

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# SUCESIÓN DE MICROALGAS PERIFÍTICAS EN TRIBUTARIOS DEL RÍO GAIRA, SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA, COLOMBIA

## Succession of Microalgae Periphytic in Tributaries the Gaira River, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia

Farid Jesús OSORIO ÁVILA<sup>1</sup>, Javier RODRÍGUEZ BARRIOS<sup>2</sup>, Yimmy MONTOYA MORENO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación en Ecología Neotropical (GIEN) Universidad del Magdalena. Carrera 13 n.º 111B-59. Barranquilla-Atlántico, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de investigación en Ecología Neotropical (GIEN) Universidad del Magdalena, Carrera 32 n.º 22 - 08. Santa Marta, Colombia.

<sup>3</sup> Grupo Geolimna, Universidad de Antioquia. Calle 67 n.º 53 - 108. Medellín, Colombia.

**For correspondence.** faridjeo@gmail.com

**Received:** 11 February 2014; **Returned for revision:** 1 April 2014; **Accepted:** 13 July 2014.

**Associate Editor:** Rafael Riosmena Rodríguez.

**Citation / Citar este artículo como:** Osorio Ávila FJ, Rodríguez Barrios J, Montoya Moreno Y. Sucesión de microalgas perifíticas en tributarios del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Acta biol. Colomb. 2015;20(2):119-131. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n2.41932>

### RESUMEN

Las microalgas poseen atributos para la bioindicación, el estudio de algas perifíticas en ecosistemas fluviales tropicales, es de vital importancia ya que permite interpretar la dinámica de estos ecosistemas con importancia ecológica y con vocación para ofrecer servicios de abastecimiento. Para este estudio se seleccionaron tributarios de la cuenca media del río Gaira (SNSM), se evaluó el proceso sucesional de microalgas perifíticas, siguiendo el avance de la comunidad desde enero hasta abril de 2012, mediante la metodología de sustratos artificiales. El propósito fue analizar la variación en la estructura de la comunidad, durante el proceso de sucesión y evaluar los factores ambientales que determinan esta variación en un río tropical. Los resultados destacan caudal, luz y oxígeno disuelto los cuales presentaron los valores más altos para el tributario C (Jabalí); el pH fue ligeramente básico para todos los sitios, la temperatura y conductividad presentaron valores más altos en el tributario A (Honduras). Durante las primeras semanas de exposición del sustrato *Melosira varians* y *Lyngbya* sp. fueron dominantes para los tributarios A y B (*La Picúa*), mientras que para el tributario C lo fueron *Fragilaria* sp., *Nitzschia* sp. y *Melosira varians*. Después de la cuarta semana de colecta se registraron los mayores valores de diversidad y riqueza de especies. Fueron más notorios los cambios en densidad que en composición de especies, a pesar de esto el proceso de sucesión fue completo y se evidenció la presencia de especies pioneras (*Lyngbya* sp., *Nitzschia* sp.), intermedias (*Melosira varians*, *Cocconeis placentula*) y tardías (*Suriella* sp.).

**Palabras clave:** especies intermedias, especies pioneras, especies tardías, microalgas, perifiton, sucesión.

### ABSTRACT

Microalgae have attributes for bioindication, the study of periphytic algae in tropical river ecosystems, is vital as it allows interpreting the dynamics of these ecosystems and ecological importance vocation to offer catering services. For this study were selected tributaries of the middle basin of Gaira (SNSM) River, the successional process periphytic microalgae was evaluated following the progress of the community from January to April 2012, using the methodology of artificial substrates. The purpose was to analyze the variation in community structure during the succession process and assess environmental factors that determine this variation in a tropical river. The results highlight flow, light and dissolved oxygen which presented the highest for tax C (*Jabalí*) values; the pH was slightly basic for all sites, temperature and conductivity showed the highest values in the tax A (*Honduras*). During the first weeks of exposure of the substrate *Melosira varians* and *Lyngbya* sp. were dominant for tributary A and B (*La Picúa*), while for the tributary C they were *Fragilaria* sp, *Nitzschia* sp and *Melosira varians*. After the fourth week of collecting the highest values of diversity and species richness recorded. Were greatest density changes in species composition, despite this the succession process was complete and the presence of pioneer species (*Lyngbya* sp, *Nitzschia* sp), intermediate (*Melosira varians*, *Cocconeis placentula*) and late (*Suriella* sp).

**Keywords:** algae, intermediate species, late species, periphyton, pioneer species, succession.

## INTRODUCCIÓN

Wetzel (1983), define el perifiton como una comunidad compleja de microorganismos adheridos a un sustrato (vivo o muerto, natural o artificial, orgánico o inorgánico) sumergido, esta definición toma en cuenta el aspecto estructural y funcional de estas comunidades y goza de gran aceptación por la comunidad científica y se mantiene en la actualidad. Las algas constituyen la mayor parte del perifiton (Moschini *et al.*, 2001), estas son los productores dominantes en ecosistemas fluviales de orden inferior tales como arroyos o tributarios (Hill, 1996). La mayoría de las algas de estos ambientes se adhieren sobre cualquier tipo de sustrato del lecho, así las que se desarrollan en piedras se conocen como epilíticas, sobre sedimentos suaves o fango epipélicas y las que crecen sobre plantas epifíticas (Hauer y Lamberti, 2007); las algas de agua dulce en su mayoría están representadas por cianobacterias, algas verdes (Clorophytas), diatomeas (Bacillariophyceae) y algas rojas (Rodophytas) (Stevenson *et al.*, 1996). Por su gran número de especies y la diversidad de sus formas de vida, las diatomeas son el principal grupo de algas en los ríos (Elosegui y Sabater, 2009).

El ensamble de las especies en la comunidad perifítica se desarrolla básicamente en tres etapas (Gamboa *et al.*, 2003); colonización, agrupamiento y crecimiento y formación de la matriz extracelular. La primera etapa se caracteriza por la presencia de bacterias y algas de menor tamaño; en la segunda etapa se da un crecimiento exponencial de las especies, a su vez algas de mayor tamaño con estructuras de fijación y algas coloniales menores colonizan el sustrato; la tercera etapa, se considera una fase madura en donde predominan diatomeas pedunculadas, cianobacterias y algas verdes (Esteves, 2011).

Stevenson *et al.*, (1996) afirman que el proceso de colonización, crecimiento y desarrollo de la comunidad fitoperifítica comienza con especies pioneras, de vida corta y tasas reproductivas altas (*Lyngbya*, *Melosira*, *Fragilaria*, etc.), que preparan el ambiente para la llegada de especies intermedias (*Cocconeis*, *Nitzschia*, etc.) y termina con la entrada de especies tardías de ciclos de vida más complejos y tasas reproductivas más lentas (*Surirella*, *Gomphonema*, *Closterium*, entre otras). Las especies pioneras son buenas colonizadoras, ya que presentan un crecimiento rápido; estas preparan el medio para la aparición de especies intermedias y tardías, las cuales pueden crecer y desplazar a las pioneras. Estas situaciones son comúnmente conocidas por el término de sucesión, que Begon (2007) define como patrones continuos, direccionales y no estacionales de colonización y extinción en un sitio por poblaciones. Es por tanto un proceso de desarrollo ordenado que muestra cambios en la estructura (composición, abundancia, riqueza y diversidad específica) de la comunidad en el tiempo, y es resultado de la modificación del medio físico por la comunidad (Odum, 1986; Lewis *et al.*, 1999).

La comunidad controla el proceso sucesional, pero el medio físico es el que maneja el tipo, la velocidad y los límites del mismo; esto presenta a la sucesión como respuesta a los cambios en la luz, los nutrientes y las pérdidas por herbivoría, lavado hidráulico, sedimentación y muerte fisiológica a que se ve sometida la comunidad (Margalef, 1983; Roldán y Ramírez, 2008).

En ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta no hay estudios publicados que evalúen los aspectos ecológicos de las comunidades de algas. No se conoce el patrón de colonización y sucesión de la comunidad de microalgas perifíticas y cómo este proceso se ve influenciado por las variables ambientales; lo cual hace necesario que en esta zona se realicen estudios que involucren teoría ecológica aplicada, generen nuevo conocimiento y, a la vez, sirvan de base para futuras investigaciones que permitan la evaluación ambiental integral en estos ecosistemas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

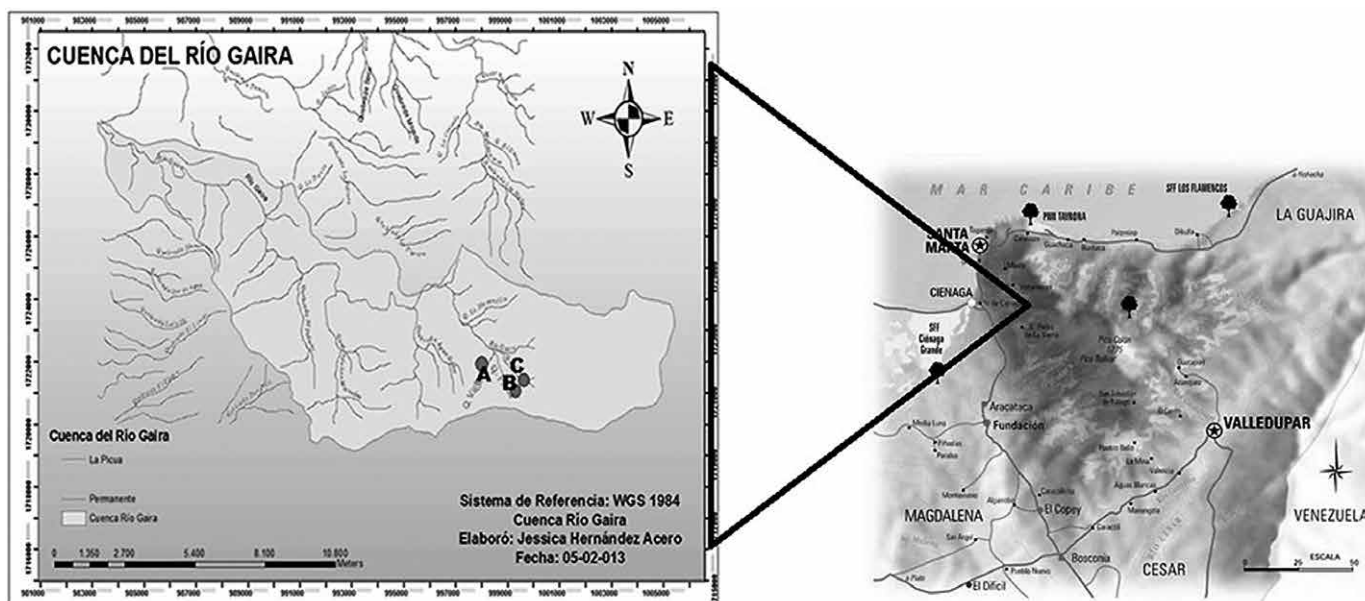
### Área de estudio

El sitio de muestreo comprende tres tributarios de la cuenca media del Río Gaira (Fig. 1), en esta zona existen grandes extensiones de cultivos de diversas variedades de café (Sierra *et al.*, 2009).

Se establecieron tres sitios de muestreo (tributarios) con diferente grado de intervención antrópica. Los impactos que caracterizan a cada tributario se identificaron de manera cualitativa, mediante visitas previas, lo que permite definir los siguientes impactos antrópicos: (1) deforestación de la cobertura vegetal nativa de la rivera, (2) modificación de la cobertura vegetal de la ribera, reemplazada por vegetación exótica o de interés agrícola (3) contaminación del agua por residuos orgánicos. El sitio de referencia o tributario en buenas condiciones, de gran interés para su conservación y protección, fue definido con base en estudios anteriores y visitas de campo, con una ubicación (altitudinal, geomorfológica y formación vegetal) similar a la de los sitios impactados (para que los resultados obtenidos sean comparativos entre sitios de referencia e impactados).

Los tributarios de primer orden seleccionados se encuentran en la cuenca media del Río Gaira en entre los sectores Honduras y Jabalí Alto, El primero llamado Honduras ubicado a 11° 07' 22.01" Norte y 74° 05' 42.05" Oeste, el segundo La Picúa a 11° 07' 0.7" Norte y 74° 05' 03.4" Oeste y el tercero El Jabalí a los 11° 07' 09.9" Norte y 74° 04' 52.3" Oeste.

El primer tributario Honduras, se encuentra en la parte baja de la Hacienda La Victoria a 900 m s.n.m y constituye una zona de alta intervención antrópica debido a la tala y quema del bosque, con fines de adecuación de la zona para el cultivo de café. Un tramo de este tributario atraviesa el lugar donde es procesado el café, esto supone un cambio drástico en la dinámica natural del sistema. El



**Figura 1.** Cuenca del Río Gaira y sitios de muestreo (A: Quebrada La Victoria; B: Quebrada La Picúa; C: Quebrada Jabalí). Modificado de Castaño (1999) (Elaboró: Jessica Hernández Acero).

segundo tributario se encuentra cerca de la parte alta de la hacienda a 1100 m s.n.m., este se encuentra intervenido en menor proporción que el anterior, sin embargo recorre una gran parte de los cultivos por lo que se ve expuesto a la entrada de sustancias químicas como pesticidas y nutrientes lo cual altera las condiciones naturales que el sistema pudiera presentar. El tercer tributario (Jabalí) se encuentra en la parte más alta de la hacienda a unos 1200 m s.n.m. y presenta poca intervención antrópica, por lo que se considera altamente conservado.

### Fase de campo

El estudio se llevó a cabo durante enero y marzo de 2012 en época seca, las muestras biológicas se colectaron en sustratos artificiales cerámicas (1,7cm x 0, 59cm), Se realizó un muestreo integrado de nueve montajes de colonización distribuidos en tres tributarios. Cada montaje estuvo compuesto por 30 cerámicas. Los sustratos fueron ubicados en el lecho del tributario (10 – 20 cm de profundidad aprox.), se dejaron por un tiempo de ocho semanas según lo sugerido por Lobo y Buselato (1985). Se tomó semanalmente una lámina de cerámica para cada análisis (cualitativo y cuantitativo) y con ayuda de un cepillo de cerdas duras se retiró 1 cm<sup>2</sup> de la biopelícula, el material se transfirió a un envase plástico y se preservó en solución Transeau (Bicudo y Menezes, 2006).

Adicional para cada tributario semanalmente se midieron *in situ* con una sonda Multiparámetro marca WTW Multi 350i/SET las variables: temperatura del agua y ambiental (°C), pH (unidades de pH), conductividad eléctrica (μS/cm), oxígeno disuelto (mg/L), y mediante un

Luxómetro MLM-1010 MINIPA se evaluó la cantidad de luz (LUX) en cada estación de muestreo. Se tomaron muestras semanales de agua para determinación de nutrientes. En laboratorio se hizo análisis de nitritos (μg/L-N-NO<sub>2</sub>) y amonio (μg/L-N-NO<sub>4</sub>) por el método colorimétrico, nitratos (μg/L-N-NO<sub>3</sub>) por el método de reducción de cadmio y fosfatos (μg/L-P-PO<sub>4</sub>) por el método del ácido ascórbico (APHA, 2005).

Las variables hidrológicas: velocidad de corriente (m/s) y caudal (m<sup>3</sup>/s) se midieron durante cada muestreo con ayuda un correntómetro marca OTT Z30.

### Fase de laboratorio

Las muestras biológicas se procesaron en laboratorio, el material que presentó abundante materia orgánica se limpió mediante el método de oxidación en peróxido de hidrógeno (CEN/TC 230, 2002).

Se montaron los preparados fijos en Naphrax y placas para Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) (CEN/TC 230, 2002), las muestras se fotografiaron en el laboratorio de microscopía electrónica de la Sede de Investigación Universitaria (SIU) de la Universidad de Antioquia. .

### Identificación

Para la determinación taxonómica se utilizaron las claves y descripciones de Lange-Bertalot (1993, 1999, 2001), Bicudo y Menezes (2006) y Tremarin *et al.*, (2010).

### Determinación cualitativa y cuantitativa de microalgas

De la fracción de muestra reservada para el análisis cuantitativo, las muestras se concentraron, por sifoneo,

hasta un volumen de 10 ml. El conteo se realizó en cámara de conteo Sedgwick-Rafter de 2 ml y se procedió a contar campos aleatorios hasta 300 células del taxón más abundante (Ramírez, 2000), la cuantificación de los organismos se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Hauer y Lamberti (2007) donde la densidad se expresa en número de células por área de superficie ( $\text{cm}^2$ ).

### Análisis de datos

Para evaluar la comunidad de microalgas perifíticas se estimó la riqueza específica, el índice de diversidad de Shannon y dominancia de Simpson.

Se realizó un escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) para identificar tendencias espaciales y temporales de las variables ambientales y fisicoquímicas que influyen en la estructura del ensamblaje de microalgas en los diferentes tributarios evaluados. Se hizo un análisis descriptivo con gráficas de barras para representar las abundancias absolutas de microalgas durante todo el estudio.

La estadística inferencial se realizó mediante análisis de varianza y de correlación, que requirieron la comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de los residuos, los cuales no se cumplieron, por lo que se realizaron pruebas no paramétricas. El análisis de correlación de Spearman ( $r_s$ ), se usó para evaluar la asociación entre las variables ambientales, entre tributarios y muestreos. El Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) se utilizó para determinar la relación de las variables ambientales evaluadas con las principales formas de microalgas encontradas. El paquete estadístico utilizado para los diferentes análisis estadísticos fue el R versión 2.11.01.

## RESULTADOS

### Variables ambientales

Los valores absolutos de las variables físicas, químicas e hidrológicas evaluadas para cada uno de los tributarios se muestran en la Tabla 1. En general, todos los sitios presentan bajos valores de caudal, con concentración de nutrientes

**Tabla 1.** Valores promedios de las variables físicas, químicas e hidrológicas registradas en cada tributario. Caudal ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), cond. Conductividad ( $\mu\text{S s}^{-1}$ ), Luz (lux), Oxígeno Oxígeno Disuelto ( $\text{mg L}^{-1}$ ), pH (Unidades de pH), Temp. Temperatura agua ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\text{NH}_4$ . Amonio ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $\text{NO}_2$ . Nitratos ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $\text{NO}_3$ . Nitritos ( $\text{mg L}^{-1}$ ). A= La Victoria, B= La Picúa, C= Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.

Tributario	M	Amonio	Nitrito	Nitrato	Oxígeno	pH	Cond	Caudal	Velocidad	Luz	Temp.
La Victoria	M1	0,3	0,84	0,9	7,68	8,1	76	0,77	0,88	800	17,6
	M2	0,3	0,78	0,83	6,54	7,45	76	0,12	0,3	400	18,3
	M3	1,11	1,18	3,43	5,62	7,81	76	0,62	0,8	300	17,1
	M4	1,02	0,88	2,67	6,08	9,21	76	0,14	0,24	100	18,6
	M5	0,19	0,15	0,52	5,1	9,24	76	0,88	1,12	800	17,9
	M6	0,21	0,47	0,9	5,6	9,63	77	0,78	1,09	200	17,8
	M7	1,91	0,47	2,86	7,69	6,6	76	0,12	0,2	4400	19
	M8	0,14	0,35	0,66	7,9	7,1	77	0,3	0,43	2300	18,2
La Picúa	M1	0,03	0,29	0,43	6,9	6,64	43	0,17	0,46	3800	17,2
	M2	5,91	0,56	0,39	5,93	6,43	43	0,02	0,16	4700	17,6
	M3	0,61	0,5	1,08	5,96	8,2	47	0,09	0,04	6300	17,8
	M4	0,09	0,49	0,97	5,82	8,5	43	0,03	0,22	1500	17,7
	M5	0,35	0,84	3,54	4,98	7,36	44	0,05	0,32	5000	17,3
	M6	0,08	0,31	0,68	6,68	9,1	44	0,04	0,29	2700	17,9
	M7	0,17	0,35	1,1	7,15	7,7	44	0,04	0,25	2300	18,5
	M8	0,11	0,44	0,99	7,6	8,3	43	0,07	0,29	2800	18,1
Jabalí	M1	0,1	0,38	0,73	8,16	8,21	44	0,51	0,73	50100	15,9
	M2	0,11	0,56	0,75	6,53	7,23	43	1,59	0,37	449	16,6
	M3	2,48	0,41	5,24	6,17	8,14	44	1,48	1,15	3300	15,2
	M4	0,18	0,68	0,96	6,38	9,15	45	1,24	1,33	3100	15,3
	M5	0,3	0,37	0,88	4,96	8,42	46	1,32	1,32	51000	15,3
	M6	0,41	0,35	0,61	7,2	8,08	46	1,25	1,29	3400	17,1
	M7	0,15	0,6	2,81	7,58	8,5	46	1,24	1,27	3800	17,3
	M8	0,16	0,59	0,72	7,83	8,9	45	1,24	1,34	2600	17,2

baja y pH básico. Los mayores valores de oxígeno 8,16 mg/L, pH 9,15, Luz 51000 lux y caudal 1,59 m<sup>3</sup>/s se registraron en el tributario C (menor impactado); en el tributario A (mayor impactado), se presentaron los mayores valores de conductividad 77 µS/cm, temperatura 19 °C y amonio 1,91 mg L<sup>-1</sup>. El tributario B (medianamente impactado), presentó los valores más altos de nitratos (3,54 mg L<sup>-1</sup>).

La velocidad de corriente fue una de las variables que mostró mayor diferencia entre sitios, los valores más altos combinados para los tres tributarios se presentaron durante el quinto muestreo; el tributario La Picúa (medianamente impactado), presentó los menores valores de velocidad de corriente y, durante la tercera semana de colonización, llegó a un mínimo de 0,043 m/s; los tributarios La Victoria y La Picúa presentaron mucha variación durante los ocho muestreos, por el contrario en Jabalí estos valores se mantuvieron estables (Fig. 2).

Los resultados del análisis de ordenación (nMDS), muestran que, dentro del grupo de factores evaluados, la mayor variación se presentó en la química y física del sistema, seguida de la hidrología. La distribución de los tributarios en el análisis muestra la importancia del tributario C (menor impactado) con una variación determinada por la gran entrada luz y el aumento del caudal (Fig. 3 superior); el tributario B (medianamente impactado) está más relacionado con factores químicos como el pH y Nitritos; en el tributario A (mayor impactado) la variación estuvo determinada por el oxígeno y la temperatura. El análisis npMANOVA indica que los tramos evaluados presentan una diferencia en cuanto a

las variables ambientales que los caracterizan (Seudo F=4,85, g.l. 2,  $p=0,002$ ) (Fig. 3 superior).

## VARIABLES BIOLÓGICAS

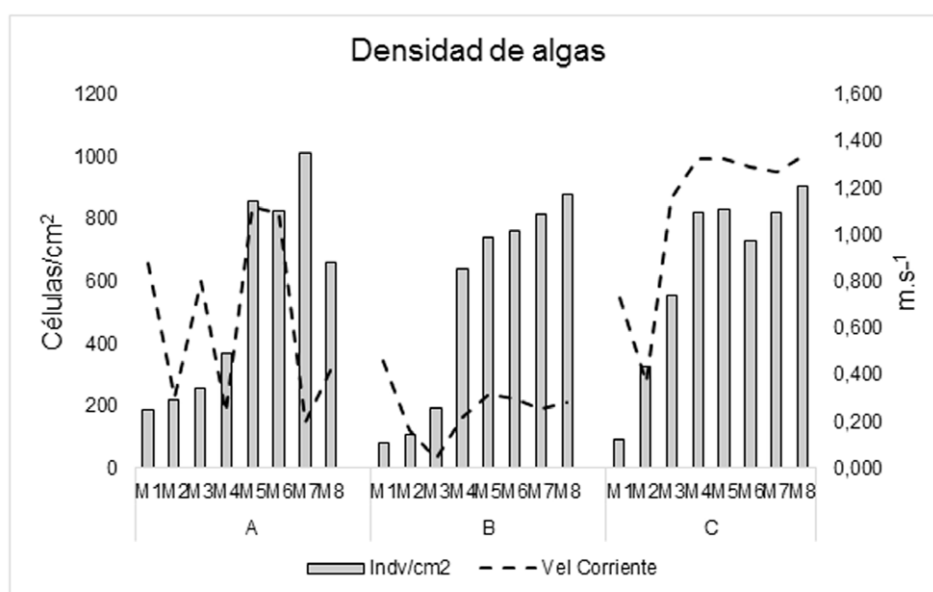
### Estructura y dinámica de la comunidad

La diversidad ecológica de la comunidad presentó una ligera variación durante los ocho muestreos (Fig. 3 inferior), el valor más bajo se dio para el tributario La Victoria en el primer muestreo, mientras que la diversidad más alta la tuvo el tributario Jabalí durante la cuarta semana de colecta. El tributario que en promedio presentó el mayor valor de diversidad fue La Picúa (Tabla. 2), caso contrario ocurrió con Jabalí y La Victoria, en donde se presentó baja diversidad en las primeras semanas de colecta y posteriormente aumento con el tiempo, lo que dio lugar a la variabilidad presentada en este atributo ecológico.

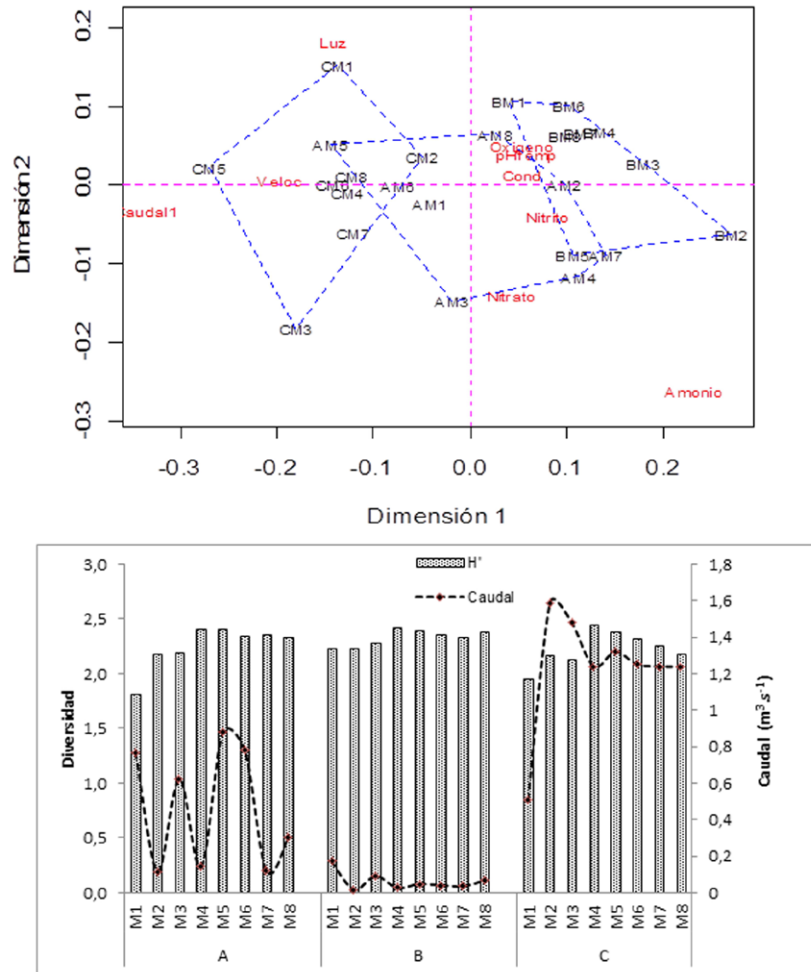
#### *La Victoria (tributario A)*

Durante las ocho semanas de muestreo, realizadas en La Victoria, se colectaron 4395 células, distribuidos en 20 géneros y 25 taxa, de los cuales *Bacillariophyceae* registró el mayor aporte con 23 especies, las *Chlorophytas* y *Cyanophytas* solo presentaron un taxón cada una.

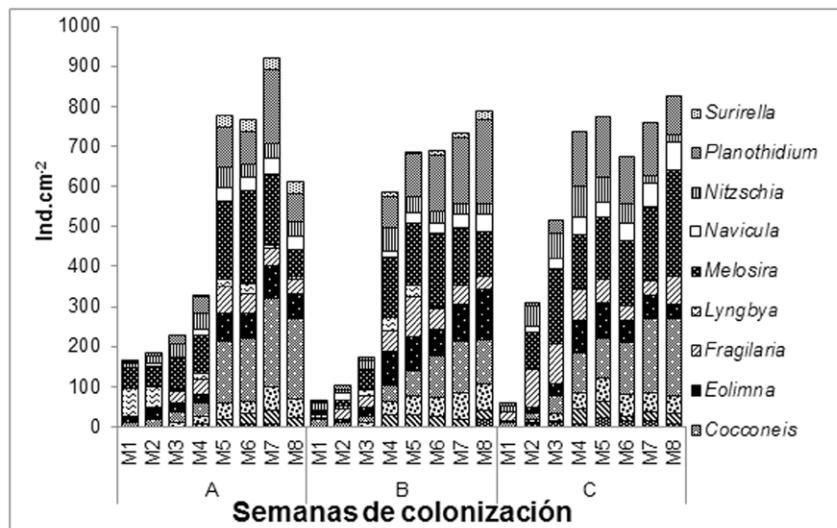
*Melosira varians* fue una de las especies con mayor abundancia, común para todos los muestreos; las primeras cuatro semanas mantuvo un aumento progresivo entre 50-100 células, después de la cuarta semana duplicó su densidad llegando a un máximo de 229 células y finalmente el octavo muestreo sufre pérdidas y reduce su densidad a 67 células. El mismo patrón de se observa en *Cocconeis*,



**Figura 2.** Variación semanal en la Densidad de algas de los tributarios estudiados. A= La Victoria, B= La Picúa, C= Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.



**Figura 3.** Superior: Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS), con la distancia Bray-Curtis, para ordenar los tributarios y muestreos por sus descriptores ambientales. A: La Victoria; B: La Picúa; C: Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización. Estrés: 0.12. Inferior: Variación semanal de los valores de diversidad Shannon, con relación a los valores de caudal de cada muestreo.



**Figura. 4** Abundancia relativa semanal de los principales géneros de microalgas perifíticas de los tributarios estudiados. A= La Victoria, B= La Picúa, C= Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.

**Tabla 2.** Índice de diversidad con valores promedio de los tres tributarios durante ocho muestreos. A= La Victoria, B= La Picúa, C= Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.

Tributario	Muestreo	Riqueza Numérica	Células. cm <sup>2</sup>	Dominancia D	Diversidad H'
A	M1	11	63	0,2317	1,809
A	M2	14	73	0,1507	2,174
A	M3	14	86	0,1506	2,181
A	M4	17	122	0,1227	2,394
A	M5	18	287	0,1222	2,396
A	M6	18	276	0,1406	2,33
A	M7	19	338	0,1309	2,342
A	M8	17	221	0,141	2,32
Promedios		16	183	0,1488	2,24
B	M1	12	27	0,1362	2,219
B	M2	12	37	0,1276	2,227
B	M3	15	65	0,137	2,27
B	M4	18	214	0,1169	2,41
B	M5	17	246	0,1157	2,384
B	M6	18	253	0,1309	2,342
B	M7	18	272	0,1258	2,328
B	M8	17	292	0,1246	2,37
Promedios		16	176	0,1268	2,38
C	M1	11	30	0,1355	2,161
C	M2	13	78	0,1994	2,341
C	M3	16	185	0,1774	2,115
C	M4	18	274	0,1066	2,437
C	M5	17	278	0,1142	2,378
C	M6	18	243	0,1311	2,306
C	M7	17	274	0,1419	2,244
C	M8	16	302	0,1615	2,176
Promedios		16	212	0,146	2,26

*Planothidium*, *Eolimna* y *Fragilaria*. Géneros como *Surirella* y *Chamaepinnularia* sólo aparecen después de varias semanas de exposición del sustrato (Fig. 4).

Otros géneros que hicieron aportes importantes a la densidad de algas de la comunidad de algas fueron *Navicula*, *Caloneis*, y *Achnanthes*. Del grupo de *Cyanophytas* el género *Lyngbya* estuvo presente las primeras semanas de colonización, después de la quinta semana desapareció.

El tributario La Victoria tuvo valores de riqueza (25 taxa) y dominancia (D: 0,14) por encima de Jabalí (menor impactado), sin embargo, fue menos diversa (Tabla. 2); a su vez, fue notoria la presencia de algunos organismos con anomalías como *Cocconeis placentula* que presentó formas teratológicas (Fig. 5).

#### La Picúa (tributario B)

En La Picúa se registraron 2872 células distribuidas en 25 especies pertenecientes 20 géneros, de los cuales *Bacillariophyceae* registró 24 especies, *Cyanophyta* solo un

taxa. La Picúa, a pesar de presentar un menor número de células, mostró una diversidad mayor (H' = 2,547) respecto a los otros tributarios; esto debido a las pocas abundancias de los taxa dominante; en cierto grado esto refleja el poco impacto al que se ve sometido (D= 0,12) (Tabla. 2).

En la Picúa, *Melosira*, *Planothidium* y *Chamaepinnularia* se muestran como colonizadoras de estadios intermedios, acumulando un gran número de organismos luego de varias semanas de colonización; *Cocconeis*, *Navicula*, *Nitzschia*, hicieron aportes importantes a la densidad total de la comunidad (Fig. 4). *Lyngbya*, del grupo de *Cyanophytas*; aunque estuvo presente las primeras semanas de colonización, no presentó abundancias significativas y, para las últimas semanas, no se vuelve a encontrar.

#### Jabalí (tributario C)

Durante los ocho muestreos realizados en Jabalí se registraron 4970 células distribuidos en 20 géneros y 22 especies, de los cuales *Bacillariophyceae* realizó el mayor

aporte con 21 especies, el grupo *Chlorophyta* solo hizo un aporte. Jabalí presentó la mayor cantidad de organismos y un valor alto de diversidad ( $H' = 2,44$ ) (Tabla. 2), lo que se relaciona con el grado de conservación que presenta.

La fase de acumulación y crecimiento de la comunidad de microalgas ocurre de forma mucho más eficiente y rápida en Jabalí, en comparación con los otros tributarios: así pues, entre el tercer y cuarto muestreo, la comunidad da señales de estabilidad en términos de abundancia y composición de especies (Fig. 4).

### Densidad y estrategias morfológicas de la comunidad

Las variaciones semanales en la densidad de microalgas indica cambios en los patrones de abundancia de la comunidad con relación a la edad de sucesión; sin embargo, aunque hubo cambios en la densidad, la composición de las especies se mantuvo estable con la edad de sucesión, es decir, no aparecen nuevas especies después de algún tiempo de colonización (cinco semanas) y la densidad de la comunidad no aumenta de forma considerable y el sustrato llega al límite de su capacidad de carga (Fig. 2).

Semanalmente en las muestras colectadas se halló que la composición en cuanto a morfología y especies dominantes varió; la forma de estos organismos es una característica interesante a lo largo de la sucesión: la forma prisma elíptico y cilindro fueron las que presentaron mayor aporte a la estructura de la comunidad, seguidas por las formas de prisma sobre paralelogramo, caja y *Cymbelloide* (Fig. 6 izq.). En la forma de prisma elíptico los géneros *Fragilaria* sp., *Achnanthes* sp. y *Navicula* sp., fueron los que más aportaron a la densidad; para la forma de cilindro, la totalidad de los aportes fueron hechos por *Melosira varians*.

El ACC realizado para resumir la relación de las principales formas de microalgas con las variables ambientales evaluadas (Fig. 6 derecha) describe, con los dos primeros ejes significativos, el 54,9 % de la varianza de la morfología de las especies. Las formas cilindro y prisma sobre paralelogramo se relacionan de forma positiva con el aumento en los niveles de amonio. Por el contrario, las formas de caja, prisma elíptico y *Cymbelloide* disminuyen a medida que se presentan valores más altos de oxígeno y presencia de luz. La temperatura describe el comportamiento de las formas *Gomphonemoides* y prisma en forma de hoz.

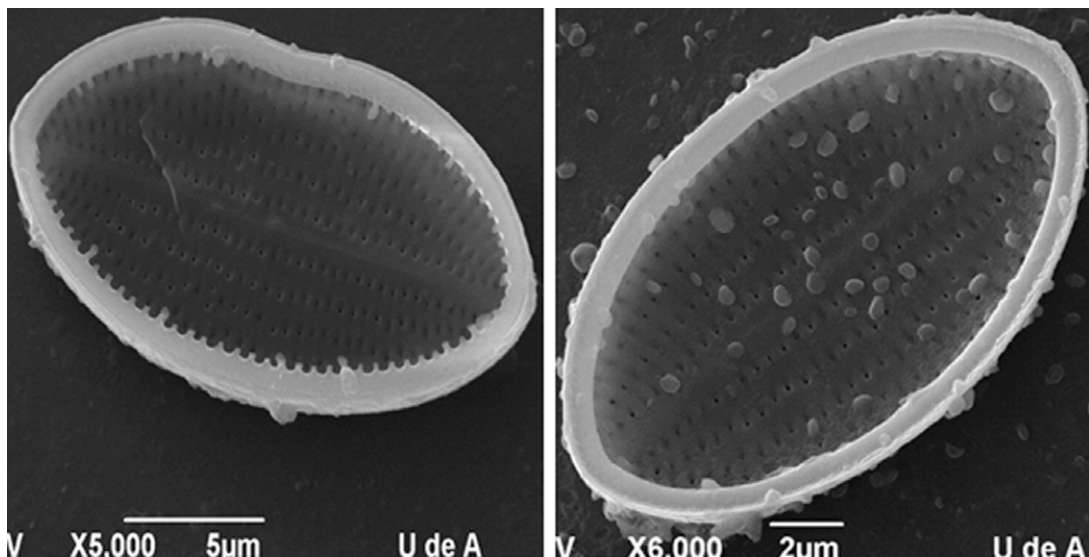
### DISCUSIÓN

#### Variables ambientales

Durante el periodo de estudio, los tres sistemas presentaron ligeros cambios en cuanto a las variables ambientales evaluadas; las concentraciones de nutrientes, amonio, nitratos y nitritos (Tabla 1), están dentro del rango de concentraciones tolerables que favorecen el crecimiento de las comunidades de microalgas periféricas (Hall *et al.*, 2003).

#### Tributario A (La Victoria, mayor impactado)

El aumento en la temperatura del agua, especialmente durante las últimas semanas de colonización y el caudal bajo llevaron a mayores valores de conductividad, generalmente altos, debido a que este tributario atraviesa asentamientos humanos y recibe desechos producto del proceso de tratamiento del café. Los valores de conductividad de este tributario son altos  $77 \mu\text{S cm}^{-1}$  comparados con los del cauce principal del Río  $40 \mu\text{S cm}^{-1}$ , Rodríguez (2013) reporta valores similares ( $38 \mu\text{S cm}^{-1}$ – $40 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) para



**Figura 5.** Fotografía de Microscopía Electrónica de Barrido (): *Cocconeis placentula* encontrada en el tributario La Victoria. **Izquierda:** Forma teratológica (detalle constricción de la valva en la parte superior central); **Derecha:** Forma común. Ambas en vista interna.



el río en esta misma zona; este aumento sustenta, en cierta parte, el impacto que tiene la producción agrícola y los asentamientos humanos en este recurso hídrico. Un comportamiento similar para la conductividad, en relación con la caracterización en ríos de alta montaña tropical, fue reportado por Donato y Martínez (2003) en el río Tota.

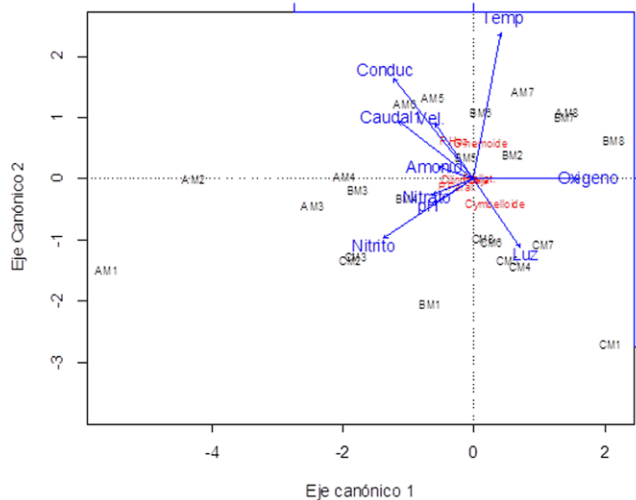
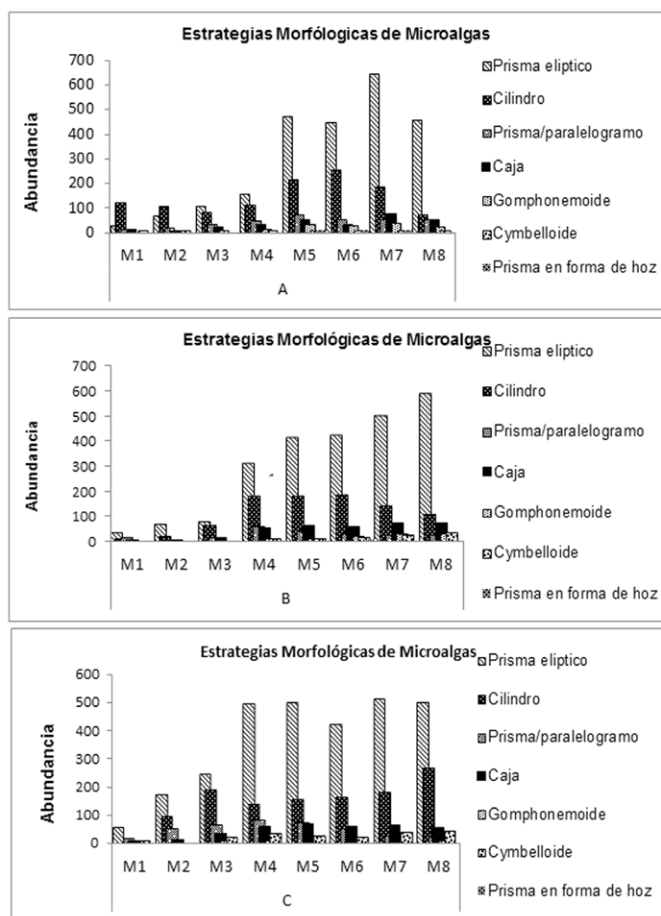
**Tributario B (La Picúa, medianamente impactado)**

Las variables químicas fueron el factor determinante; este tributario recorre un área de explotación agrícola (cafetera); y lo que causa mayor impacto es la extracción de la vegetación nativa (observada en campo). El drenaje del agua depende de que exista una cubierta vegetal permanente; cuando el suelo queda expuesto, se genera un disturbio que lo afecta (Catalán y Catalán, 1987); desde luego, la variabilidad de sustancias que pueden ser liberadas al agua de este tributario es enorme; esto representa un disturbio para las comunidades, en términos de composición y abundancia, y para los organismos y sus procesos metabólicos.

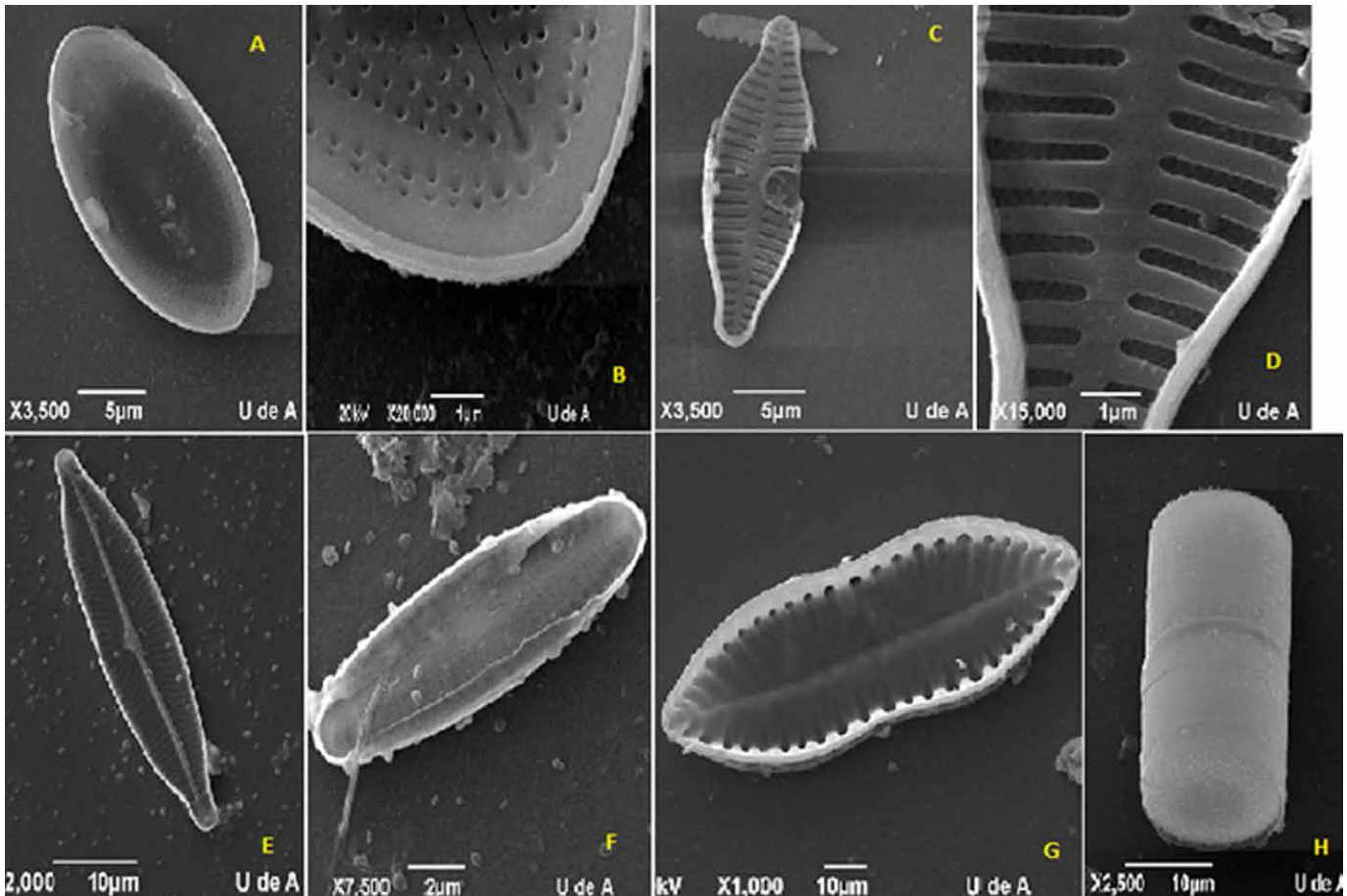
**Tributario C (Jabalí, menor impactado)**

Presentó condiciones ambientales que estuvieron determinadas principalmente por el caudal (Fig. 3 superior) y la penetración lumínica. Las microalgas del perifiton son afectadas, en orden jerárquico, por las variables climáticas, hidrológicas, físicas y químicas. Pequeñas variaciones en el caudal son suficientes para desestabilizar las comunidades de microalgas perifíticas, y retrocederlas de estadios de sucesión avanzados, lo cual mantiene la comunidad en etapas tempranas de sucesión (Margalef, 1993).

La luz fue un factor determinante para este tributario, debido a la importancia que tiene un adecuado nivel de radiación para los autótrofos; los niveles óptimos de luz difieren entre diferentes grupos de fotosintetizadores y existe evidencia de que la intensidad de la luz es el principal factor discriminante en la composición de la comunidad de algas (Ghosh y Gaur, 1994; Hill, 1996); la división Chlorophyta requiere mucha más intensidad de luz que las Bacillariophyceae (diatomeas) y las Cyanophytas; el registro



**Figura 6.** Derecha: Relación generada por el ACC entre las variables ambientales y las formas de microalgas perifíticas. A: La Victoria; B: La Picúa; C: Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización. Izquierda: Variación semanal de las principales estrategias morfológicas de microalgas perifíticas.



**Figura 7.** Imágenes de microalgas perifíticas observadas en Microscopía Electrónica de Barrido: A, B: *Cocconeis placentula* detalle terminación del rafe, C, D: *Planothidium lanceolatum* detalle areolas bilineales, E: *Navicula* sp. 2, F: *Amphora* sp., G: *Surirella Susanae*, H: *Melosira varians*.

de *Closterium parvulum* (Chlorophyta) en este tributario, con mayores abundancias que en los otros sitios, mostró que la disponibilidad de luz es un factor que controla la densidad de las algas en los ríos tropicales.

### Variables biológicas

#### **Patrón de sucesión de la comunidad de microalgas perifíticas**

Para los tres sistemas, la densidad de algas se incrementó con la edad de sucesión y este aumento estuvo regulado principalmente por los *taxa* dominantes; la mayoría de las especies dominantes pioneras mantuvieron poblaciones con densidades altas, sin embargo para el caso del género *Lyngbya* se aprecia un proceso de sustitución ya que desaparece de los tributarios La Victoria y La Picúa al tiempo que se da el crecimiento de especies de colonización intermedia como *Cocconeis placentula* y *Planothidium* sp. A pesar de esto, para los tres tributarios, el proceso de sucesión de microalgas perifíticas está caracterizado por la acumulación en las especies, más que por el cambio en la composición,

concordando con lo encontrado por Castellanos y Donato (2008) en el río Tota.

Para la comunidad de microalgas perifíticas en los tributarios estudiados, se pudieron apreciar cuatro fases en el desarrollo: colonización, acumulación, crecimiento y pérdida.

#### **Tributario A (La Victoria)**

Presentó las cuatro fases muy marcadas: la primera, fase de colonización, se dio durante la primera semana de exposición de los sustratos se caracterizó porque el sustrato virgen recibió los primeros inóculos de algas presentes en la columna de agua, entre ellas algunas Cyanophytas pero, en su mayoría, especies de diatomeas como *Cocconeis placentula* y *Melosira varians*; especies pioneras a intermedias.

La segunda fase, acumulación, se presentó entre la segunda y la cuarta semana, estuvo caracterizada por la aparición de nuevas especies como *Chamaepinularia* sp. y *Navicula* sp. colonizadoras pioneras de bajo perfil debido a que colonizan

muy rápido sustratos expuestos (Bicudo y Menezes, 2006); a su vez en esta fase continua un aumento, aunque leve en la densidad de las especies pioneras.

La tercera fase, crecimiento, estuvo marcada por la aparición de un nuevo género en la comunidad, se trata de *Surirella* y el aumento significativo en la densidad de las algas dominantes tardías (*Planothidium* sp., *Nitzschia* sp. y *Surirella*) (Fig. 4), y de algunas de las especies tempranas (*Melosira varians*, y *Cocconeis placentula*); en esta etapa se aprecia la desaparición de especies pioneras como *Lyngbya* sp., que desaparece paulatinamente a medida que se encuentra un mayor número de células de *Surirella* sp. en el sustrato. Los estados tempranos de sucesión son dependientes del aporte de especies por la corriente de agua y cuando las especies tardías comienzan a tener un crecimiento importante, desplazan a las tempranas y se reduce la diversidad de la comunidad (Mc Cormick y Stevenson, 1991).

La cuarta fase, pérdida, se presentó entre la séptima y octava semana de exposición, y se debió principalmente a dos razones: la primera, el sustrato alcanzo su capacidad de carga; la segunda razón, el aumento en el caudal de las últimas semanas generó inestabilidad en el sustrato lo que provocó el desprendimiento de algunas formas de algas, principalmente las formas cilíndricas representadas fundamentalmente por *Melosira varians*, las cuales forman largas colonias en formas de cadenas y quedan mucho más expuestas a la acción de la corriente; pequeñas variaciones son suficientes para mantener inestables a las poblaciones retrocediéndolas a etapas previas de sucesión.

#### **Tributario B (La Picúa)**

Solo se observaron las tres primeras fases; la colonización durante la primera semana de exposición del sustrato; sin embargo, el número de algas por especie fue menor comparado con los valores encontrados en La Victoria; en términos de composición, La Picúa y La Victoria fueron similares ya que presentaron las mismas especies; esto probablemente se deba al impacto ambiental que presentan ambos sitios.

La fase de acumulación se desarrolló más rápidamente (alrededor de dos semanas) que en La Victoria; de igual manera, se caracterizó por la aparición de nuevas especies colonizadoras de estadios pioneros a intermedios como *Cocconeis*, *Planothidium*, *Caloneis* y *Chamaepinularia*; a su vez se presentó un leve aumento en la densidad, no solo de las especies pioneras, sino de todas las especies presentes, lo cual permitió mayor estabilidad en la estructura de la comunidad.

La fase de crecimiento se dio desde la cuarta hasta la octava semana de exposición del sustrato. Aunque hubo aumento en la densidad de todas las especies presentes en el sustrato, solo hubo dominancia algunas de las especies colonizadoras tempranas, a excepción de *Lyngbya* sp, que al igual que en ocurre en La Victoria desaparece

paulatinamente con la aparición de colonizadoras tardías como las del género *Surirella* y *Planothidium*. Algunas especies se mantienen, gracias a la alta tasa de crecimiento a pesar de la reducción en la penetración lumínica; la cual es producto de la obstrucción y competencia con especies de colonización posterior como *Planothidium* sp. y *Surirella* la cual es de gran tamaño y ocupa una mayor área. Otras especies presentan adaptaciones morfológicas como pedúnculos que les permiten levantarse en el sustrato en busca de luz y nutrientes; lo que les permite mantenerse y sobrevivir en avanzadas etapas del proceso sucesional. La variabilidad ambiental genera disturbios que promueven la coexistencia de especies (Conell, 1978), lo que permite que algunas especies se tornen más abundantes que otras y da lugar que opere el principio de exclusión competitiva (Sousa, 1979) y desaparezcan especies. La fase de pérdida no se pudo apreciar para este tributario.

#### **Tributario C (Jabalí)**

Las fases de desarrollo sucesional de algas perifíticas en este tributario se presentan en un periodo de tiempo menor que en los otros sitios estudiados; en la fase de colonización, durante la primera semana de exposición del sustrato, se presenta un equilibrio en cuanto a la abundancia de los *taxa* que el sistema ha inoculado; es decir, hasta el momento, en la comunidad no hay dominancia marcada por unas pocas especies.

La fase de acumulación se dio entre la tercera y cuarta semana de exposición del sustrato, se caracterizó principalmente porque se mantuvieron las especies colonizadoras tempranas; esta fase muestra una marcada dominancia de los *taxa* *Fragilaria* sp., *Melosira varians* y *Nitzschia* sp. especies consideradas como colonizadoras de estadios pioneros.

La fase de crecimiento se da a partir de la tercera semana, en donde se equilibra un poco la dominancia que presentó la comunidad en la fase anterior, ya que en esta fase la mayoría de especies aporta un número significativo de organismos, sin embargo, *taxa* como *Achnanthes* sp. y *Caloneis* sp. mantienen pequeñas poblaciones y siguen una tendencia a ser sustituidas en la comunidad.

La fase de pérdida se marca claramente en la sexta semana y aunque los valores de caudal se mantienen estables, la resistencia de la comunidad al flujo de la corriente es mucho mayor debido al consecuente aumento en su estructura y densidad. Para La Victoria se da un proceso de sucesión incompleto debido a que los cambios giran en torno a la densidad de las especies más que a la sustitución de las mismas, sin embargo, la dinámica que sigue la comunidad es hacia la pérdida de algunas especies desplazadas por otras; un ejemplo de esto es la tendencia que siguen *Achnanthes* y *Caloneis*.

Los tres tributarios estudiados presentan poca diferencia en cuanto a las fases de desarrollo de la comunidad durante

la sucesión, el hecho que la diferencia no sea tan marcada radica en que la estructura y composición de especies fue muy similar; sin embargo, se destacan aspectos de mucha importancia que pueden ser utilizados como insumo para la caracterización de sitios impactados o poco impactados; por ejemplo, de acuerdo a los resultados encontrados, se puede decir que una medida directa de contaminación está ligada a la estructura y fisiología de los organismos; entre los efectos producidos en algunos organismos de la comunidad de diatomeas encontramos cambios en la estructura y forma del frústulo, modificaciones que alteran la simetría de las valvas y la regularidad de su ornamentación, conocidas bajo el nombre de formas teratológicas (Durán, 2008). Aunque estas deformaciones pueden ser originadas por causas naturales, está comprobado que las condiciones adversas del medio inducen a la formación de formas teratológicas en algunas especies de diatomeas, utilizándose la presencia de estas formas como indicador de estrés químico o contaminación (McFarland *et al.*, 1997; Stevenson y Bahls, 1999). La especie *Cocconeis placentula* se encontró con formas teratológicas (cinco células amorfas) solo en el tributario de mayor impacto (La Victoria) y no se asume que pueda ser producto de la acción física de la corriente, ya que este tributario presentó valores de caudal muy por debajo del tributario mejor conservado (Jabalí). *Cocconeis* sp. vive en aguas con pH ligeramente básico y no soporta las aguas completamente limpias, y aunque habita mejor en zonas con pequeñas cantidades de materia orgánica, tampoco soporta un elevado nivel de contaminación, por lo que pueden presentarse formas teratológicas (Flickr, 2013); este hallazgo puede reflejar el impacto a que se ven sometidas las algas del perifiton y a su vez las comunidades del ecosistema en general por tener un mayor grado de intervención antrópica (Fig. 5).

## CONCLUSIONES

En el proceso de sucesión de algas perifíticas en tributarios del río Gaira, son más notorios los cambios en la densidad algal que los cambios en la composición de especies, pese a esto el proceso sucesional es completo; la desaparición en etapas tardías de algunas especies pioneras o de colonización temprana (*Lyngbya* sp., *Caloneis* sp.), y la consecuente aparición de colonizadoras de estados más avanzados (*Planothidium* sp., *Surirella* sp.); demuestran variación en la estructura de la comunidad de microalgas perifíticas completando la sucesión.

Al evaluar la comunidad de microalgas perifíticas en la cuenca media del río Gaira, se encontró que la composición en términos generales fue similar para los tres tributarios estudiados; sin embargo la exclusividad de los géneros *Lyngbya* y *Surirella* en los tributarios A y B permitió una mayor riqueza para estos sitios. La diversidad más alta se encontró en el tributario Jabalí C; la diversidad no es estrictamente una medida de impacto en ríos tropicales, pero es un insumo

importante para medir la estabilidad de un ecosistema y cuantificar los efectos que una perturbación tiene sobre un ecosistema en particular.

Este es un estudio pionero por lo que se convierte en un referente para futuras investigaciones, se recomienda realizar estudios en la ecología de las algas, que incluyan muestreos periódicos durante un año completo para analizar la variación que pueda presentarse en determinada época del año (lluvia y sequía), y que contemplen un gradiente altitudinal.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Magdalena, al Grupo de Investigación en Ecología Neotropical (GIEN), al biólogo Isaac Romero Borja.

## REFERENCIAS

- Apha American Public health Association. Standard methods for the examination of water and waste water, 20th edition. American public health association, Washington, DC. USA; 1998. 1134 p.
- Begon M, Townsend Cr, Harper JI. Ecología: de individuos en ecosistemas. 4th ed. Artmed, Porto Alegre; 2007. p. 84-98.
- Bicudo CE, Menezes M. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil (Chave de identificação e descrições). 2nd edition. Rima. Rio do Janeiro; 2006. 502 p.
- Castellanos L, Donato J. Biovolumen y Sucesión de Diatomeas Bénticas. Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.; 2008. p. 127-144.
- Catalán J, Catalán A. Ríos: caracterización y calidad de sus aguas. Dihidrox. Madrid; 1987. 264 p.
- Castaño Uribe CS. Serranías de Colombia. Banco de Occidente I/M Editores. Cali; 1999. p. 329.
- Cen/T C 230. Water quality-Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. European Standard references. 2002. p. 19-34.
- Conell JH. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. Science. 1978;199:1302-1310. Doi: 10.1126/science.199.4335.1302
- Donato J, Martínez L. Efectos del caudal sobre la colonización de algas perifíticas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). Caldasia; 2003;25(2):337-354.
- Elosegui A, Sabater S. Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial. 1st edition. Rubes Editorial. Fundación BBVA. España; 2009. 424 p.
- Esteves F. Fundamentos de Limnología. 3rd edition. Editora Interciência. Rio de Janeiro; 2011. 826 p.
- Flickr. [Internet]. Proyecto agua. [Cited 17 Aug 2013]. Available from: <http://www.flickr.com/photos/microagua/2634071221>

- Gamboa F, Mayorca O, Gómez M. Películas microbianas. Un mundo microscópico lleno de secretos. *Innovación y ciencia*. 2003;21:50-55. Doi: doi:10.1016/S0304-3770(97)00073-9
- Ghosh M, Gaur J. Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquat Bot*. 1998;(1):1-10.
- Hall RO, Tank JL, Dybdahl MF. Exotic snails dominate nitrogen and carbon cycling in a highly productive stream. *Front Ecol Environ*. 2003;1:407-411. Doi: [http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0407:ESDNAC\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0407:ESDNAC]2.0.CO;2)
- Hauer FR, Lamberti GA. Eds. *Methods in stream ecology*. Academic Press. San Diego; 2007. p. 327-356.
- Hill WR. Effects of light. In: *Algal Ecology*. Stevenson RJ, Bothwell M.L., Lowe R.L., editors. Academic Press, California; 1996. p. 121-148.
- Lange - Bertalot H. 85 Neve *taxa*. *Bibliotheca Diatomologica*. Alemania; 1993. 454 p.
- Lange - Bertalot H. *Diatoms of Europe*. Ed. A.R.G. Gantner Verlag K.G. Alemania; 2001. 514 p.
- Lewis WM, Melack JM, Mcdowell WH, McClain M, Richey JE. Nitrogen yields from undisturbed watersheds in the Americas. *Biogeochemistry*. 1999;46:149-162. Doi: 10.1080/02705060.1997.9663517
- Lobo E, Buselato C. Tempo de exposicao de um substrato artificial para o estabelecimento da comunidade do perifiton no curso inferior do Rio Caí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rickia*. 1985;12:35-51.
- Margalef R. *Limnología*. 1st edition. Omega. Barcelona; 1983. 1010 p.
- Mcfarland BH, Hill BH, Willingham WT. Abnormal *Fragilaria* spp. (Bacillariophyceae) in streams impacted by mine drainage. *J Freshwater Ecol*. 1997;12:141-152. Doi: 10.1007/978-94-011-4645-6\_7
- Moschini-Carlos V, Pompêo MLM, Henry ER. Periphyton on Natural Substratum in the Jurumirim reservoir (São Paulo, Brasil): Community Biomass and Primary Productivity. *Intern J Ecol. Envir Sci*. 2001;27:171-177. Doi: 10.1023/A:1004086623922
- Odum EP. *Ecología*. 1st edition. Guanabara S.A. Rio de Janeiro; 1986. 434 p.
- Ramírez J. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. (Tesis de Maestría) Medellín: Universidad de Antioquia. 2000. p. 25.38.
- Rodríguez L. *Ensamblajes de microalgas perifíticas en el sector medio del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta*. (Tesis de pregrado sin publicar). Colombia: Universidad del Magdalena; 2013. p. 18-35.
- Roldán GJ, Ramírez. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2nd edition. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín; 2008. 440 p.
- Sousa W. Disturbance in marine intertidal boulder fields: the nonequilibrium maintenance of species diversity. *Ecology*. 1979;60:225-1239. Doi: <http://dx.doi.org/10.2307/1936969>
- Stevenson RJ, Bahls LL. Periphyton protocols. In: Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling JB, editors, *Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washintong DC; 1999. p. 1-22.
- Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL, editors. *Algal Ecology - Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press. USA; 1996. 788 p.
- Tremarin PI, Moreira-Filho H, Veiga Ludwig TA. Pinnulariaceae (Bacillariophyceae) do rio Guaraguaçu, bacia hidrográfica litorânea paranaense, Brasil. *Acta Bot. Bras*. 2010; 24(2):335-353. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062010000200005>
- Wetzel R. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3th edition. Academic Press. San Diego California; 2001. 1006 p.

