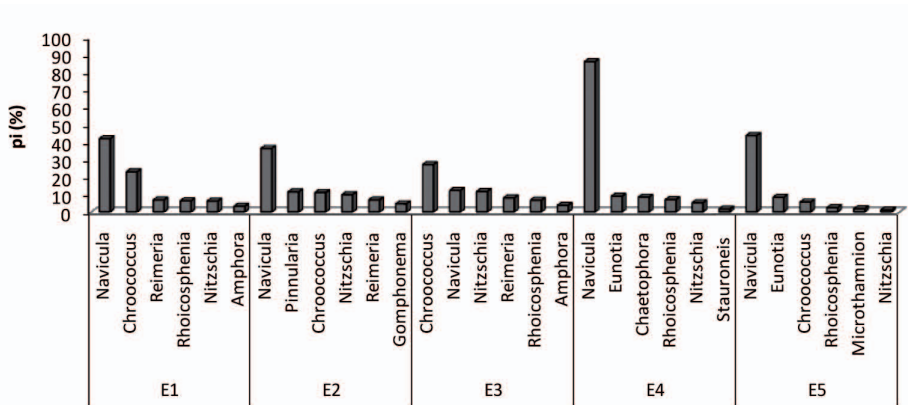


Figura 6. Abundancia promedio (%) por estaciones de los géneros más abundantes.

En el análisis de agrupamiento por composición, se puede observar que la comunidad registra un importante porcentaje de similitud numérica en la distribución a nivel espacial y temporal (aproximadamente 55%), lo cual sugiere que el grupo de morfoespecies es de presencia común en la mayoría de las estaciones y muestreos (Figura 7). Además, se evidencian dos grupos, el primero agrupa las estaciones Termales y Caserío Gallinazo (E4 y E5), donde se registraron solo tres géneros con una alta densidad (específicamente el género *Navicula*). El segundo grupo reúne a las estaciones Bocatoma, Ganadería y Romerales (E1, E2 y E3), donde se registraron la mayoría de los géneros y los grupos más aislados dentro del clúster, representan aquellos taxones que se registraron en solo una ocasión. Complementariamente a la información que proporcionan las abundancias relativas, en el análisis de agrupamiento por abundancia, en conjunto se observó que todas las estaciones y muestreos se agruparon con una similitud aproximada del 50% entre las estaciones Termales y Caserío Gallinazo, mientras que las tres primeras estaciones no son tan similares en cuanto a su abundancia, ya que se encontraron algas con densidades muy variables (Figura 7).

La baja densidad de algas perifíticas registrada en el periodo de caudal alto producto de las intensas lluvias, podría atribuirse a la alta velocidad de la corriente presentada en ese mismo periodo (0,9 m/s), ya que en otros estudios que analizan la relación entre las algas y la velocidad de la corriente han encontrado que el rango donde se alcanzan los mayores picos de biomasa de algas perifíticas se encuentra entre 0,1 m/s y 0,5 m/s. Velocidades superiores a 0,5 m/s podrían impedir el asentamiento y la estabilización de las comunidades perifíticas y las menores a 0,1 m/s reducen el

suministro de nutrientes para los organismos (RAVEN, 1992 en STEVENSON *et al.*, 1996; TRAAEN & LINDSTROM, 1983 en MONTOYA *et al.*, 2008; BIGGS *et al.*, 1998). Además, en un estudio realizado por GARI & CORIGLIANO (2004), encontraron que las algas suspendidas en las corrientes de aguas se originan del perifiton ya que se producen desprendimientos del sustrato e ingresan a la deriva, siendo los principales mecanismos la turbulencia de las corrientes, influencia de los caudales, entre otros. Esto también puede estar apoyando la baja densidad encontrada en el período de mayor caudal.

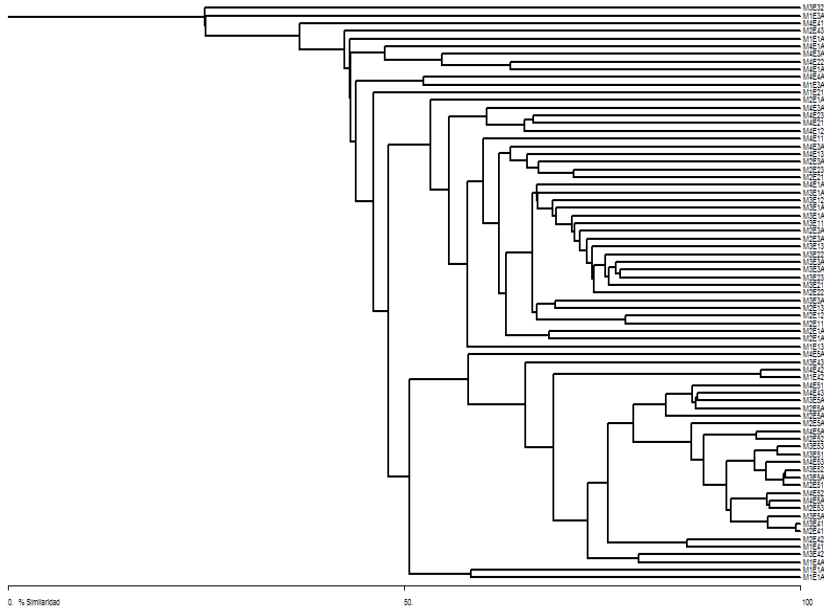


Figura 7. Análisis de agrupamiento de estaciones y muestreos utilizando el índice de similitud de Bray Curtis y ligamiento simple para la composición de algas perifíticas. Códigos: M= Muestreo E= Estación, A= Antes de la descarga, 1= margen derecho, 2= centro, 3= margen izquierdo.

Los índices de diversidad mostraron variaciones importantes entre estaciones, encontrándose que las estaciones Bocatoma, Ganadería y Romerales son las que mejor representan la comunidad con un mayor número de morfoespecies, por tanto, poseen mayor diversidad y se distribuyeron equitativamente. En las estaciones Termales y Caserío Gallinazo ocurre totalmente lo contrario, de tal manera que el género *Navicula* sp. toma una mayor de importancia por su alta densidad y más dominancia, asociándola a la contaminación orgánica que presenta la zona.

CONCLUSIÓN

La estructura de la comunidad de algas perifíticas en la quebrada Tolda Fría-La María, mostró cambios importantes espaciales y temporales reflejando las diferentes condiciones ambientales en esta área. La composición, densidad y

diversidad de algas perifíticas en conjunto con los parámetros fisicoquímicos mostraron variaciones asociadas entre las estaciones Termales y Caserío Gallinazo (las de mayor contaminación) con respecto a las estaciones Bocatoma, Ganadería, las cuales poseen las mejores condiciones ambientales para estos organismos. Además, la riqueza, diversidad y composición de algas perifíticas registradas, en conjunto con los resultados de las propiedades fisicoquímicas establecen que la calidad del agua de la quebrada Tolda Fria-La María es mejor en las primeras estaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas quién financió el proyecto “Estudio preliminar de la estructura de la comunidad de algas perifíticas como indicador de la calidad del agua y su relación con algunas variables fisicoquímicas en la quebrada Tolda Fria-La María” con código 0177909.

BIBLIOGRAFÍA

- ABUHATAB, Y. 2011.- Actividad metabólica diaria del biofilm en el sector medio de un río de alta montaña (río Tota, Boyacá - Colombia): Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Bogotá, 105p.
- ARCOS, M.P. & GÓMEZ, A.C. 2006.- Microalgas perifíticas como indicadoras del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Acta Nova*, 4 (6): 60-79.
- BARBOUR, M.T., GERRITSEN, J., SNYDER, B.D. & STRIBLING, J.B. 1999.- *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. 2d Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- BICUDO, C.E.M. & MENEZES, M. 2006.- *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 2. ed. São Carlos: Rima.
- BIGGS, B.J. 2000.- New Zealand Periphyton Guideline: Detecting, Monitoring and Managing Enrichment of Streams. NIWA, Christchurch: Ministry of the Environment. 124p.
- BIGGS, B.J., GORING, D.G. & NIKORA, V.I. 1998.- Subsidy and Stress Responses of Stream Periphyton to Gradients in Water Velocity as a Function of Community Growth Form. *Journal of Phycology*, 34: 598-607.
- BIGGS, B.J. & SMITH, R.A. 2002.- Taxonomic Richness of Stream Benthic Algae: Effects of Flood Disturbance and Nutrients. *Society of Limnology & Oceanography*, 47 (4): 1175-1186.
- BOURRELLY, P. 1968.- *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*. Tome II: Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Éditions N. Boubée y Cie. 438 S., Paris. 438p.
- BUSTAMANTE-TORO, C.A., DÁVILA-MEJÍA, C.A. & ORTÍZ-DÍAZ, J.F. 2008.- Composición y abundancia de la comunidad de fitoperifiton en el Río Quindío. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 18: 15-21.
- DÍAZ, C. & RIVERA, C.A. 2004.- Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26 (2): 381-394.
- DÍAZ, V., QUEIMALIÑO, C., MODENUTTI, B. & AYALA, V. 2000.- Effects of fish farm effluents on the periphyton of an Andean stream. *Arch Fish Mar Res*, 48 (3): 283-294.
- GARI, N. & CORIGLIANO, M. 2004.- La estructura del perifiton y de la deriva algal en arroyos serranos. *Limnetica*, 23 (1-2): 11-24.
- GROWNS, I. 1999.- Is genus or species identification of periphytic diatoms required to determine the impacts of river regulation? *Journal of Applied Phycology*, 11: 273-283.
- HARDING, W.R., ARCHIBALD, C.G.M. & TAYLOR, J.C. 2005.- The relevance of diatoms for water quality assessment in South Africa: A position paper. *Water SA*, 31(1): 41-46.
- HERNÁNDEZ-ATILANO, E., AGUIRRE, N.J. & PALACIO, J.A. 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.
- IDEA (INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES). 2012.- Disponible en: <http://www.manizales.unal.edu.co/idea/>
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. 1986.- Freshwater flora of Central Europe. Bacillariophyceae 2/1 Naviculaceae. (In German). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876p.

- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. 1988.- Freshwater flora of Central Europe. Bacillariophyceae 2/2 Epithemiaceae, Surirellaceae. (In German). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 596 p.
- KING, HW. & BRATER, E.F. 1962.- Manual de hidráulica. México: Ed. UTEHA. 536p.
- MASSERET, E., AMBLARD, C. & BOURDIER, G. 1998.- Changes in the structure and metabolic activities of periphytic communities in a stream receiving treated sewage from a waste stabilization pond. *Water Research*, 32 (8): 2299-2314.
- LENNTECH. 2011.- Water Treatment Solutions. Disponible en: <http://www.lenntech.es/aplicaciones/potable/normas/estandares-calidad-agua-oms.htm>.
- MENDES, J.S. & BARBOSA, J.E.L. 2004.- O índice de estado trófico como ferramenta no monitoramento da qualidade de água da barragem de acauã: sistema recém construído sobre o rio Paraíba - PB. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal, Brasil.
- MONTOYA, Y., RAMÍREZ-RESTREPO, J.J. & SEGECIN-MORO, R. 2008.- Diatomeas perifíticas de la zona de ritral del río Medellín (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 30 (89): 181-192.
- MOSCHINI, C.V. 1999.- Importancia, estructura e dinámica da comunidade perifítica nos ecossistemas Aquáticos continentais (en) POMPEO, M.L.M. (ed.) *Perspectivas da limnologia no Brasil*. São Luís (MA): Gráfica e Editora União. 198p.
- MORESCO, C. & RODRIGUES, L. 2010.- Structure and dynamics of the periphytic algae community of Irai reservoir, Paraná State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 32 (1): 23-30.
- PATRICK, R. 1988.- Importance of diversity in the functioning and structure of riverine communities. *Society of Limnology & Oceanography*, 33 (6, part 1): 1304-1307.
- PEDROZO, F., DÍAZ, M., TEMPORETTI, P., BAFFICO, G. & BEAMUD, S. 2010.- Características limnológicas de un sistema ácido: Río Agrío-Lago Caviahue, Provincia del Neuquén, Argentina. *Ecología Austral*, 20: 173-184.
- PIELOU, E.C. 1969.- Shannon's formula as a measure of specific diversity - its use and disuse. *Am. Nat.*, 100: 463-465.
- PIZARRO, H. & ALEMANNI, M. 2005.- Variables físico-químicas del agua y su influencia en la biomasa del perifiton en un tramo inferior del Río Luján (Provincia de Buenos Aires). *Ecología Austral*, 15: 73-88.
- POTAPOVA, M.G. & CHARLES, D.F. 2002.- Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography*, 29: 167-187.
- PRESCOTT, G.W., BICUDO, C.E. & VINYARD, W.C. 1982.- *A Synopsis of North American Desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermatae Section 4*. Lincoln, Univ. of Nebraska Press. 700p.
- RAMÍREZ, A.M. & PLATA-DÍAZ, Y. 2008.- Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana*, 13 (1): 199-216.
- RAMÍREZ, J.J. 2000.- *Fitoplancton de agua dulce aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Medellín: Ed. Universidad de Antioquia. 207p.
- RIVERA, C. & DONATO, J., 2008.- Influencia de las Variaciones Hidrológicas y Químicas Sobre la Diversidad de Diatomeas Bénticas: 83-102 (en) DONATO, J. (ed.) *Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- RIVERA-RONDÓN, C.A., ZAPATA, A.M., PÉREZ, D., MORALES, Y., OVALLE, H. & ÁLVAREZ, J.P. 2010. Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquia, Colombia). *Acta biológica Colombiana*, 15 (1): 145-166.
- RIVERA-RONDÓN, C. & DÍAZ-QUIRÓZ, C. 2004. Grandes Taxones de Fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum*, 9: 75-86.
- ROLDÁN, G. 1992. Fundamento de limnología neotropical. 1ª Edición. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 128p.
- ROSS, J., 1979. *Prácticas de Ecología*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A. 181p.
- SÁNCHEZ, F. 2004. Aforo con molinete. Universidad de Salamanca. En: http://web.usal.es/~javisan/hidro/practicas/molinete_metodo.pdf, 11p.
- SHANNON, C.E. & WEAVER, W. 1948. The Mathematical Theory of Communication. *Univ. Illinois, Press Urbana*, 27: 379-423.
- SIMPSON, E.H., 1949.- Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- SMITH, R. & SMITH, T. 2001. Ecología. 4a edición. Madrid: Addison Wesley. 642p.
- SMUCKER, N. & VIS, M. 2011. Acid mine drainage affects the development and function of epilithic biofilms in streams. *Journal of North American Benthology Society*, 30 (3): 728-738.
- STEVENSON, R.J., BOTHWELL, M.L., LOWE, R.L. & THORP, J.H. 1996. *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystem*. Series Editor. UK: Academic Press. 871p.
- TÜMPLING, W.V. & FRIEDRICH, G. (eds.). 1999. Methoden der Biologischen Wasseruntersuchung 2. *Biologische Gewässeruntersuchung*, 2: 310-331.
- UEHLINGER, V. 1964. Étude statistique des Méthodes de dénombrement planctonique. *Archives des sciences*, 17(2): 121-223.
- WEHR, J.D. & SHEATH, R.G. 2003. *Freshwater algae of North America: Ecology and classification*. California: Ed. Elsevier Science. 918p.
- WU, J.T. 1999. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia*, 397: 79-87.