

**COLONIZACIÓN DE MICROALGAS PERIFÍTICAS SOBRE SUSTRATOS
ARTIFICIALES EN TRIBUTARIOS DEL RÍO GAIRA SIERRA NEVADA DE
SANTA MARTA-COLOMBIA**

FARID JESUS OSORIO ÁVILA

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SANTA MARTA, D.T.C.H
2013**

**COLONIZACIÓN DE MICROALGAS PERIFÍTICAS SOBRE SUSTRATOS
ARTIFICIALES EN TRIBUTARIOS DEL RÍO GAIRA SIERRA NEVADA DE
SANTA MARTA-COLOMBIA**

FARID JESUS OSORIO ÁVILA

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de Biólogo

Director:

Ph D. JAVIER RODRIGUEZ BARRIOS

Universidad del Magdalena

Asesor:

Ph D. YIMMY MONTOYA MORENO

Universidad de Antioquia

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS

GRUPO DE INVESTIGACION EN ECOLOGIA NEOTROPICAL (GIEN)

Santa Marta, 2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director de Programa

Jurado

Jurado

Santa Marta, 2013

AGRADECIMIENTOS

A DIOS...

A MI MADRE CECILIA AVILA GRACIAS POR EL APOYO, POR ESPERAR Y COPNFIAR EN MI.

A LA UNIVERSIDAD POR FINANCIAR ESTE PROYECTO Y DARME LA OPORTUNIDAD DE HACER CIENCIA.

A MI DIRECTOR DE TESIS, JAVIER RODRIGUEZ, MAESTRO Y AMIGO EN ESTE LARGO CAMINO.

A MI ASESOR YIMMY MONTOYA, POR DARME A CONOCER EN DETALLE LAS ALGAS Y ENSEÑARME LA HUMILDAD DE LOS GRANDES.

A MI GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIEN, POR EL APOYO EN LAS LARGAS JORNADAS DE CAMPO, Y POR LA CIENCIA QUE HEMOS HECHO.

A LOS AMIGOS QUE ME ALENTARON A SEGUIR ADELANTE A PESAR DE LOS INCONVENIENTES.

A LA COHORTE 20072, GRACIAS POR EL APOYO, LAS ANECDOTAS, LOS BUENOS Y MALOS MOMENTOS QUEDARÁN EN MI MEMORIA.

A CRISTINA AVILA "LA SEÑO"... ESTE LOGRO TAMBIEN ES SUYO.

DEDICATORIA

A MIS TRES SERES QUERIDO... DE UNA, NACÍ; A OTRA, VIDA LE DÍ; Y LA
ULTIMA... MUERO POR TI.

Tabla de contenido

RESUMEN.....	7
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
MARCO TEÓRICO.....	10
ANTECEDENTES.....	15
JUSTIFICACIÓN.....	18
OBJETIVOS.....	19
General.....	19
Específicos.....	19
FORMULACION DE HIPÓTESIS.....	20
METODOLOGÍA.....	21
Área De Estudio.....	21
Fase de campo.....	23
Fase de laboratorio.....	24
Montaje de placas permanentes e identificación de microalgas.....	24
Montaje de placas permanentes Naphrax:.....	24
Tacos para Microscopia Electrónica de Barrido MEB:.....	25
Identificación.....	25
Determinación cualitativa y cuantitativa de microalgas.....	25
Análisis de datos.....	26
RESULTADOS.....	28
Variables Ambientales.....	28
Estructura y dinámica de la comunidad.....	31
DISCUSIÓN.....	39
Variables Ambientales.....	39
Variables Biológicas.....	41
Patrón de sucesión de la comunidad de microalgas perifíticas.....	41
CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	57

RESUMEN

Se evaluó el proceso de colonización de microalgas perifíticas en tres tributarios de la cuenca media del río Gaira Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) durante los meses de enero hasta abril de 2012, mediante el análisis de la comunidad asociada a sustratos artificiales (cerámicas). El propósito de este trabajo fue establecer cómo varía la estructura de la comunidad de microalgas perifíticas durante el proceso de sucesión y qué factores ambientales determinan esta variación en diferentes tributarios de una misma zona. Se analizó la composición y abundancia y se contrastaron con gráficos exploratorios en Excel, pruebas de comparación múltiple, npMANOVA y Análisis de ordenación (ACC). El caudal, la luz y el oxígeno disuelto presentaron los valores más altos para el tributario C (Jabalí), el pH fue ligeramente básico para todos los sitios, la temperatura y conductividad fueron diferentes caracterizando cada sitio, los valores más altos se encontraron en el tributario A (La victoria). Durante las primeras semanas de exposición del sustrato, la especie *Melosira varians* y *Lyngbya* sp fueron dominantes para los tributarios A (La Victoria) y B (La Picúa), mientras que para el tributario C (Jabalí) se registró una dominancia de las especies *Fragilaria* sp, *Nitzschia* sp e igualmente *Melosira varians*. En los ocho muestreos, *Melosira varians* siguió un patrón acumulativo, lo que le permitió ganar densidad frente a otras especies; este patrón de acumulación solo tuvo pérdidas para los sitios A y B. Semanalmente, se midió la diversidad y riqueza de especies, con mayores valores después de la cuarta semana de colecta. La comunidad de microalgas respondió a la acción del caudal, siendo el tributario C el menor influenciado, mientras que en los sitios A y B algunas formas de microalgas se relacionaron negativamente con el caudal, debido a que sufrieron pérdidas. Al final de este trabajo teniendo en cuenta la importancia la ecología de las microalgas del perifiton, se aporta información base del proceso de colonización de estos organismos, el cual responde a la dinámica de los factores ambientales característico de este tipo de ecosistemas fluviales de la SNSM.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Mediante este trabajo, se busca generar información de la estructura y composición de las comunidades de microalgas perifíticas en un ecosistema fluvial tropical; este estudio ofrecerá una información de base, para ser utilizada en posteriores estudios orientados al funcionamiento de este tipo de ecosistemas con un enfoque que permita diagnosticar atributos ecológicos de las comunidades de microalgas perifíticas, además de su respuesta a variaciones ambientales.

Para evaluar cambios espacio-temporales en la comunidad de microalgas perifíticas, en tributarios de la cuenca media del río Gaira, se implementó una metodología con sustratos artificiales, y se analizó la estructura ecológica de esta comunidad (abundancia, riqueza, diversidad) y su relación con variables ecohidrológicas y fisicoquímicas.

Este proyecto se encuentra financiado por la convocatoria de Semilleros de Investigación (2010-2011) de la Universidad del Magdalena, y responderá al componente del perifiton en el proyecto titulado: Evaluación de herramientas ecohidrológicas y funcionales para el diagnóstico del estado ambiental en ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta (Convocatoria Fonciencias 2009-2011).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta no hay estudios publicados que evalúen los aspectos ecológicos de las comunidades de microalgas perifíticas y su respuesta a la intervención antrópica.

El río Gaira pertenece a la red hídrica de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), en su cuenca media se encuentran zonas cafeteras, por lo que la morfología de sus tributarios (afluentes) se ha visto afectada.

No se conoce el patrón de colonización y sucesión de las comunidades 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.

El desconocimiento de los patrones biológicos de organismos autótrofos que son la base de la red trófica en este tipo de ecosistemas, atrasa el desarrollo del conocimiento de este tipo de procesos ecológicos, en sistemas tropicales tan únicos como los que se dan en la SNSM, a la vez que dificulta y ralentiza el proceso de solución de problemas que afecten al sector en relación al manejo y conservación del agua. Con base a lo anterior, se pretende responder a los siguientes interrogantes y contribuir con ello al desarrollo de aspectos ecológicos característicos de este tipo de ecosistemas:

- ✚ ¿Cómo se presentan los cambios temporales en la estructura de la comunidad (densidad, abundancia, riqueza y diversidad) de microalgas perifíticas durante la sucesión y cómo varía este proceso en los tributarios evaluados?**
- ✚ ¿Qué parámetros ambientales están asociados con la variación temporal en la estructura de la comunidad de microalgas perifíticas?**

MARCO TEÓRICO

Perifiton-Microalgas

Se define perifiton al agregado de microorganismos tales como algas, bacterias, hongos y protozoos adheridos a sustratos de cualquier tipo de material, natural o artificial, que se encuentre sumergido (Wetzel 2001). El ensamble de las especies en la comunidad perifítica se desarrolla básicamente en tres fases (Gamboa *et al*, 2003):

1. Colonización: empieza por el reconocimiento de la superficie del sustrato. En este proceso participan fuerzas físicas y químicas que hacen estable la adhesión de los microorganismos a nivel molecular. Esta adhesión es reversible, pero se hace irreversible cuando se dan interacciones entre las adhesinas (proteínas de adhesión de los microorganismos) y vesículas bacterianas con los receptores específicos en el tejido o en la superficie de interés.
2. Agrupamiento, crecimiento y formación de la MATRIZ EXTRACELULAR: una vez establecida la colonización, los organismos se agrupan, se multiplican y forman una matriz extracelular protectora; esta matriz está conformada fundamentalmente por materiales extracelulares microbianos, limo y proteínas del líquido en el que se encuentran inmersas (ej: proteínas procedentes del carbono orgánico).
3. Crecimiento de la Matriz: el aumento del tamaño de la matriz se da al atrapar otros organismos, con lo cual se asegura un ambiente rico en nutrientes para permitir la multiplicación y supervivencia de los que en ella sobreviven. Esta etapa favorece la multiplicación y la formación de microcolonias y capas.

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 presentes, 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 y colaboradores (1996) afirman que el proceso de colonización, el crecimiento y el 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*, *Closterum*, entre otras).

Las algas constituyen la mayor parte del perifiton (Moschini *et al*, 2001). La mayoría de estas algas se adhieren sobre cualquier tipo de sustrato; los principales grupos de algas de ecosistemas dulceacuícolas son: cianobacterias (Cyanophyceae), algas verdes (Chlorophyceae), diatomeas (Bacillariophyceae) y algas rojas (Rhodophyceae) (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 & Sabater 2009).

Ecología-Sucesión

Debido a que diferentes especies tienen diferentes estrategias para la explotación de recurso, Allan & Castillo (2007) proponen que una especie colonizadora puede llegar a ser dominante si compite mejor por los recursos disponibles en el ambiente (ej. El acceso a la luz, el espacio en el sustrato); los taxas que dominan un ecosistema tienen gran éxito ecológico y condicionan el crecimiento de las especies asociadas.

Las especies tempranas son buenos colonizadoras, de crecimiento rápido, mientras que otras especies pueden tolerar más bajos o altos niveles de nutrientes, apareciendo posteriormente pueden crecer y desplazar a las especies tempranas. 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 & Ramírez, 2008).

Existen dos tipos de sucesión: *Sucesión Primaria*, la cual se da en sustratos totalmente nuevos; y *Sucesión Secundaria* que se desarrolla en un sistema existente o parcialmente perturbado; ambas terminan en un ecosistema estabilizado y presentan fases pioneras y de climax o estabilidad (Odum, 1986; Margalef, 1983).

Un disturbio o perturbación es un evento en el tiempo que destruye la estructura y modifica la dinámica de un ecosistema, comunidad o población (Wiens, 1989); cuando ocurre una perturbación momentánea se da una reversión en la sucesión (Reynolds, 1997); una perturbación prolongada ocasiona sustitución, lo que mantendrá a la comunidad en un estado primitivo de sucesión, ya que el avance logrado se borra permanentemente (Roldán & Ramírez, 2008). Si la perturbación es corta, se presentará un estado avanzado de sucesión (estabilidad) y habrá alta eficiencia, complejidad estructural en la comunidad y conservación del recurso (Roldán & Ramírez, 2008).

Cuando en la comunidad no se dan eventos de perturbación, la diversidad disminuye y aumentan las posibilidades que opere la *Ley de Gause* o ley de exclusión competitiva, que afirma que, dos especies en competencia biológica por el mismo recurso no pueden coexistir de forma estable si los demás factores ecológicos no cambian; de igual manera, la diversidad se ve afectada

negativamente si la perturbación es constante e intensa, pues sólo algunas especies estarán adaptadas (Roldán & Ramírez, 2008).

Diversidad y Ambiente

Al presentarse una perturbación, la comunidad sufre cambios en su estructura debido al inicio de una nueva sucesión y/o a la reversión (Reynolds, 1997), y al reacomodamiento de las especies de la comunidad, por lo que, en el resultado final, se dificulta establecer relaciones entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad (Donato & Rivero, 2008). El estudio de las relaciones entre diversidad-ambiente es una importante herramienta para comprender los mecanismos de respuesta de las comunidades ante eventuales alteraciones del ambiente (Donato & Rivero, 2008).

Entre los factores que direccionan la sucesión del perifiton en los ríos se resaltan:

La Hidrología: Uno de los factores que principalmente se ha relacionado con la diversidad de microalgas en ríos, de orden inferior, es la hidrología, ya que las fluctuaciones en el caudal y la duración de las crecientes constituyen perturbaciones que influyen la colonización y determinan las estrategias morfológicas que pueden prosperar para determinada condición hidrológica (Biggs *et al* 1998)

Luz y Nutrientes: Otros de los factores esenciales que pueden ser limitantes para las microalgas del perifiton son la variabilidad de nutrientes y la luz, ya que pueden afectar la fisiología, lo que limita su crecimiento en los ecosistemas fluviales de orden inferior donde la entrada de luz es baja (Schiller *et al.* 2007). Algunos estudios han indicado que el crecimiento algal puede estar limitado principalmente por los nutrientes o co-limitado por luz y nutrientes en ecosistemas oligotróficos, incluso en sectores con mucha sombra (Taulbee *et al.* 2005).

El Sustrato: El sustrato proporciona una superficie para el crecimiento de las algas bénticas, donde las condiciones físicas y químicas del agua circundante provocan

las diferencias (Burkholder, 1996). El acondicionamiento microbiano de los sustratos puede influir en la colonización de las algas, lo que causa mayor adherencia al sustrato cuando la abundancia bacteriana es alta (Hodoki 2005). Las grandes colonizaciones de algas se encuentran por lo general sobre piedras más grandes, mientras que pequeñas colonizaciones se establecen en sedimentos y pequeñas partículas (Burkholder, 1996). Para experimentos de colonización y sucesión ecológica de microalgas, los sustratos artificiales (cristales esmerilados, cerámicas, arenas artificiales) son muy utilizados (Elosegui & Sabater 2009), las ventajas que ofrece utilizar sustratos artificiales en estos estudios radica en que facilitan la colecta, debido a la forma plana del sustrato, además permiten utilizar un mayor número de réplicas y dependiendo de sistema; se facilita el sumergimiento del sustrato en la columna de agua de sistemas poco profundos como los evaluados.

ANTECEDENTES

El primer estudio publicado sobre colonización perifítica se hizo en 1915, cuando Naumann menciona por primera vez la posibilidad de estudiar los organismos acuáticos a través de la colonización de sustratos artificiales (Cooke, 1956). Sin embargo, el término Perifiton fue utilizado por Behning en 1924, inicialmente, para describir los organismos que crecen en sustratos artificiales en el agua (Cooke, 1956). Wetzel unifica el término y lo define como una comunidad compleja de microorganismos adheridos al sustrato, toma en cuenta el aspecto estructural y funcional de estas comunidades; esta definición goza de gran aceptación por la comunidad científica y se mantiene en la actualidad.

Las algas del perifiton se clasifican de acuerdo al sustrato en el cual crecen. Así, las que se desarrollan en piedras se conocen como epilíticas, sobre sedimentos suaves o fango epipelicas y las que crecen sobre plantas, epifíticas (Hauer & Lamberti 2007). En ambientes de agua dulce, las algas bénticas más comunes pertenecen a las cianobacterias (Cyanobacteria), las diatomeas (Bacillariophyceae), las algas verdes (Chlorophyta) y las algas rojas (Rhodophyta) (Stevenson *et al*, 1996).

Entre los factores que afectan la comunidad está la naturaleza del sustrato, descrita por Sladekova (1962). Otros factores de cambio en la comunidad son el estado trófico del medio ambiente (Moschini *et al*, 2001), la disponibilidad de luz (Kawecka, 1985; 1986), temperatura (Kawecka, 1985), la velocidad de caudal (Hermany *et al*, 2006) y la herbivoría (Wellnitz & Poff, 2006).

Lowe & Pan (1996), en un trabajo de monitoreo de comunidades de algas bénticas en Estados Unidos, enfatizan el papel fundamental que las comunidades de microalgas perifíticas ejercen en las redes tróficas de ecosistemas acuáticos, ya que cambios en la composición y estructura de estas comunidades provocan cambios en la dinámica de las redes tróficas de estos ecosistemas; agregan que la composición de estas comunidades de microalgas varía en función de factores ambientales y fisicoquímicos. De igual forma, resaltan atributos importantes para la bioindicación, ya que las microalgas se encuentran presentes en casi todos los

ambientes acuáticos, presentan ciclos de vida cortos y responden más rápidamente a los cambios ambientales (McCormick & Stevenson, 1998) que otros organismos como algas e invertebrados bentónicos.

Gari y Corigliano (2004), en un trabajo realizado en tributarios del Río Cuarto Argentina, reportan que el perifiton de los tributarios de mayor orden influye en la composición y atributos estructurales de la deriva de su río receptor, de igual manera, reportan que, en la densidad de la deriva, predominan poblaciones procedentes del Perifiton; sin embargo, la composición y los mayores valores de riqueza específica son de origen múltiple y heterogéneo. La emigración e inmigración y posterior colonización, son procesos importantes que regulan la composición de microalgas perifíticas y la productividad primaria de los arroyos e influyen sobre los atributos de las comunidades de algas y en la red trófica fluvial (Allan & Castillo, 2007). La densidad algal, producto de la acumulación sobre los sustratos en los lechos de los ríos, es el resultado de mecanismos de inmigración en estos organismos (Stevenson, 1996).

La mayoría de los estudios sobre colonización de comunidades de algas perifíticas, han sido realizados en ecosistemas lenticos enfocados a la calidad de aguas y el impacto ambiental (Montoya & Ramírez, 2007). En pequeños ríos tropicales se encuentra un número escaso de trabajos sobre la dinámica de las comunidades de algas del perifiton y su relación con las variables ambientales (Donato & Martínez, 2003).

En dos ecosistemas lóticos de alta montaña, en el páramo de Santurbán Norte de Santander, Colombia, se encontró que la conductividad, el potencial redox, el pH y el caudal son factores determinantes para diferenciar la estructura de la comunidad de microalgas; a su vez, se encontró que el género *Eunotia* es tolerante a pH ácido, y la polución orgánica favorece el desarrollo de los géneros *Nitzschia* y *Navícula* (Ramírez & Plata 2007).

Para un estudio de las comunidades perifíticas en el Río Tota, en Boyacá, se encontró que, en general, valores moderadamente altos de velocidad de la

corriente, promueven bajas densidades algales, la comunidad se mantiene en las primeras etapas de sucesión y posibilita el sostenimiento de la diversidad (Zapata & Donato, 2005).

En la cuenca del río Gaira se han realizado dos trabajos en la temática de algas bénticas, sin embargo, estos estudios no se han publicado; uno de los trabajos se centra en el efecto del caudal sobre las comunidades de algas perifíticas, el autor encontró que durante épocas de altos caudales la estructura de la comunidad de algas estuvo representada por formas pequeñas y postradas como *Achnanthes clevei*, *A. exigua*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella* sp, *Encyonema* sp y algunas especies de *Navicula*. Mientras que en época de bajos caudales las algas estuvieron representadas por formas alargadas y filamentosas, como *Ulnaria ulna*, *Surirella* sp, *Melosiravarians* y *Pinnularia* sp (Cabarcas, 2011). En el otro trabajo se analizó la comunidad de algas presentes en sustratos artificiales y se encontró que el ecosistema presenta condiciones hidrológicas y espaciales típicas de ecosistemas fluviales de media montaña tropical, que repercuten, de forma importante, sobre los patrones de distribución y dispersión en las comunidades de microalgas perifíticas, siendo la velocidad de la corriente y la disponibilidad del sustrato los factores de mayor relevancia en la estructuración de la comunidades algales y en los procesos de adherencia de estos organismos.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este trabajo se justifica en los siguientes aspectos:

Las microalgas perifíticas poseen atributos importantes para la bioindicación ya que se encuentran presentes en casi todos los ambientes acuáticos, presentan ciclos de vida corto y responden más rápidamente a los cambios ambientales que otros organismos (McCormick & Stevenson, 1998). El estudio de la sucesión en las comunidades de microalgas del perifiton en ríos tropicales de la SNSM permite interpretar la dinámica de estos sistemas ecológicos, genera información de cómo se estructuran ecológicamente las algas bénticas en este tipo de ecosistemas.

Desde punto de vista de calidad ambiental, este estudio está enfocado en analizar cómo responden estructuralmente la comunidad de algas al efecto abiótico y determinar el tipo de variables (biológicas o abióticas) que permiten ponderar el buen estado o por el contrario, el nivel de impacto sufrido en estos ambientes con importancia ecológica y con vocación para ofrecer servicios de abastecimiento (agua, recursos forestales, suelo para cultivos, mantenimiento de la biodiversidad) a la población humana; para ello se busca la sensibilidad en algunos taxones ante impactos ambientales.

Por lo anterior se pretende generar los primeros insumos para la búsqueda de una herramienta de diagnóstico que pueda ser utilizada en estudios aplicados por Corporaciones Autónomas Regionales, acueductos municipales, Secretarías del Medio Ambiente a nivel municipal y departamental, Empresas de Consultoría Ambiental, comunidad universitaria y científica, en la implementación de acciones de diagnóstico y gestión ambiental para la vigilancia y control de los ecosistemas loticos en la Región Caribe Colombiana.

OBJETIVOS

General

Evaluar el proceso de sucesión primaria en microalgas perifíticas en tres tributarios ubicados en la cuenca media del río Gaira, SNSM.

Específicos

- Estimar la composición, riqueza y diversidad de la comunidad de microalgas perifíticas encontradas sobre sustratos artificiales, en los tributarios evaluados.

- Evaluar la variación semanal en la composición de especies de microalgas perifíticas presentes los tributarios evaluados.

- Determinar el grado de asociación de las variaciones hidrológicas y físico-químicas con la composición y abundancia de especies durante el proceso de sucesión primaria, en los tributarios evaluados.

FORMULACION DE HIPÓTESIS

El caudal, la conductividad y la luz presentes en cada tributario ejercen influencia sobre el patrón sucesional de la comunidad de microalgas perifíticas encontradas en sustratos artificiales, esta influencia se ve reflejada por la composición, riqueza, diversidad y cambios en la densidad de algas en un espacio - tiempo determinado.

METODOLOGÍA

Área De Estudio

El sitio de muestreo comprende tres tributarios de la cuenca media del Río Gaira (Fig. 1), Hacienda la Victoria a 900 msnm localizada entre los $11^{\circ} 07' 44.2''$ N y $74^{\circ} 05' 35.8''$ W. En esta zona existen grandes extensiones de cultivos de diversas variedades de café (Sierra & Reyes, 2005).

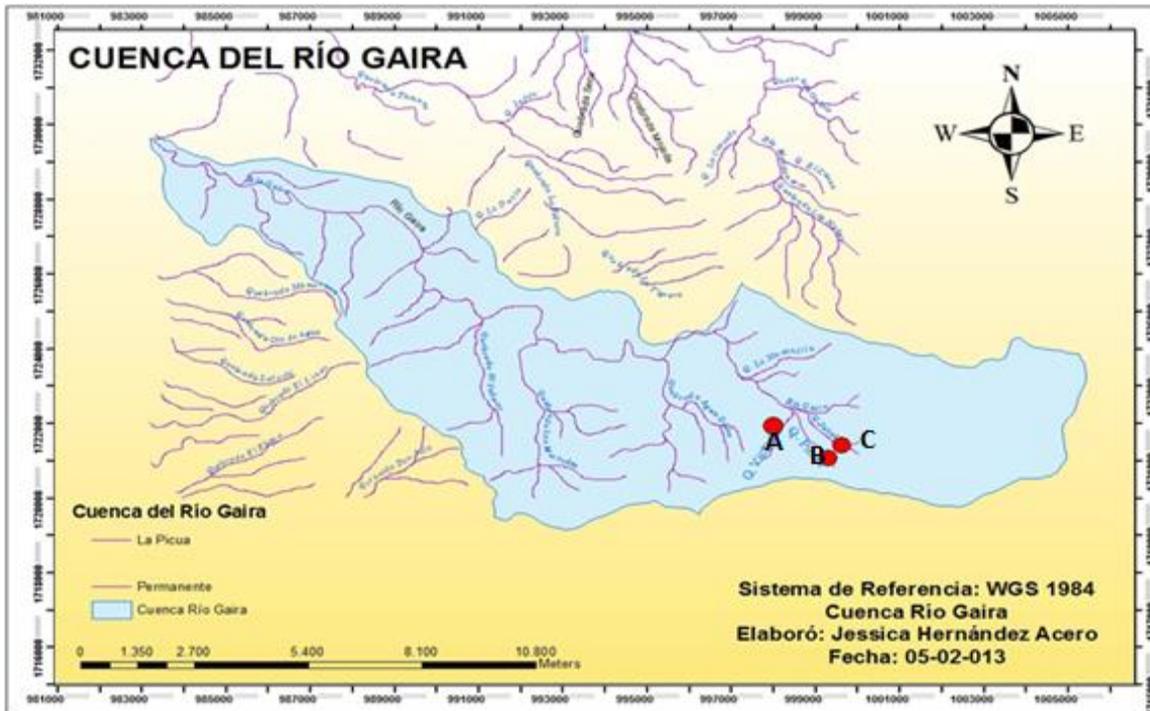


Figura 1. Cuenca del Río Gaira y sitios de muestreo (A: Quebrada La Victoria; B: Quebrada La Picúa; C: Quebrada Jabalí).

Se establecieron tres sitios de muestreo (tributarios) con cierto grado de intervención antrópica. Los impactos que caracterizan a cada tributario se identificaron de manera cualitativa o semi-cuantitativa, mediante visitas previas, permitiendo definir los siguientes impactos antrópicos: (1) Deforestación de la cobertura vegetal nativa de la ribera (2) Nivel de modificación de la cobertura vegetal de ribera, reemplazada por vegetación exótica o de interés agrícola (3) Contaminación del agua con residuos orgánicos. El sitio de referencia o tributario en buenas condiciones, de gran interés para su conservación y protección, fue

Colonización de microalgas perifíticas sobre sustratos artificiales en tributarios del río Gaira Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia. 21

definido con base en estudios precedentes y visitas, con una ubicación (altitudinal, geomorfológica y formación vegetal) similar a la de los sitios impactados (para que los resultados obtenidos sean comparativos).

El primer tributario se encuentra en la parte baja de la Hacienda La Victoria a unos 900 msnm 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 (Fig. 2). Un tramo de este tributario atraviesa la beneficiadora, lugar donde es procesado el café; esto supone un cambio drástico en la dinámica natural del sistema.



Figura 2. Detalle de la quema de la vegetación rívera del primer tributario (La Victoria).

El segundo tributario se encuentra cerca de la parte alta de la hacienda, a unos 1100 msnm, 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 msnm y presenta poca intervención antrópica, por lo que se considera en buenas condiciones y será para este estudio el tributario control.

Fase de campo

Las muestras biológicas se colectaron en sustratos artificiales (cerámicas), ubicados en el lecho del tributario (20 – 30 cm de profundidad aprox.) los cuales se dejaron por un tiempo de ocho semanas según lo sugerido por Lobo & Buselato (1985). Para la obtención de las microalgas 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 cm² de la biopelícula, el material se transfirió a un envase plástico y se preservó en solución Transeau (Bicudo & Menezes, 2006). Se realizó un muestreo integrado de 9 montajes de colonización distribuidos en 3 tributarios. Cada montaje estuvo compuesto por 30 cerámicas de 1,70 x 0,59 cm (Fig. 3).



Figura 3. Placas de concreto utilizadas para sostener los sustratos de colonización (cerámicas).

Adicional para cada tributario se midieron in situ con una sonda Multiparámetro marca WTW Multi 350i/SET las siguientes variables: temperatura del agua y del aire (°C), pH (unidades de pH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), 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 de 600 mL de agua a la misma profundidad de los sustratos (20 – 30 cm aprox.) en cada uno de los tributarios para su posterior análisis en el laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad del Magdalena, en donde se realizaron las determinaciones de Nitritos ($\mu\text{g}/\text{L}-\text{N}-\text{NO}_2^-$) y Amonio ($\mu\text{g}/\text{L}-\text{N}-\text{NH}_4$) por el método Colorimétrico, Nitratos ($\mu\text{g}/\text{L}-\text{N}-\text{NO}_3$) por el método de Reducción de cadmio (APHA 2005).

Las variables hidrológicas: velocidad de corriente (m/s) y caudal (m^3/s) se midieron con ayuda un Correntómetro marca OTT Z30.

Fase de laboratorio

El material que presentó abundante materia orgánica se limpió mediante el método de oxidación en peróxido de hidrogeno (CEN/TC 230. 2002).

Montaje de placas permanentes e identificación de microalgas

Se realizó un montaje de las muestras colectadas durante todo el estudio y se montaron los preparados fijos en Naphrax y placas para Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). El registro fotográfico se hizo utilizando un microscopio marca Leyka plus con cámara Cannon Power Shot A70.

Montaje de placas permanentes Naphrax: Antes de hacer los montajes permanentes de microalgas es necesario realizar la digestión a las muestras esto con el fin de eliminar la materia orgánica; se tomó una alícuota de cada muestra (0,5 ml), se le adicionaron 8 ml de peróxido de hidrogeno y se colocaron en una placa de calefacción a 100 °C por 8 horas, posteriormente se lavaron las muestras con agua destilada y luego se centrifugaron a 1200 rpm durante tres minutos (CEN/TC 230. 2002). Una vez realizada la digestión, se tomó una gota del material y se puso sobre un cubreobjetos en la placa de calefacción a 60 °C; la muestra se

seca y queda fija en el cubreobjetos, inmediatamente se pone una gota de Naphrax en un portaobjetos a 70 °C, se le coloca el cubreobjetos con la muestra y se espera que seque; ahora las placas quedan listas para poder usar el objetivo de inmersión en microscopía óptica (CEN/TC 230. 2002).

Tacos para Microscopía Electrónica de Barrido MEB: Se hace la digestión como en la metodología anterior y se toma una alícuota de la muestra, la cual se fija como en el montaje de placas permanentes, sin embargo, este se hace en un trozo pequeño de vidrio (0,5 x 0,5 cm aprox); una vez fijadas fueron metalizadas con oro-paladio en un metalizador Jeol FINE COAT ION SPUTTER JFC-1100; las muestras fueron revisadas en el microscopio electrónico de barrido (MEB) Jeol JSM-T100 en el servicio de microscopía electrónica de la Universidad de Antioquia.

Identificación: Para la determinación taxonómica se utilizaron las claves y descripciones de Lange- Bertalot (1986, 1991), Lange-Bertalot (1993, 1999, 2001) además se contó con la ayuda de un experto taxónomo.

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 100 células del taxón más abundante (Ramírez 2000), la cuantificación de los organismos se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Hauer y Lambert (2007) donde la densidad se expresa en número de células por área de superficie (cm²)

$$D_i = N_i V_d / V_d A$$

Donde:

D_i= Densidad de las células Número de Células/cm²

N_i= número de células del enésimo taxón contado en la cámara

V_s =volumen total de la muestra

V_c = volumen de la sub muestra

A = área en cm^2

Para facilitar el análisis multivariado de los datos se clasificó las microalgas perifíticas de acuerdo a su morfología; se utilizaron siete formas (prisma elíptico, prisma sobre paralelogramo, prisma en forma de hoz, cymbelloide, caja, cilindro y gomphonemoide) en concordancia con lo planteado por Hillebrand y colaboradores (1999); esto se realizó con el fin relacionar la abundancia de las formas con las variables ambientales.

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.

Con los datos organizados en matrices, 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.

Para explorar los patrones de variación de la comunidad y evaluar el estado sucesional de los taxones de microalgas, se realizó un análisis de abundancia por muestreo.

Se realizó un análisis descriptivo con gráficas de barras en Excel para representar las abundancias absolutas de microalgas encontradas en los tres tributarios durante los ocho muestreos. 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 del mejor

subgrupo de variables ambientales, que definen al ensamblaje de microalgas, se realizó mediante un diseño de BIOENV (Legendre & Legendre 1998), el cual utiliza correlaciones de Spearman y la distancia Bray Curtis. El paquete estadístico utilizado para los diferentes análisis estadísticos fue el R versión 2.11.01.

RESULTADOS

VARIABLES AMBIENTALES

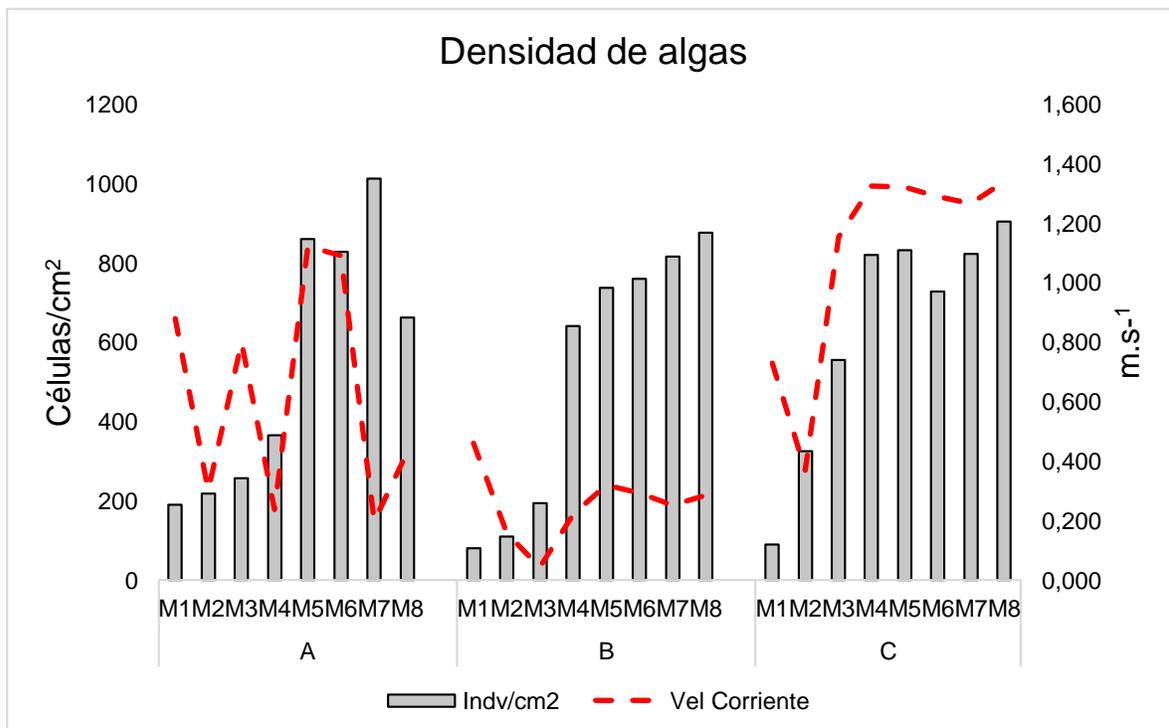
Los valores absolutos de las variables físicas, químicas e hidrológicas evaluadas para cada uno de los tributarios se muestran en la tabla 1. En general, todos los sitios presentan bajos valores de caudal, con baja concentración de nutrientes y pH básico. Los mayores valores de oxígeno 8,16 mg/L, pH 9,15, Luz 51000 lux y caudal 1,59 m³/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⁻¹. El tributario B (medianamente impactado), presentó los valores más altos de nitratos (3,54 mg L⁻²).

Tabla 1. Valores promedios de las variables físicas, químicas e hidrológicas registradas en cada tributario. Caudal (m³ s⁻¹), cond. Conductividad (µS cm⁻¹), Luz (lux), Oxígeno Disuelto (mg L⁻¹), pH (Unidades de pH), Temp. Temperatura agua (°C), NH₄ Amonio (mg L⁻¹), NO₃⁻ Nitratos (mg L⁻²), NO₂⁻ Nitritos (mg L⁻¹).

Tributario	M	Amonio	Nitrito	Nitrato	Oxígeno	pH	Cond	Caudal	Velocidad	Luz	Temp.
La											
Victoria											
(A)	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											
(B)	M1	0,03	0,29	0,43	6,9	6,64	43	0,17	0,46	3800	17,2
	M2	0,91	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											
(C)	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

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. 4).



Colonización de microalgas perifíticas sobre sustratos artificiales en tributarios del río Gaira Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia. 29

Figura 4 Variación semanal en la Densidad de algas de los tributarios estudiados. A= La Victoria, B= La picúa, C= Jabalf. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.

De acuerdo al análisis del mejor subgrupo de variables ambientales que definen la comunidad de microalgas perifíticas (BIOENV), se encontró que los niveles de Amonio, Nitrito, pH, Conductividad y Luz son las variables que presentan una mayor asociación con la estructura de las microalgas; sin embargo, presentaron una baja correlación (0.28), descrita en términos de abundancia y riqueza de especies (Distancia Bray Curtis, $r_s = 0.3$, $p < 0.05$).

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. 5); 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. 5).

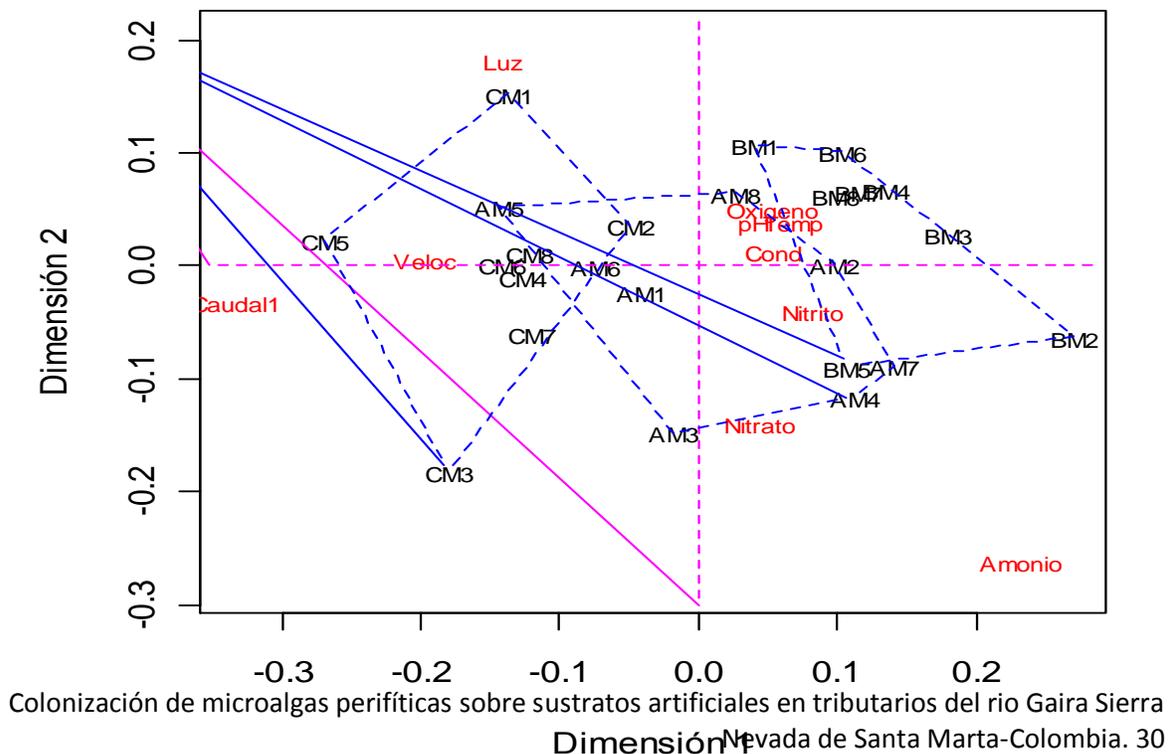


Figura. 5 Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS), con la distancia Bray-Curtis, para ordenar los tributarios y muestreos por sus descriptores ambientales. A: La Victoria; B: La Picúa; C: Jabalí. Estrés: 0.12.

Variables Biológicas

Estructura y dinámica de la comunidad

Tabla 2. Atributos estructurales (valores promedio) de las microalgas perifíticas en A: La Victoria; B: La Picúa y C: Jabalí.

Tributario	Muestreo	Riqueza Numérica	Células. cm ²	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

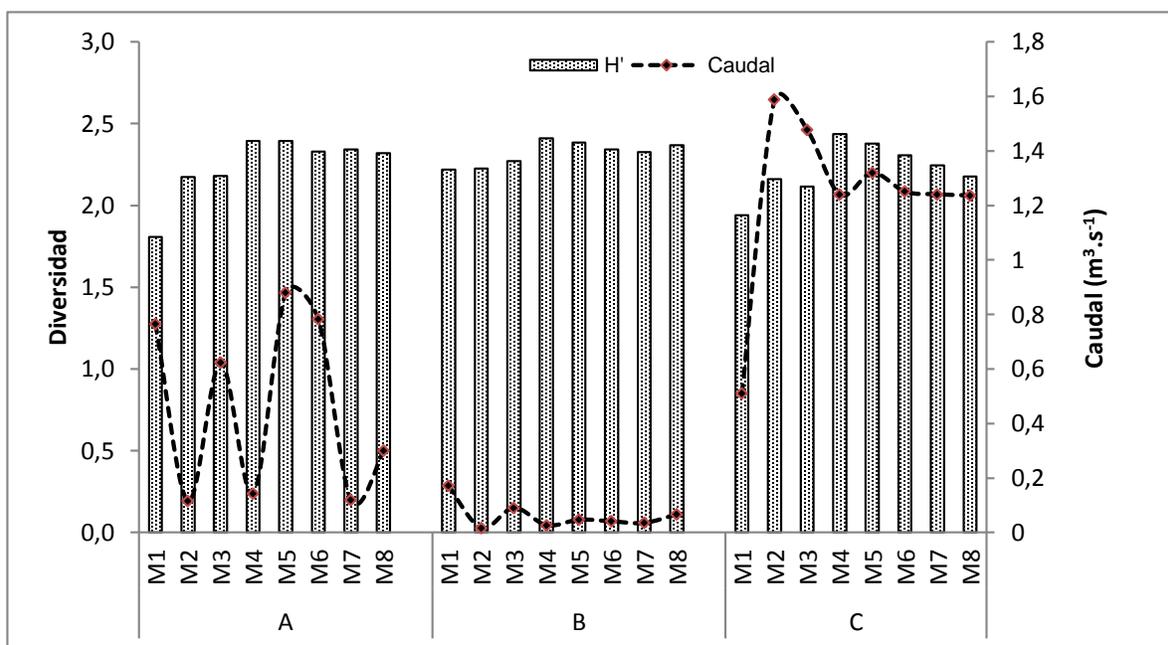


Figura 6. Variación semanal de los valores de diversidad Shannon, con relación a los valores de caudal de cada muestreo. A= La Victoria, B= La picúa, C= Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.

La diversidad ecológica de la comunidad presentó una ligera variación durante los ocho muestreos (Fig. 6), 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 fue aumentando, 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 (diatomeas) realizó el mayor aporte con 23 especies, las Chlorophytas y Cyanophytas solo aportaron un taxón cada una.

En cuanto a dominancia, las diatomeas fueron el grupo dominante durante todo el estudio. *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 sufrió pérdidas y reduce su densidad a 67 células. El mismo patrón se observa en *Cocconeis*, *Planothidium*, *Eolimna* y *Fragilaria*. Géneros como *Surirella* y *Chamaepinnularia* sólo aparecen después de varias semanas de establecida la comunidad (Fig. 7).

Otros géneros que hicieron aportes importantes a la densidad de algas de la comunidad 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, tuvo una menor diversidad (Tabla. 2); a su vez, fue notoria la presencia de algunos organismos con anomalías como *Cocconeis placentula* que presentó formas teratológicas (Fig. 8).

La Picúa (Tributario B)

En La Picúa se registraron 2872 células distribuidas en 25 especies pertenecientes a 20 géneros, de los cuales Bacillariophyceae (diatomeas) realizó el mayor aporte con 24 especies, Cyanophyta solo aportó una 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).

Al igual que en los otros tributarios, las diatomeas (Bacillariophyceae) dominaron durante todo el estudio. 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. 7). *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 (diatomeas) realizó el mayor aporte con 21 especies, el grupo Chlorophyta solo hizo un aporte. Jabalí presentó la mayor cantidad de organismos y un alto valor de diversidad ($H' = 2,22$) (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. 7).

El análisis taxonómico dio como resultado que *Melosira* fue el taxón más abundante durante todos los muestreos con 1183 células; *Cocconeis* (766 células.), *Planothidium* (681 células.), *Fragilaria* (496 células.) y *Eolimna* (374 células.) también hicieron aportes importantes a la densidad total de la comunidad (Anexo 4).

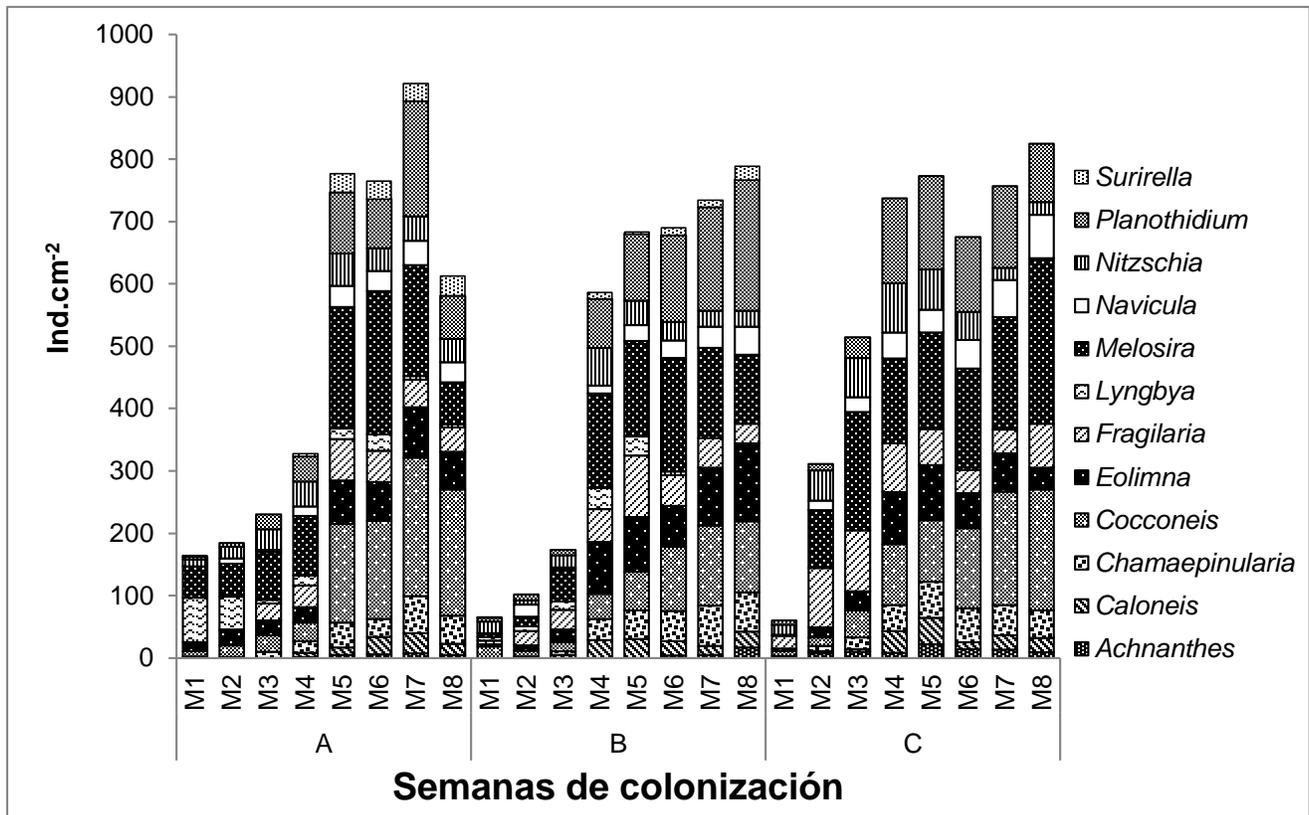


Figura. 7 Abundancia relativa semanal de los principales géneros de microalgas perifíticas de los tributarios estudiados. A= La Victoria, B= La picúa, C= Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.

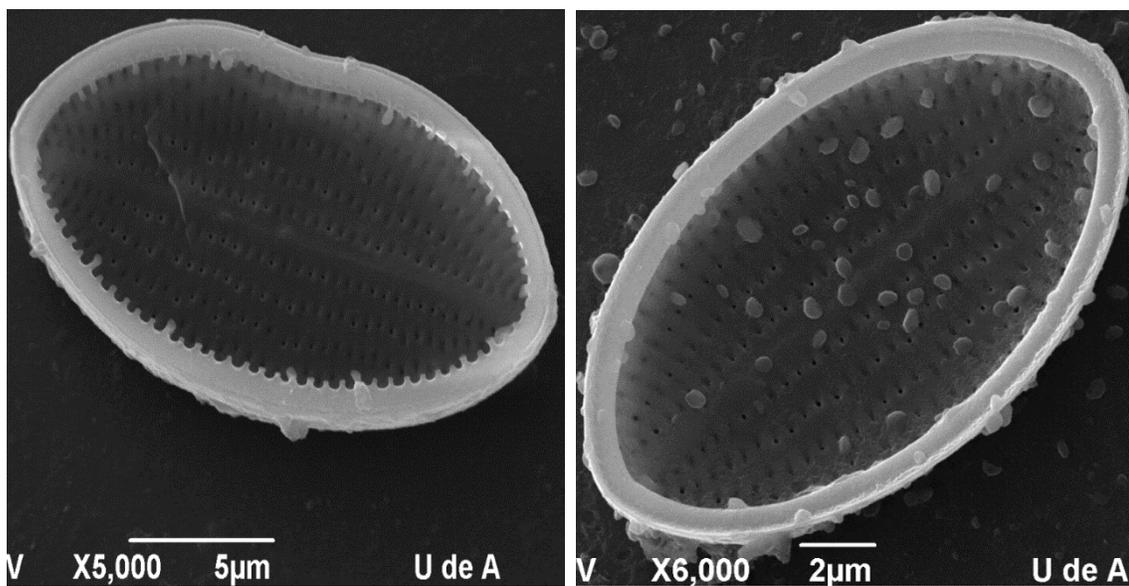


Figura 8. Fotografía de Microscopía Electrónica de Barrido: *Cocconeis placentula* encontrada en el tributario La Victoria. Izquierda: Forma teratológica (detalle constricción de la valva en la parte superior central); Derecha: Forma común. Ambas en vista interna.

El ACC realizado para resumir la relación de las principales formas de microalgas con las variables ambientales evaluadas (Fig. 9) 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 Gomphonemoide y prisma en forma de hoz.

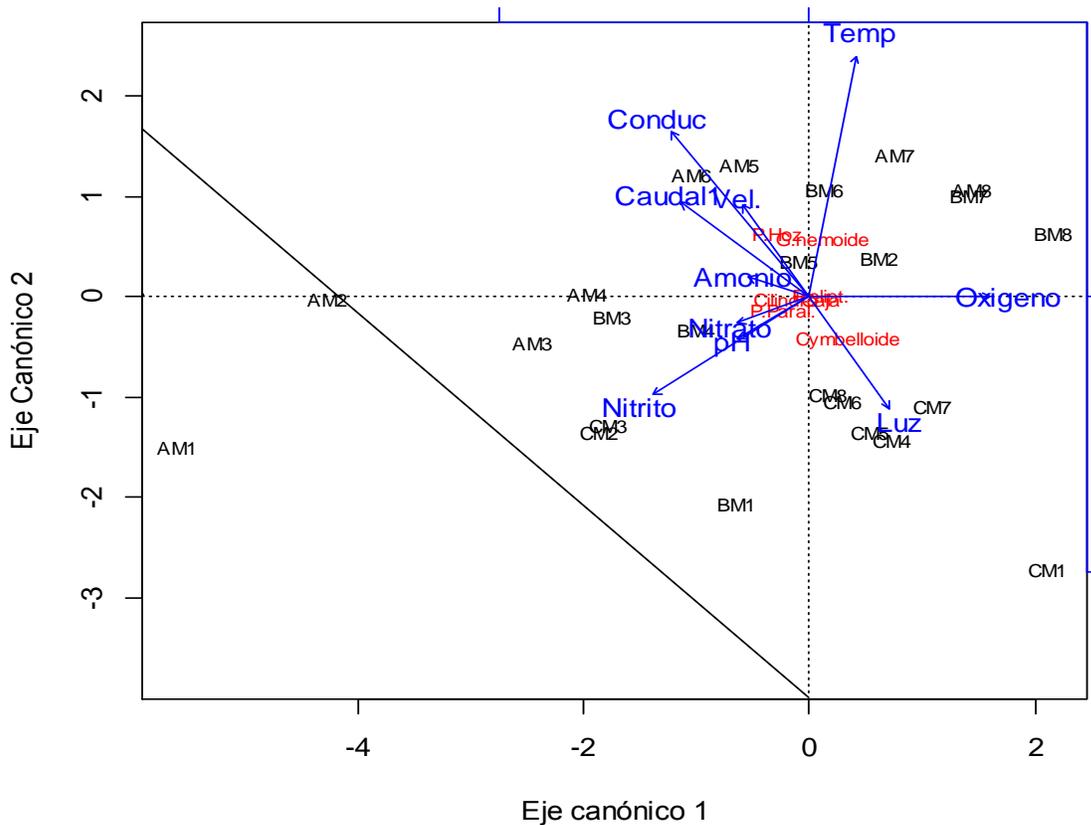


Figura 9. Relación generada por el ACC entre las variables ambientales y las formas de microalgas perifíticas.

Densidad y estrategias morfológicas de la comunidad

Las variaciones semanales que se observan en la densidad de microalgas indican 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 y después de algún tiempo de colonización (cinco semanas), la densidad de la comunidad no aumenta de forma considerable y el sustrato llega al límite de su capacidad de carga (Fig. 4).

Temporalmente, la comunidad de microalgas perifíticas mostró grandes variaciones en la morfología de las especies dominantes; 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. 10). 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*.

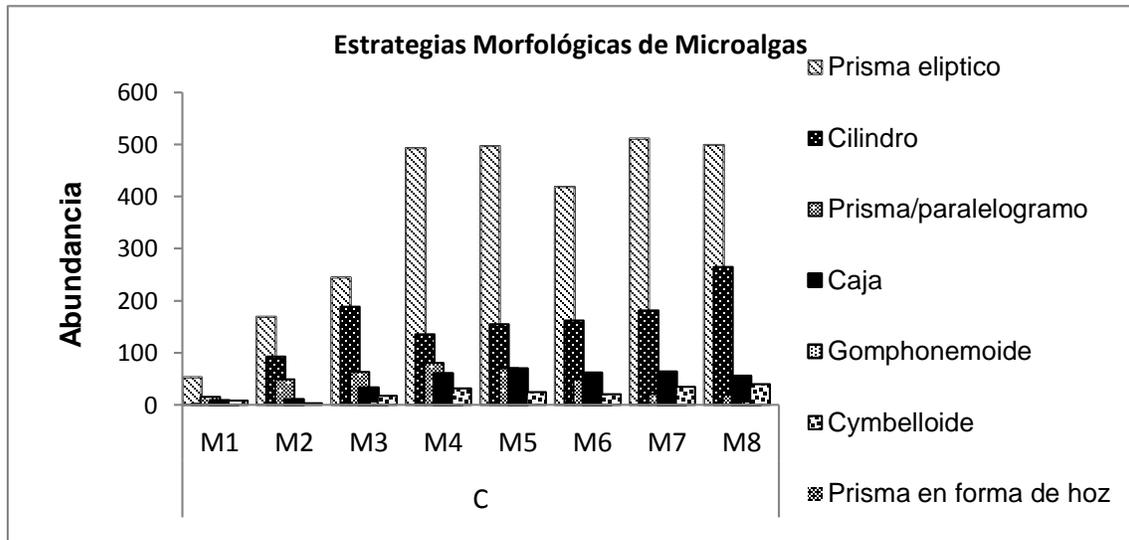
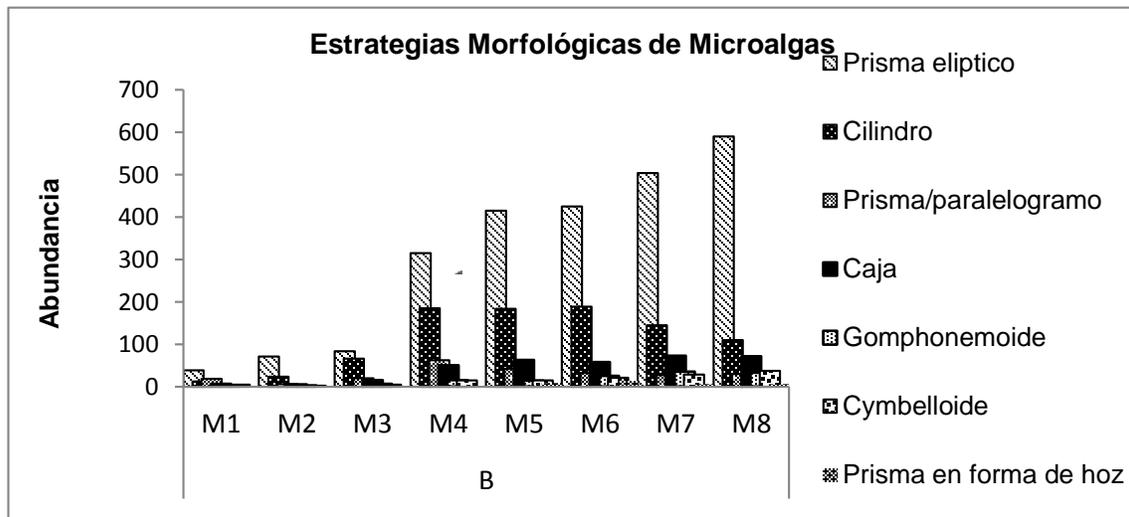
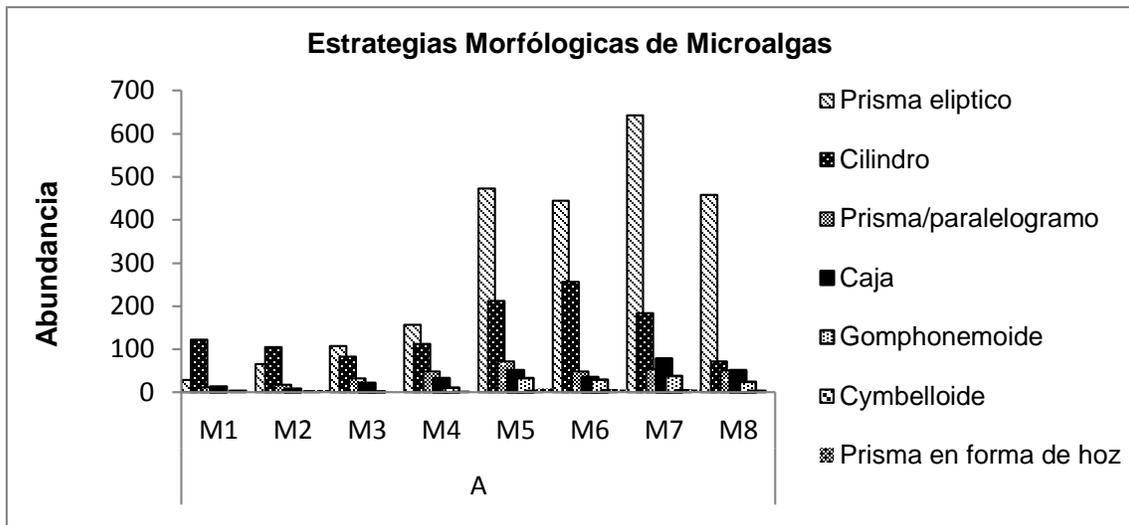


Figura 10. Variación semanal de las principales estrategias morfológicas de microalgas perifíticas. A= La Victoria, B= La picúa, C= Jabalí. M1, M2,..., M8 = semanas de colonización.

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 perifíticas (Hall & Tank, 2003).

Entre sitios, se observó una gran variación: el tributario La picúa (recibe la carga de químicos usados en el cultivo del café) estuvo más relacionado con Jabalí (más conservado) que con La Victoria (canalizado y con parches de bosque ripario talado).

Para el 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 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 Martínez y Donato (2003) en el río Tota.

La luz local presentó mínimas variaciones, atribuidas a la vegetación riverseña, la cual puede interceptar los rayos en determinado momento del día de acuerdo a la posición en la que se encuentre el sol (Zapata & Donato 2008).

La conductividad y la luz se incrementaron durante los últimos muestreos, influenciadas por el aumento de la temperatura y mayor incidencia de la radiación solar. Debido a la canalización, la penetración lumínica está reducida en este

tributario; esto, sumado a la cantidad de partículas suspendidas en el agua, que se aprecian a simple vista, es otro factor limitante que dificulta aún más la obtención de la luz por parte de los organismos autótrofos del perifiton.

Para el tributario B (La Picúa) 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 & 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.

El tributario C (Jabalí) presentó unas condiciones ambientales que estuvieron determinadas principalmente por el caudal (figura 5) y la penetración lumínica. Las microalgas del perifiton son afectadas, en orden jerárquico, por las variables climáticas, hidrológicas, físicas y químicas. Dentro de estas variaciones hidrológicas tenemos el caudal; y pequeñas variaciones en el caudal pueden ser suficientes para mantener inestables a las comunidades de microalgas perifíticas, retrocediéndolas de estadios de sucesión más avanzados y manteniéndolas 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 & Gaur, 1994; Hill, 1996). La división Chlorophyta requiere mucha más intensidad de luz que las Bacillariophyceae (diatomeas) y las Cyanophytas (Langdon 1988); la aparición de la especie *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, aunque en sistemas tropicales se dispone de la misma cantidad de luz a lo largo del año.

Roldán y Ramírez (2002) reportan, para el trópico, que este factor solo podrá ser limitante en las zonas profundas de lagos y embalses, y en orillas de lagos y ríos muy sombreados; características similares se presentan en el tributario Jabalí.

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 taxa dominantes pioneras mantuvieron poblaciones con altas densidades, 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, teniendo en cuenta los promedios de abundancia, independientemente del factor antrópico, se concluye que, 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 & Donato (2008) en el río Tota.

Reynolds (1997), describe cambios en la densidad de las comunidades de microalgas a lo largo del tiempo en el proceso de sucesión; plantea que en este proceso existe un patrón temporal que se da a corto plazo en los ríos y que presenta una fase de acumulación y otra de pérdida; la fase de acumulación se caracteriza por la inmigración/colonización y el aumento en la densidad de las especies dominantes tempranas, luego se produce un cambio hacia la pérdida, en

donde priman procesos de emigración, desprendimiento, muerte y herbivoría (Stevenson *et al* 1996).

Para la comunidad de microalgas perifíticas en los tributarios estudiados, se pudieron apreciar cuatro fases en el desarrollo de la: Colonización, acumulación, crecimiento y pérdida; estas fases se presentan a nivel interespecífico e interespecífico.

El 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 y 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 & 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. 9), 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 del taxa *Surirella* 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 & 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, la capacidad de carga en una comunidad de microalgas bénticas de río se alcanza en cuatro semanas (Peterson 1992), el sustrato ya había superado 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.

En el tributario B (La Picúa), solo se observaron las tres primeras fases; la colonización se dio 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.

En el tributario C (Jabali) 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 & 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 2008); 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. 8).

CONCLUSIONES

En el proceso de sucesión de algas perifíticas en tributarios del río Gaira, son más notorios los cambios en la densidad de 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. El 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.

La densidad, la morfología celular y las semanas de aparición pueden indicar un patrón de colonización en microalgas perifíticas, ya que permiten establecer una secuencia de cambios espaciales, temporales y morfológicos a nivel de especies; a su vez, pueden reflejar variaciones en la comunidad debido a condiciones ambientales principalmente hidrológicas, esto se sustenta en el hallazgo de diferentes fases en las comunidades, en relación a las semanas de aparición, densidad y formas de las microalgas.

La conductividad y la temperatura tuvieron mucho peso para conformar la estructura de la comunidad en el tributario A, ya que valores altos de estas variables se asociaron a la presencia de cianofitas como *Lyngbya*; el género *Cymbella*, exclusivo del tributario C, solo estuvo presente bajo condiciones de luz (51000 LUX) y caudales altos. Las fases del proceso sucesional tienen relación con el caudal y la velocidad de corriente cuando la comunidad alcanza la

capacidad de carga del sustrato, ya que las algas quedan más expuestas a la acción física de la corriente y sufren pérdidas.

RECOMENDACIONES

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.

Estudiar la taxonomía y fisiología de las algas no solo las más abundantes, las algas menos representativas pueden ser especies clave del ecosistema.

Evaluar la variación química, especialmente nutrientes como el fósforo, el cual no pudo ser evaluado en este trabajo debido a errores en el protocolo de análisis.

Evaluar cambios en la estructura de la comunidad de sitios río arriba conservado y río abajo con intervención antrópica, y determinar qué factor o variables ocasionan las diferencias.

BIBLIOGRAFÍA

Allan D. & Castillo M. 2007. Stream ecology. Structure and Function of Running Waters. Second, London. Edit. Chapman & Hall. Pp. 436

APHA - American Public Health Association. 1985. Standard methods for the examination of water and waste water, 16th ed. American public health association, Washington, DC. USA.

Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. 2007. Ecología: de individuos a ecosistemas. 4 ed. Artmed, Porto Alegre.

Bicudo C. E. M.; Menezes M. 2006. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil (Chave de identificação e descrições). Brasil.

Biggs B.J.F, Stevenson R.J, Lowe R.L. 1998. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. Archiv fur Hydrobiologie 143:21–56.

Burkholder J.M. 1996. Interactions of benthic algae with their substrata. In: Stevenson RJ, Bothwell ML, and Lowe RL (Eds.) Algal Ecology. Academic press, San Diego, pp 253–297 (Hodoki 2005).

Cabarcas. A. 2011.Efectos Del Caudal Sobre La Estructura De La Comunidad De Algas Perifíticas Presente En Dos Épocas Climáticas De Las Partes Alta Y Media Del Rio Gaira, Sierra Nevada De Santa Marta. Tesis de pregrado. Facultad de ciencias Básicas. Universidad del Magdalena.

Castellanos L. & J. Donato. 2008. Biovolumen y Sucesión de Diatomeas Bénticas. En: J. Donato (ed.). Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá):127-144. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

Catalán J. & Catalán A. 1987. "Ríos: caracterización y calidad de sus aguas"
Madrid, Dihidrox 264 pp.

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

Connell J. H. 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* 199: 1302-1310.

Cooke B.W.M. 1956. Colonization of artificial bare areas by microorganism. *Bot. Rev.*, v.22, p. 613-638.

Donato J.; González E. & Rodríguez L. 1996. *Ecología de dos ecosistemas acuáticos de páramo*. Bogotá, Colombia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Donato J. & Martínez L. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas perifíticas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*, 25(2), 337-354.

Donato J. & Riveros C. 2008. Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas. *Ecología de un río de montaña de los andes colombianos (Río Tota, Boyacá- Colombia)* pp. 84-99.

Durán L. C. 2008. Investigación del estado de las masas de agua superficiales de la cuenca del Ebro utilizando indicadores biológicos y físico químicos: Primera aproximación a la aplicación de la Directiva Marco del Agua. Tesis doctoral Universidad de Zaragoza.

Elosegui A. & Sabater S. 2009. Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial. Rubes Editorial. Fundación BBVA. España.

Esteves F. 2011. Fundamentos de Limnología. 3a edición. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 826p.

Flickr. 2008. Proyecto agua. <http://www.flickr.com/photos/microagua/2634071221>.

Gamboa F. O.; Mayorca & Gómez M. 2003. "Películas microbianas. Un mundo microscópico lleno de secretos", *Innoacion y ciencia*, 21: 50-55.

Gari N. & Corigliano M. Del C. 2004. La estructura del perifiton y de la deriva algal en arroyos serranos. *Limnética* 23 (1-2):11-24.

Ghosh M.; Gaur J. 1998. Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquat Bot.* (1):1-10.

Hall R.O.; Tank J.L. & Dybdahl, M.F. (2003). Exotic snails dominate nitrogen and carbon cycling in a highly productive stream. *Front Ecol Environ* 1:407–411.

Hauer E. R. & Lamberti G. A. 2007. eds. *Methods in stream ecology*. San Diego: Academic Press.

Hill W.R. 1996. Effects of light. In: *Algal Ecology* (Eds R.J Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe), pp. 121–148. Academic Press, California.

Hillebrand H.; Dürselen, C.; Kirschtel, D.; Zohary, T. y Pollinger, U. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal Phycology*, 35, 403–424.

Hermany G.; Schwarzbald, A.; Lobo, E. A. & Oliveira, M. A. Ecology of the epilithic diatom community in a low-order stream system of the Guaíba hydrographical region: subsidies to the environmental monitoring of southern Brazilian aquatic systems. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 18(1): 9-27, 2006.

Hodoki Y. 2005 Bacteria biofilms encourages algal immigration onto substrata in lotic systems. *Hydrobiologia* 539:27–34.

Kawecka B. 1985. Ecological characteristics of sessile algal communities in the Olczyski stream (Tatra Mts, Poland) with special consideration of light and temperature. *Acta Hydrobiologica*, 27 (3): 299-310.

Kawecka B. 1986. The effects of light deficiency on communities of sessile algae in the Olczyski stream (Tatra Mts, Poland). *Acta Hydrobiologica*, 28 (3/4): 379-386.

Lange – Bertalot, H. 1993. 85 Neue taxa. *Bibliotheca Diatomologica*. Band 27.

Lange – Bertalot H., S. Genkal. 1999. *Diatoms from Siberia I*. A. R. G. Gantner Verlag K. G. 295p.

Lange – Bertalot, H. 2001, *Diatoms of Europe*. Vol 2 Ed. E.R.G. Gantner Verlag K.G. Germany.

Legendre P. & Legendre L (1998) *Numerical ecology*, 2nd English edn. Elsevier, Amsterdam

Lewis W.M.; Melack J.M.; McDowell W.H.; McClain M. & J.E. Richey. 1999. Nitrogen yields from undisturbed watersheds in the Americas. *Biogeochemistry* 46:149–162.

Lobo E. & C. Buselato. 1985. Tempo de exposicao de um substrato artificial para o estabelecimiento da comunidad do perifiton no curso inferior do rio Caí, rio Grande do sul, Brasil. *Rickia* 12: 35-51.

Lowe R.L. & Pan Y. 1996. Benthic algal communities as biological monitors. In: Stevensom, R.J., Bothwell, M.L. e Lowe, R.L. (Eds). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, p. 705-739.

Margalef R. 1983. *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega.

Margalef R. 2002. Teoría de los sistemas ecológicos. Segunda edición. Alfaomega editores. Universidad de Barcelona, España.

McCormick P.V. & Stevenson, R.J. 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *J. Phycol.* 34: 726-733.

McFarland B.H., Hill B.H., Willingham W.T. 1997. Abnormal *Fragilaria* spp. (Bacillariophyceae) in streams impacted by mine drainage. *J Freshwater Ecol.* 12:141-152.

Montoya Y. & Ramírez J. 2007. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 585-593.

Moschini-Carlos V.; Pompêo M. L. M. E Henry, R. 2001. Periphyton on Natural Substratum in the Jurumirim reservoir (São Paulo, Brasil): Community Biomass and Primary Productivity. *Intern. J. Ecol. Envir. Sci.*, 27: 171-177.

Odum E.P. *Ecologia*. Rio de janeiro, Ed. Guanabara S.A., 434 p.1986.

Ramírez J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Medellín: Universidad de Antioquia.

Ramírez, A. & Y. Plata. 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo de Suanturbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales.

Reynolds C. S. 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Excellence in Ecology. Ecology Institute. Oldendorf. 371 pp.

Rodríguez L. 2013. *Ensamblajes de microalgas perifíticas en el sector medio del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta*. Tesis de pregrado sin publicar. Universidad del Magdalena Santa Marta-Colombia.

Roldán G & J. Ramírez. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.

Schiller D. E.; Marti J. L. Riera & F. Sabater. 2007. Effects of nutrients and light on periphyton biomass and nitrogen uptake in Mediterranean streams with contrasting land uses. *Freshwater Biology*. 52, 891–906.

Sladecková A. 1962. Limnological investigation methods for the periphyton (“Aufwuchs”) community. *Bot. Rev.*, 28: 286-350.

Sousa W. 1979. Disturbance in marine intertidal boulder fields: the nonequilibrium maintenance of species diversity. *Ecology* 60. 1225-1239.

Stevenson R.J.; Bahls L.L. 1999. Periphyton protocols. In Barbour MT, Gerritsen J., Snyder BD. & Stribling JB eds, 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, Washington DC:1-22.

Stevenson R. J.; Bothwell M. L. & Lowe R. L. (Eds). 1996. Algal Ecology – Freshwater Benthic Ecosystems. Academic Press. USA.

Taulbee W.K., Cooper S.D. & J.M. Melack. 2005. Effects of nutrient enrichment on algal biomass across a natural light gradient. *Archiv für Hydrobiologie*, 164, 449–464.

Wellnitz T. & Poff N. L. 2006. Herbivory, current velocity and algal regrowth: how does periphyton grow when the grazers have gone? *Freshwater Biology*, 51: 2114-2123.

Wetzel R. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems* (tercera edición ed.). Academic Press.

Wiens, J.A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3: 385-397.

Zapata A. & Donato J. 2005. Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de la corriente en un río tropical de montaña (Río Tota-Colombia). *Limnetica*, 24(3-4), 327-338.

ANEXOS

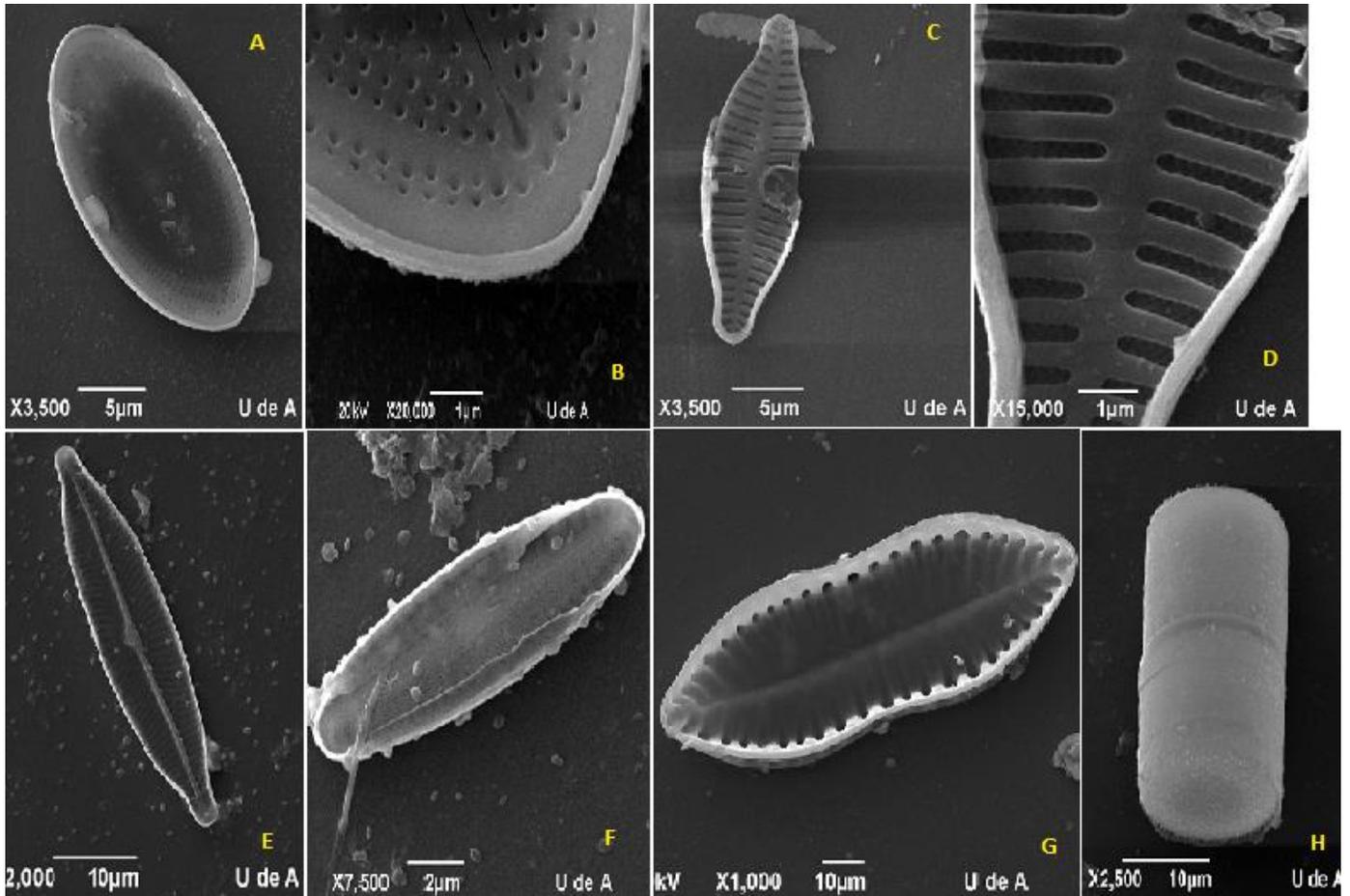
Imágenes de placas permanentes en Microscopía Óptica (M.O.)



Anexo 1. Fotos de placas permanentes en Naphrax M.O. (1 división = 1µm): A: *Achnanthes* aff. *inflata*, B: *Achnanthes* *exigua*, C: *Closterum* *sp*, D: *Navicula* aff *Schroeteri*, E: *Planothidium* *lanceolatum*, F: *Girosigma* cf. *obtusatum*, G: *Cocconeis* *placentula*, H: *Frustulia* cf *pumilia*.



Anexo 2. Fotos de placas permanentes en Naphrax M.O. (1 división = 1µm): A: *Epithemia sorex* Kutzing, B: *Surirella* sp2, C: *Surirella* sp3, D: *Surirella susanae* Metzeltin & Lange-Bertalot, E,F: *Fragilaria* sp.



Anexo 3. Imágenes de tacos observados 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*.

Tabla 3. Listado de taxones de algas perifíticas y su abundancia total presente en tres tributarios de la cuenca media del Rio Gaira

Especies	La		
	Jabalí	La Picúa	Victoria
<i>Achnanthes</i> aff. <i>inflata</i>	25	12	8
<i>Achnanthes exigua</i> Hustedt	58	19	12
<i>Closterium</i> sp	67	0	28
<i>Cocconeis placentula</i>	766	295	823
<i>Cymbella</i> sp	25	5	0
<i>Epithemia sorex</i> Kutzing	47	54	20
<i>Eunotia</i> sp	0	34	33
<i>Fragilaria</i> sp	496	315	263
<i>Frustulia</i> cf <i>pumilio</i>	51	15	13
<i>Girosigma</i> cf <i>obtusatum</i> Sullivant & Wormley Boyer	14	8	68
<i>Gomphonema</i> sp	26	127	137
<i>Melosira varians</i>	1183	756	945
<i>Navicula</i> aff <i>schroeteri</i> Meister	164	98	94
<i>Navicula</i> sp2	59	27	39
<i>Navicula</i> sp 3	70	43	32
<i>Nizschia</i> sp	356	185	267
<i>Pinnularia</i> sp	88	39	90
<i>Planothidium frequentissimum</i>	456	213	436
<i>Planothidium</i> aff <i>lanceolatum</i>	225	104	69
<i>Surirella susanae</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	0	26	94
<i>Surirella</i> aff <i>robusta</i>	0	11	17
<i>Surirella</i> sp 3	0	8	12
<i>Caloneis</i> sp	142	98	98
<i>chamaepinnularia</i> sp	278	167	205
<i>Eolimna</i> sp 1	278	198	299
<i>Eolimna</i> sp2	96	15	61