

Artículo original

Diversidad y distribución de la comunidad fitoperifítica presente en un río andino amazónico y su relación con variables ambientales

Diversity and distribution of the phytoperiphytic community present in an Andean Amazonian river and its relationship with environmental variables

Donovan Godoy-Lozada*, Marlon Peláez-Rodríguez

Grupo de Investigación Calidad y Preservación de Ecosistemas Acuáticos (CAPREA), Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia, Florencia (Caquetá), Colombia

Resumen

En el presente estudio se evaluaron la diversidad y la distribución de la comunidad fitoperifítica de un río andino amazónico, el río Hacha (en el municipio de Florencia, Caquetá), mediante el análisis de esta comunidad asociada con un sustrato rocoso en cuatro estaciones del gradiente altitudinal del río en periodos de alta y baja precipitación. En cada periodo climático se analizó la variación espacial de la composición y la abundancia del fitoperifiton, así como los factores ambientales que pueden ser responsables de dicha variación, y se contrastaron a partir de pruebas de comparación múltiple, un Anova y un análisis de ordenación. Se evidenció un aumento aguas abajo de la temperatura, la turbidez, y la demanda biológica de oxígeno y amonio, y una disminución de oxígeno disuelto a medida que se pasaba de las mayores altitudes a las menores durante los dos periodos analizados. Las variables de turbidez, temperatura y conductividad influyeron positivamente sobre la abundancia y la biomasa. El índice de Shannon tuvo una relación inversa significativa con las variables de demanda biológica de oxígeno y amonio y una positiva con las variables de pH y oxígeno disuelto. La clase Bacillariophyceae fue la de mayor distribución altitudinal, así como de morfoespecies registradas (52,3 %), y las estaciones A1 y A2 presentaron la mayor diversidad fitoperifítica en los muestreos. La estación Puente López (A4) registró los menores valores de riqueza y valores elevados de demanda biológica de oxígeno y amonio en las dos épocas de muestreo.

Palabras clave: Fitoperifiton; Diversidad; Biomasa; Distribución; Río Hacha.

Abstract

In the present study, we evaluated the diversity and distribution of the phytoperiphytic community of the Hacha River, an Andean-Amazonian river in the Florencia (Caquetá) associated with a rocky substrate in four stations along the altitudinal gradient of the river during periods of high and low precipitation. In each season, we analyzed the spatial variation of the composition and the abundance of the phytoperiphyton, as well as the environmental factors that may be responsible for this variation, contrasting them through various tests, an Anova, and management analysis. We registered an increasing gradient downstream of temperature, turbidity, and biological demand for oxygen and ammonium, as well as decreasing values of dissolved oxygen from the highest altitudes to the lowest during the two periods analyzed. The turbidity, temperature, and conductivity variables positively influenced biomass and ammonia abundance. The Shannon index presented a significant inverse relationship with the biological oxygen demand and ammonia, and a positive one with pH and dissolved oxygen. The Bacillariophyceae class had the highest altitudinal distribution and stations A1 and A2 presented the greatest phytoperiphytic diversity among samplings. The Puente López station (A4) registered the lowest richness and high values of biological demand of oxygen and ammonium in the two sampling periods.

Keywords: Phytoperifiton; Diversity; Biomass; Distribution; Hacha River.

Citación: Godoy-Lozada D, Peláez-Rodríguez M. Diversidad y distribución de la comunidad fitoperifítica presente en un río andino amazónico y su relación con variables ambientales. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 44(171):437-451, abril-junio de 2020. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1098>

Editor: Luis Fernando Echeverri

***Correspondencia:**

Donovan Godoy-Lozada;
donovan.godoy@hotmail.com

Recibido: 23 de noviembre de 2019

Aceptado: 26 de mayo de 2020

Publicado: 30 de junio de 2020



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

En los ecosistemas acuáticos la presencia de contaminantes orgánicos o inorgánicos modifican las características físicas y químicas del agua, lo cual puede afectar directamente la diversidad y distribución de las especies acuáticas (**Roldán & Ramírez, 2008**). La diversidad se ve influenciada por la adaptación de las diferentes especies al ecosistema y a los cambios que ocurran en él, ya sea que se deban a perturbaciones naturales o antrópicas, por lo que, para comprender los mecanismos de respuesta de las comunidades ante posibles alteraciones del ambiente, es imprescindible investigar los vínculos entre el ambiente y la diversidad (**Rivera & Donato, 2008**).

Al evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos es conveniente complementar el análisis de las variables físicas y químicas con estudios de la biota. En los últimos años se han venido implementando métodos de evaluación de la calidad del agua basados en la utilización de comunidades biológicas (**García, et al., 2017**). Estas comunidades u organismos se denominan organismos indicadores. **Pinilla (2000)** considera que un indicador biológico acuático es una especie cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita.

El perifiton tiene características que lo convierten en un grupo ideal para el biomonitorio de la calidad de las aguas tales como la imposibilidad de evadir la polución por encontrarse adherido a un sustrato generalmente fijo, lo que refleja los rasgos históricos del lugar y permite describir los patrones de distribución como respuesta a las condiciones ambientales (**Biggs, 1998**). **Wetzel (2001)** define el perifiton como una compleja comunidad de microbiota (bacterias, hongos, algas, protozoos y animales) y detritos orgánicos e inorgánicos adherida a un sustrato sumergido, natural o artificial. En la composición del perifiton la fracción conformada por algas y cianobacterias es la principal, por lo que se la conoce como fitoperifiton, ficoperifiton, fitobentos o algas y cianobacterias bentónicas.

Sin embargo, el estudio integral del perifiton se torna arduo y dispendioso, ya que es una comunidad con un agrupamiento complejo debido al alto número de organismos que la constituyen, a su variada arquitectura en mínimas superficies, a los diferentes sustratos colonizables y a su variación estacional, sumado todo ello a los cambios sucesionales relacionados con los ciclos de vida de sus integrantes (**Montoya, et al., 2008**).

Entre los estudios sobre fitoperifiton en Colombia se pueden mencionar los de **Sala, et al. (1999)**, **Martínez & Donato (2003)**, **Díaz & Rivera (2004)**, **Zapata & Donato (2005)**, **Montoya & Ramírez (2007)**, **Bustamante, et al. (2008)**, **Sala & Ramírez (2008)**, **Morales & Castro (2010)**, **Pedraza & Donato (2011)**, y **Andramunio (2013)**, pero sobre la región andino amazónica colombiana solo se cuenta con el trabajo de **Ricaurte, et al. (2015)**, quienes hicieron un primer acercamiento a la comunidad algal en varios humedales de esta región.

En este contexto, el estudio analizó la distribución espacial de la diversidad y la biomasa de la comunidad fitoperifítica, así como de los factores ambientales que la afectan, en diferentes tramos del gradiente altitudinal del río Hacha, principal ecosistema hídrico de la ciudad de Florencia, ya que sus aguas se utilizan para una variedad de actividades, entre los que se destacan el abastecimiento, la recreación y la recepción de las aguas residuales urbanas sin tratar de la mayor ciudad de la Amazonia colombiana (**Peláez, et al., 2011**). Los resultados aquí expuestos amplían el conocimiento sobre esta comunidad en los ecosistemas acuáticos de la región y constituye la línea de base para el desarrollo de futuros estudios sobre el fitoperifiton como potencial indicador de la calidad del agua en los sistemas lóticos andino amazónicos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se hizo en el cauce del río Hacha, en el municipio de Florencia, departamento de Caquetá, Colombia (**Figuras 1 y 2**), cuya longitud aproximada es de 66,7 km y una cuenca de 430,51 km², equivalente a 18,62 % del territorio del municipio. Las principales quebradas

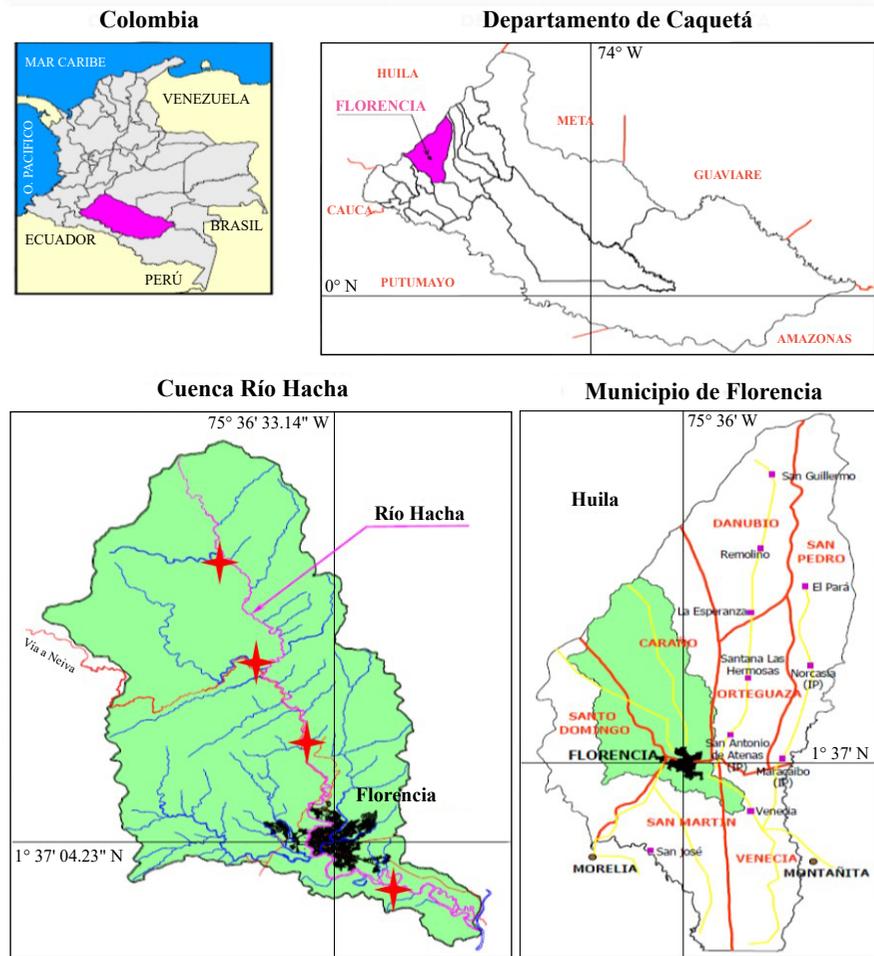


Figura 1. Localización geográfica de la cuenca del río Hacha en su paso por el municipio de Florencia Caquetá - Colombia (Corpoamazonia y Universidad de la Amazonia 2006). Se identifican las estaciones de muestreo con estrellas rojas.



Figura 2. Localización geográfica de la cuenca del río Hacha en su paso por el municipio de Florencia (Corpoamazonia y Universidad de la Amazonia 2006). Se identifican las estaciones de muestreo con estrellas rojas e imágenes fotográficas.

que vierten sus aguas al río Hacha son Paraíso, El Caraño, Las Doradas, El Dedo, La Yuca y La Perdiz, siendo esta última la principal receptora de las aguas residuales del casco urbano de la ciudad (Peláez, *et al.*, 2006). Según la clasificación de Holdridge (1967), la cuenca del río Hacha se ubica en un clima de bosque húmedo tropical caracterizado por su alta pluviosidad, temperatura y humedad y un régimen pluviométrico monomodal. Asimismo, por su ubicación geográfica en el sector noroccidental de Florencia, la cuenca tiene su mayor área en la ladera de la cordillera Oriental y es menor la de la planicie amazónica (Corpoamazonia & Universidad de la Amazonia, 2006). Teniendo en cuenta su perfil topográfico y los usos del suelo en sus márgenes, se eligieron cuatro estaciones como sitios de muestreos (Tabla 1).

Fase de campo

Durante el 2014 se realizaron cinco campañas de muestreos del perifiton adherido al sustrato rocoso en dos épocas con diferente nivel de precipitación: fin de la época de menor precipitación (de febrero a marzo) y fin de la estación de mayor precipitación (de septiembre a noviembre). Se fijó un área de 10 m de longitud por estación de muestreo, se seleccionaron al azar rocas en zonas de corriente y de cada una se tomó una muestra de 4 cm² de área con ayuda de un cepillo de cerdas suaves; las muestras se preservaron en frascos plásticos de color ámbar de 250 ml de capacidad con solución Transeau en un volumen de 1:1.

Muestras adicionales del material perifítico (sin preservar) se almacenaron en botellas ámbar de polietileno, se refrigeraron y se mantuvieron en oscuridad hasta el momento de su procesamiento (Sabater, 1988) para medir la clorofila *a* y emplearlas para estimar la biomasa utilizando el método desarrollado por la *International Organization for Standardization* (ISO, código 10260). Los resultados con este método espectrofotométrico son muy coherentes con los modelos de regresión, en contraste con el método fluorométrico, y son de utilidad para describir patrones espaciales y temporales de la comunidad algal y cianobacterial (Rivera, *et al.*, 2005).

El registro de las variables ambientales se hizo con base en los datos *in situ* de pH, conductividad, turbidez, temperatura del agua y oxígeno disuelto (OD) y la ayuda de medidores multiparámetro; se tomaron muestras para la determinación en laboratorio de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y de nutrientes (ortofosfatos, nitrógeno amoniacal, nitratos).

Fase de laboratorio

La DBO y los nutrientes se analizaron siguiendo la metodología de Manrique & Peláez (2013), adaptada para sistemas andino amazónicos. Para la cuantificación de la comunidad del fitoperifiton se utilizó un microscopio óptico binocular (NIKON E-200) con

Tabla 1. Altitudes de muestreo en el estudio de la comunidad fitoperifítica del río Hacha. Se incluyen el nombre, las coordenadas geográficas y las observaciones de cada una de las estaciones.

Estaciones de muestreo				
Altitud (m s.n.m.)	Nombre del lugar	Altura (m s.n.m.)	Coordenadas geográficas	Observaciones
A1	V. Sucre	890	N 1° 46' 28,8'' O 75° 39' 13,8''	Punto representativo de la parte alta del río Hacha
A2	V. El Caraño	517	N 1° 43' 33,7'' O 75° 38' 12,8''	Localizada aguas abajo de la desembocadura de la quebrada El Caraño en el río Hacha (límite de la cuenca alta-media)
A3	Primer Puente	296	N 1° 38' 31,41'' O 75° 37' 02,93''	Punto límite del sector urbano y rural de Florencia. Lugar de recreación de preferencia
A4	Puente López	250	N 1° 35' 9,9'' O 75° 33' 19,6''	Ubicada aguas abajo de la desembocadura de la quebrada la Perdiz en el río Hacha (cuenca baja)

métodos directos, una magnificación de 40 X y 100 X, y portaobjetos y cubreobjetos de 24 x 50 mm. Posteriormente, se agitó el contenido y se tomaron gotas de la muestra (0,05 ml aproximadamente). Se establecieron 30 campos de observación según la curva de acumulación de especies (Uehlinger, 1964). Se consideró como unidad de recuento la forma unicelular con filamentos ramificados largos o cortos, o sin ellos, y las formas pedunculadas.

La determinación de los taxones se hizo hasta el nivel de morfoespecie a través de las claves y descripciones de Bourrely (1970), Krammer & Lange-Bertalot (1991), Cox (1996), Komárek & Anagnostidis (1999), Ramírez (2000), Komárek & Anagnostidis (2005), y Bicudo & Menezes (2006).

Se usó la expresión de Ross (1979) para la cuantificación de organismos por mililitro, valor que se relacionó con el área de muestreo considerada para obtener la densidad de organismos por cm². La abundancia relativa de la comunidad fitoperifítica por unidad de área se obtuvo a partir del número de individuos recolectados de cada género y su relación con el número total de individuos de la muestra y se utilizó para establecer la importancia y la proporción de cada género con respecto a la comunidad.

La biomasa se determinó mediante la concentración de clorofila *a* del fitoperifiton siguiendo las recomendaciones de Power (1984), Sabater (1988) y Gaxiola (2010) y utilizando filtros de fibra de vidrio Whatman® GF/C de 0,47 µm de diámetro. La clorofila *a* se extrajo con solución acuosa de acetona al 90 % durante 24 horas. Posteriormente, las absorbancias se obtuvieron con espectrofotómetro y longitudes de onda de 663, 664, 665 y 750 nm, y lecturas antes y después de acidificar con HCL. Como blanco se utilizó la misma acetona al 90 % usada en la extracción. Para calcular los valores de clorofila *a* se utilizó la fórmula propuesta por las American Public Health Association-American Water Works Association-Water Environment Federation (APHA-AWWA-WEF, 1989).

Análisis de datos

En cada uno de los muestreos se determinó el número de individuos por morfoespecies y la biomasa. Se hizo un análisis de varianza multivariado (prueba de Lambda-Wilks) para evaluar el efecto de las variables ambientales sobre la comunidad perifítica y se usaron matrices de biomasa, composición, abundancia y valores de los índices ecológicos de Shannon-Wiener (*H'*), así del índice de dominancia de Simpson (*D*) (Villareal, *et al.*, 2004), cuyos valores se separaron a través de una prueba de Hotelling con 5 % de nivel de significación. Asimismo, con el fin de analizar el grado de asociación entre las variables evaluadas, se recurrió a dos análisis de correlación canónica: uno entre las variables ambientales y la variable de biomasa del fitoperifiton, y otro entre las variables ambientales y las variables de composición y abundancia y los valores de los índices ecológicos.

También se hizo un análisis de componentes principales (ACP) para determinar las variables ambientales con más peso en la diferenciación de las variables biológicas en las cuatro altitudes y para cada época de muestreo y a partir de un gráfico biplot, se analizó dicha relación. Por último, mediante un análisis de Procrustes generalizado se determinó el grado de consenso entre los datos de las variables biológicas y las variables físicas y químicas del agua. Las pruebas estadísticas se realizaron en el programa InfoStat, versión 2013 (Di Rienzo, *et al.*, 2013).

Resultados

En la **tabla 2** se detallan diferentes componentes que caracterizan cada una de las altitudes de estudio. En general, las altitudes A1, A2 y A3 presentan un alto grado de conservación de los bosques en sus riberas y el lecho del río dominado por sustratos duros que van cambiando a medida que se baja por el cauce del río Hacha. En la altitud A4 se observó una gran cantidad de fuentes contaminantes, principalmente vertimientos de aguas residuales domésticas urbanas, pero aún algo de vegetación riparia. Allí la conformación del lecho del río cambia significativamente pasando a predominar la arena y el fango (Peláez, *et al.*, 2006).

Tabla 2. Descripción del paisaje en las altitudes (estaciones) de muestreo. Se describe la estructura del paisaje y la hidrogeomorfología del río en cada una de las altitudes.

Estación	Paisaje	Vegetación	Columna Agua	Sustrato	Foto
A1	Bosque, agricultura, pastoreo y asentamientos humanos	Arbórea, arbustiva, herbácea y pasturas, 90 % de vegetación riparia	Agua de color transparente, rápidos (70 %), corriente (25 %), remanso (5 %)	Bloques (60 %) Cantos rodados (20 %) Gravas (10 %) Arena (10 %)	
A2	Bosque y asentamientos humanos	Arbórea, arbustiva, 80 % de vegetación riparia	Agua de color transparente, rápidos (20 %), corriente (70 %), remanso (10 %)	Bloques (40 %) Cantos rodados (30 %) Gravas (10 %) Arena (10 %) Materia orgánica gruesa (10 %)	
A3	Bosque, pastoreo y asentamientos humanos	Arbórea, arbustiva, herbácea y pasturas, 70 % de vegetación riparia	Agua de color transparente, rápidos (20 %), corriente (60 %), remanso (20 %)	Bloques (10 %) Cantos rodados (35 %) Gravas (10 %) Arena (35 %) Materia orgánica gruesa (10 %)	
A4	Bosque, pastoreo y asentamientos humanos	Arbórea, arbustiva, herbácea y pasturas, 50 % de vegetación riparia	Agua de color turbio, rápidos (20 %), corriente (50 %), remanso (30 %), fuerte contaminación	Bloques (10 %) Cantos rodados (5 %) Gravas (15 %) Arena (60 %) Materia orgánica gruesa (20 %)	

Los valores promedio de las principales características físicas y químicas del agua y de biomasa del fitoperifiton en cada una de las altitudes y épocas (alta y baja precipitación) en el cauce del río Hacha se presentan en la **tabla 3**. Todas las variables evaluadas difirieron estadísticamente (Lambda-Wilks, $p < 0,05$) según el gradiente altitudinal y la época de precipitación. Se evidenció un gradiente creciente de turbidez, DBO, temperatura y amonio, así como valores decrecientes de oxígeno disuelto, a medida que se descendía hacia las menores altitudes en los dos períodos analizados. Desde el punto de vista temporal, se observaron mayores valores de biomasa en el punto de muestreo de Puente López en las dos épocas de muestreo.

En cuanto a la composición de la comunidad fitoperifítica, se registraron 44 morfoespecies agrupadas en 29 géneros, 26 familias, 19 órdenes y 6 clases (**Tabla 4**). De estas, la clase Bacillariophyceae fue la de mayor distribución altitudinal y registró el 52,3 % de las morfoespecies seguida de Cyanobacteria (20,4 %) y las clases Fragilariophyceae, Coscinodiscophyceae, Chlorophyceae y Conjugatophyceae, con un 6,8 % cada una. Las morfoespecies que presentaron mejor distribución y la mayor abundancia fueron *Spyrogira Sp1* y *Oscillatoria Sp1*, (27 y 21 %, respectivamente) en todas las estaciones y épocas de muestreos. Asimismo, en la época de precipitación alta se presentaron los mayores valores de riqueza de la comunidad del fitoperifiton, siendo la estación A4 la de menor valor de riqueza y las estaciones A1 y A2 las de mayor diversidad.

Según el análisis de correspondencia canónica (**Tabla 5**), entre la variable de biomasa fitoperifítica y las variables ambientales hubo una alta correlación significativa con respecto al gradiente altitudinal y la época de precipitación ($r = 0,99$; $p < 0,001$). Las variables de turbidez, temperatura y conductividad tuvieron mayor influencia positiva sobre la biomasa según las correlaciones de Pearson.

El análisis de correlación canónica entre las variables ambientales y las biológicas demostró que una alta correlación significativa con el gradiente altitudinal y la época de precipitación ($r = 0,95$; $p < 0,01$). Esta correlación se presentó principalmente en la época de alta precipitación, cuando en las altitudes A1 y A2 (estaciones de Sucre y Caraño,

Tabla 3. Medias del análisis de varianza multivariado de las principales características físicas, químicas y de biomasa del fitoperifiton medidas en la cuenca del río Hacha en Florencia (Caquetá) considerando las altitudes y las dos épocas de precipitación

Precipitación	Altitud (msnm)	Temperatura	Turbidez	pH	OD	DBO5	NH4	PO4	Biomasa	Prueba de Hotelling ^a
Baja	1	17,7	15,3	7,3	6,7	2	0,23	0,01	0,07	a
	2	21,6	26,1	6,9	7,4	3	0,24	0,01	2,16	b
	3	22,0	33,9	6,7	7,2	11	0,30	0,01	0,96	c
	4	23,6	48,6	6,4	5,9	23	1,14	0,03	2,94	d
Alta	1	17,3	9,2	7,3	8,1	2	0,15	0,01	0,07	e
	2	21,7	19,8	7,0	7,3	4	0,22	0,01	1,98	f
	3	22,0	25,6	6,3	6,9	10	0,30	0,03	0,75	g
	4	23,0	33,3	5,2	4,6	26	1,60	0,03	2,31	h

^a Niveles del factor en esta columna seguida por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba de Hotelling, $p < 0,05$).

Biomasa ($\mu\text{g/L}$); NH_4 amonio; OD (mg/L), oxígeno disuelto; PO_4 (mg/L), ortofosfatos; caudal (m^3/s); turbidez; pH; con: conductividad (ms/cm); DBO_5 (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno; NO_3 (mg/L), nitratos y temperatura medidos en el cauce principal del río Hacha en Florencia (Caquetá)

Variable evaluada	Estacion de muestreo							
	1		2		3		4	
	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
Temperatura	17,3	17,7	21,7	21,6	22,0	22,0	23,0	23,6
Turbidez	9,2	15,3	19,8	26,1	25,6	33,9	33,3	48,6
pH	7,3	7,3	7,0	6,9	6,3	6,7	5,2	6,4
OD	8,1	6,7	7,3	7,4	6,9	7,2	4,6	5,9
DBO5	2	2	4	3	10	11	26	23
NH4	0,15	0,23	0,22	0,24	0,30	0,30	1,60	1,14
PO4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03
Biomasa	0,07	0,07	1,98	2,16	0,75	0,96	2,31	2,94

respectivamente) el índice de Shannon registró una relación significativa inversa con las variables del índice de Simpson, DBO_5 y amonio (NH_4), y de manera directa, con las variables de pH y oxígeno disuelto (OD). De igual forma, el índice de Simpson se vio influenciado inversa y muy significativamente por las variables pH y oxígeno disuelto (OD), y de manera positiva, con las variables de amonio (NH_4), DBO_5 y turbidez (**Tabla 6**).

Estos resultados se presentan gráficamente en detalle (**Figura 3**) con el análisis de componentes principales (ACP) en las cuatro altitudes y las dos épocas de muestreo, y explican más del 90 % de la variación de los datos en los dos primeros ejes. A partir del gráfico del *biplot* del ACP para las variables ambientales y biológicas del agua del río Hacha, se pudieron evidenciar dos grupos que se discriminaron con base en los descriptores de la altitud a la cual se recolectaron las muestras de agua.

En la época de alta precipitación puede apreciarse que el primer componente (CP1) separó A4 (Puente López) del resto de las altitudes. En dicha altitud se asociaron negativamente las variables de conductividad, PO_4 , turbidez, DBO_5 , biomasa, Simpson, temperatura y NH_4 . Las altitudes A1 y A2 (Sucre y el Caraño, respectivamente) se asociaron con la variabilidad restante en este mismo componente en el extremo positivo.

En la época de baja precipitación puede verse que, en general, el primer componente (CP1) se asoció negativamente con las variables pH, Shannon y riqueza correlacionadas con la altitud A1 (Sucre). Con este mismo componente en el extremo positivo se asociaron

Tabla 4. Composición de la comunidad fitoperifítica presente en el cauce principal del río Hacha, Florencia (Caquetá)

Clase	Orden	Familia	Género
Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula Sp1</i>
			<i>Navicula Sp2</i>
			<i>Navicula Sp3</i>
	Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Frustulia Sp1</i>
			<i>Frustulia Sp2</i>
	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia Sp1</i>
			<i>Eunotia Sp2</i>
			<i>Eunotia Sp3</i>
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia sp1</i>
	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia Sp1</i>
			<i>Pinnularia Sp2</i>
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia Sp1</i>
	Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora Sp1</i>
			<i>Amphora Sp2</i>
Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema Sp1</i>	
		<i>Gomphonema Sp2</i>	
	Cymbellaceae	<i>Cymbella Sp1</i>	
		<i>Cymbella Sp2</i>	
		<i>Encyonema Sp1</i>	
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Encyonema Sp2</i>	
		<i>Nitzschia Sp2</i>	
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria Sp1</i>
			<i>Fragilaria Sp2</i>
			<i>Fragilaria Sp3</i>
Coccinodiscophyceae	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>
	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira Sp 1</i>
	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>
Cyanobacterias	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria Sp1</i>
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria Sp2</i>
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria Sp3</i>
		Oscillatoriaceae	<i>Borzia Sp1</i>
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis Sp1</i>
		Microcystaceae	<i>Gloeocapsa Sp1</i>
		Chroococaceae	<i>Chroococcus sp2</i>
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>
Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena Sp1</i>	
Conjugatophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium Sp1</i>
		Closteriaceae	<i>Closterium Sp2</i>
	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spyrogira Sp1</i>
Chlorophyceae	Ulotrichales	Ulotrichaceae	<i>Ulothrix Sp1</i>
	Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium sp1</i>
	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Stigeoclonium Sp1</i>

Tabla 5. Coeficientes de correlación múltiple de la biomasa fitoperifítica y las principales características físicas y químicas medidos en el río Hacha en Florencia (Caquetá). Pearson (r) (arriba en la diagonal) y valores de probabilidad (p) (abajo en la diagonal).

Parámetros	Biomasa	NH ₄	OD	PO ₄	Caudal	Turbidez	pH	Con	DBO ₅	NO ₃	Temp
Biomasa	...	0,64	-0,52	0,55	-0,95	0,75	-0,51	0,95	0,63	-0,07	0,81
NH ₄	0,0008	...	-0,88	0,78	-0,56	0,66	-0,82	0,80	0,94	0,04	0,58
OD	0,0090	0,0001	...	-0,64	0,51	-0,56	0,79	-0,69	-0,84	0,18	-0,53
PO ₄	0,0051	0,0001	0,0006	...	-0,35	0,72	-0,73	0,72	0,89	0,16	0,68
Caudal	0,0001	0,0039	0,0106	0,0850	...	-0,71	0,42	-0,88	-0,51	0,28	-0,74
Turbidez	0,0001	0,0004	0,0037	0,0001	0,0001	...	-0,57	0,84	0,80	-0,21	0,84
pH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0376	0,0036	...	-0,69	-0,83	-0,10	-0,66
Con	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	...	0,82	-0,05	0,87
DBO ₅	0,0010	0,0001	0,0001	0,0001	0,0095	0,0001	0,0001	0,0001	...	0,07	0,71
NO ₃	0,7297	0,8338	0,3795	0,4324	0,1796	0,3076	0,6095	0,7948	0,7222	...	-0,04
Temp	0,0001	0,0024	0,0073	0,0002	0,0001	0,0001	0,0004	0,0001	0,0001	0,8196	...

Biomasa (µg/L); NH₄, amonio; od, oxígeno disuelto; po₄, ortofosfatos; caudal; turbidez; ph; con, conductividad; dbo₅, demanda biológica de oxígeno no₃, nitratos y temperatura medidos en el cauce principal del río Hacha en Florencia (Caquetá). *p<0,05; significativo; **p<0,01, muy significativo; NS, no significativo

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson para baja precipitación (arriba en la diagonal) y alta precipitación (abajo en la diagonal) de las principales características biológicas en la comunidad fitoperifítica y de las variables físicas y químicas medidas en el cauce del río Hacha, Florencia (Caquetá)

Parámetros	Riqueza	Abundancia	Índice de Shannon	Índice de Simpson	Temp	pH	Con	OD	DBO ₅	NH ₄	NO ₃	PO ₄	Turbidez
Riqueza	...	-0,03NS	0,89**	-0,85**	-0,36NS	-0,12NS	-0,13NS	0,53NS	-0,53NS	-0,19NS	-0,31NS	-0,31NS	-0,44NS
Abundancia	-0,09NS	...	-0,19NS	0,08NS	-0,16NS	0,08NS	0,19NS	-0,12NS	0,23NS	0,75*	-0,25NS	0,48NS	0,25NS
Shannon	0,66*	-0,33NS	...	-0,94**	-0,53NS	0,19NS	-0,5NS	0,47NS	-0,74*	-0,5NS	-0,4NS	-0,5NS	-0,75*
Simpson	-0,57NS	0,34NS	-0,98**	...	0,56NS	-0,23NS	0,51NS	-0,7NS	0,80*	0,37NS	0,36NS	0,51NS	0,69NS
Temp	-0,27NS	-0,33NS	-0,64*	0,67*	...	-0,56NS	0,75*	-0,3NS	0,74*	0,43NS	0,40NS	0,73*	0,73*
pH	0,67*	-0,18NS	0,86**	-0,88**	-0,63*	...	-0,81*	0,09NS	-0,65NS	-0,47NS	0,07NS	-0,51NS	-0,75*
Con	-0,68*	-0,07NS	-0,78**	0,74**	0,67*	-0,8**	...	-0,28NS	0,78*	0,73*	0,04NS	0,74*	0,89**
OD	0,66*	-0,14NS	0,96**	-0,95**	-0,72**	0,84**	-0,8**	...	-0,63NS	-0,12NS	0,12NS	-0,49NS	-0,29NS
DBO ₅	-0,62*	0,24NS	-0,89**	0,9**	0,58*	-0,93**	0,83**	-0,9**	...	0,67NS	0,17NS	0,86**	0,89**
NH ₄	-0,67*	0,34NS	-0,96**	0,96**	0,57NS	-0,85**	0,73**	-0,95**	0,87**	...	-0,03NS	0,81*	0,79*
NO ₃	-0,01NS	0,30NS	0,12NS	-0,17NS	-0,47NS	0,23NS	-0,16NS	0,13NS	-0,07NS	-0,16NS	...	0,00NS	0,16NS
PO ₄	0,22NS	-0,02NS	-0,41NS	0,52NS	0,61*	-0,31NS	0,16NS	NS	0,39NS	0,45NS	-0,25NS	...	0,76*
Caudal	0,53NS	0,22NS	0,65*	-0,63*	-0,74**	0,59*	-0,87**	0,71**	-0,61*	-0,63*	0,05NS	-0,22NS	-0,58NS
Turbidez	-0,42NS	-0,15NS	-0,77**	0,82**	0,88**	-0,78**	0,65*	-0,85**	0,72**	0,77**	-0,38NS	0,64*	...

Riqueza; abundancia; riqueza, abundancia, índice de Shannon-Weaver, Índice de Simpson, temp, temperatura, ph, con, conductividad; dbo₅, demanda biológica de oxígeno; no₃, nitratos; nh₄, amonio; po₄, ortofosfatos y temperatura medidos en el cauce principal del río Hacha en Florencia (Caquetá). *p < 0.05; significativo; **p < 0.01, muy significativo; NS, no significativo.

las variables de turbidez, Simpson, DBO₅, conductividad, biomasa, ortofosfatos y amonio, correlacionadas con la altitud A4 (Puente López). Los nitratos y el OD se relacionan con la altitud A3 (Primer Puente) y A2 (Caraño), respectivamente. La abundancia no presentó correlación en ninguna de las épocas, con excepción de los nitratos (NO₃) en época de alta precipitación.

Por último, esto se corroboró el consenso de Procrustes de 96 % entre los descriptores biológicos, físicos y químicos y las altitudes de muestreo (**Figura 4**). Los valores indican que la variabilidad se explica a través de los ejes 1 y 2 de la descomposición de la matriz de consenso; las altitudes que tuvieron mayor consenso fueron A1 (0,601) y A4 (1,02), y la de menor consenso fue la altitud A3, con 0,09.

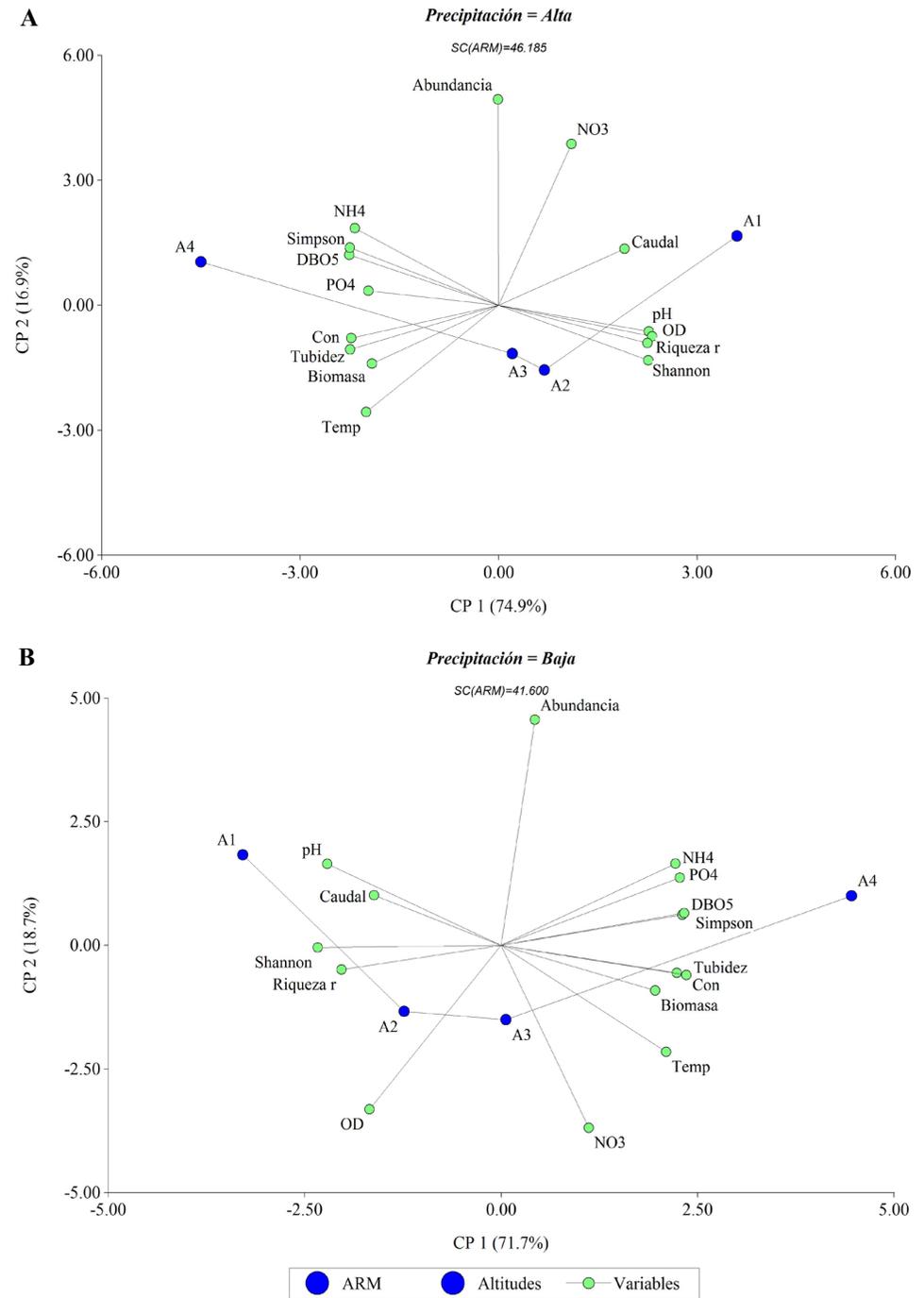


Figura 3. Ordenación de las altitudes en el espacio multidimensional de las variables físicas, químicas y biológicas. El “biplot” muestra la relación de las variables físicas, químicas y biológicas con las altitudes. A1 (Sucre); A2 (Caraño); A3 (Primer Puente); A4 (Puente López). **A.** Precipitación Alta. **B.** Precipitación Baja.

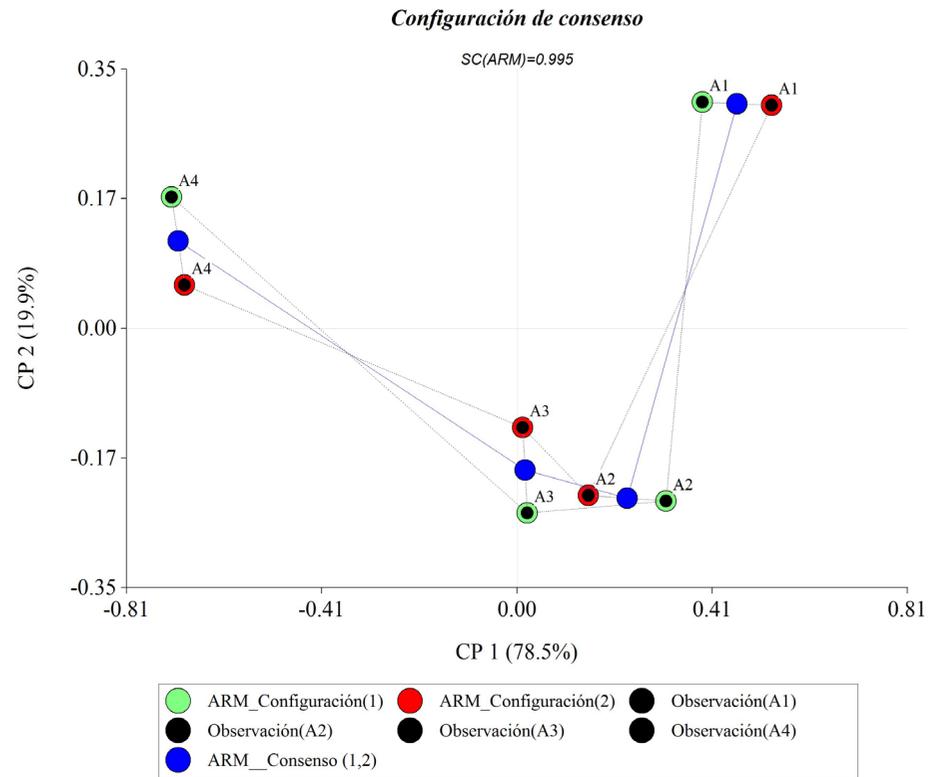


Figura 4. Análisis de Consenso Procrustes entre las variables biológicas, físicas y químicas y las altitudes de muestreo.

Discusión

El río Hacha es el principal ecosistema acuático del municipio de Florencia, ya que es la fuente principal de consumo de agua potable y de recreación de sus habitantes. Históricamente ha sufrido perturbaciones de origen antrópico, como la deforestación, la expansión ganadera y los vertimientos de aguas residuales (tramo que transcurre por la ciudad de Florencia), que han aumentado la carga de contaminantes en el cuerpo de agua (Peláez, *et al.*, 2006, 2011). De acuerdo con **Corpoamazonia y Universidad de la Amazonia** (2005), para el año 2002 se estimaba en 52,25 % el área total de la cuenca con bosques naturales, con una tasa de deforestación anual de 3.578 ha/año, situación que merita monitorear el estado ecológico de este importante ecosistema acuático de la región.

El río Hacha presenta dos biomas, la zona andina, ubicada en la cuenca alta y media y, la zona de planicie amazónica en la cuenca baja. La zona andina es un área de cordillera con procesos de meteorización de rocas que se depositan en el cauce del río, disminuyendo su tamaño por erosión, fragmentación y cambios geomorfológicos, hasta llegar a materiales finos (arenas, limos y arcillas). Estos cambios geomorfológicos sucesivos en los ecosistemas lóticos se acompañan de otros en las características físicas y químicas de las aguas, las comunidades y la vegetación riparia (Allan & Castillo, 2007).

En el análisis del consenso de Procrustes entre los descriptores biológicos, ambientales y las altitudes de muestreo se puede observar que las condiciones en la altitud A1 se diferenciaron marcadamente de las de A4 (ya que cada altura está en un extremo del gráfico), en tanto que las altitudes A2 y A3 estuvieron próximas (características semejantes). Esto corrobora la misma discrepancia evidenciada mediante el ACP entre las altitudes, que en el comportamiento de las altitudes A1 a A4 estaría influenciada por el uso de la tierra, ya que en la altitud A1 se encuentra un área de explotación agropecuaria a pequeña escala con algunos asentamientos humanos, en tanto que la altitud A4 recibe las descargas de aguas

residuales sin tratar de la ciudad de Florencia, condición que se refleja en los valores altos de conductividad, nitrógeno amoniacal, DBO₅ y ortofosfatos y en la disminución de los valores de oxígeno disuelto y pH registrados en este tramo.

En la estación A4 confluyen tributarios como la quebrada La Perdiz (principal recolector de aguas residuales de la ciudad) y la quebrada El Dedo (**Manrique & Peláez, 2010**). El aumento de las concentraciones de nutrientes, conductividad y DBO es un indicio de la alteración de la masa del agua (**Marín, 2006**), al igual que la disminución del oxígeno disuelto y el pH (**Volgaropoulos, et al., 1987**), lo que puede acarrear una alteración del estado ecológico del río Hacha e influir en la dinámica de la comunidad de fitoperifiton (**Roldán & Ramírez, 2008**), lo que se manifiesta en la ausencia de organismos sensibles o la presencia de organismos tolerantes a la contaminación (**Vivas, et al., 2002**).

Los valores promedios de ortofosfatos en la A4 (0,03 mg.l⁻¹) sugieren características eutróficas en las dos épocas de muestreo (**Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA) en Ramírez & Viña, 1998**). Los valores de riqueza se vieron afectados por la concentración de nutrientes y DBO. De hecho, los menores valores de riqueza se asociaron con la menor calidad del agua en A4, con una alta DBO y elevadas concentraciones de amonio, lo que se tradujo en los menores valores de riqueza y la ausencia de géneros como *Aulocoseira* Sp 1, *Achnanthes* Sp1, *Melosira* Sp1 y *Stigeoclonium* Sp1, abundantes en A1. En diversos estudios se ha demostrado que los ambientes acuáticos con tendencia a la eutrofización favorecen la dominancia de pocas especies (**Morales & Salazar, 2012; Amaidén & Gari, 2011; Pizarro & Alemanni, 2005**).

Esta información corrobora lo mencionado por **López, et al. (2012)**, quienes aplicaron índices bióticos (macroinvertebrados) para evaluar la calidad de las aguas del río Hacha y encontraron en esta misma estación (A4) que el agua estaba moderadamente contaminada. Asimismo, en el estudio realizado por **Peláez, et al. (2006)** se caracterizó y cuantificó la carga contaminante transportada por este río registrando en la estación Puente López los valores más altos de DBO y de sólidos suspendidos totales (86 mg. L⁻¹ y 610 mg. L⁻¹) comparada con las estaciones el Caraño y Primer Puente, con 8 mg. L⁻¹ y 6 mg.L⁻¹, respectivamente, estaciones que también hicieron parte de este estudio.

En cuanto a la temperatura del agua, esta aumenta a medida que el río desciende, notándose una marcada diferencia en la altitud A1, de 919 m s.n.m. y las de las altitudes A2 de 517 m s.n.m, A3 de 296 m s.n.m. y A4, de 261 m s.n.m., además de la disminución gradual de la vegetación riparia a medida que el río transcurre aguas abajo y recibe una mayor intensidad lumínica con el consecuente aumento en su temperatura, condiciones que implicarían un incremento en la abundancia de la comunidad fitoperifítica (**Pedraza & Donato, 2011**). Por otra parte, en la altitud A4 se registraron los mayores valores de compuestos nitrogenados en comparación con las otras tres altitudes estudiadas, los cuales provienen de la descarga de las aguas residuales de Florencia (**Manrique & Peláez, 2010**).

En cuanto a la distribución de la comunidad fitoperifítica, esta estuvo dominada por la clase Bacillariophyceae en la época de mayor precipitación, la cual es común y abundante en ecosistemas lóticos debido a que pueden soportar cambios de temperaturas y altos niveles de contaminación (**Ramírez & Plata, 2008**). Por otra parte, las estaciones Sucre (A1) y El Caraño (A2) presentaron la mayor diversidad fitoperifítica de los muestreos realizados, lo que se explica por el gradiente altitudinal que, a medida que el río desciende sobre el curso del agua, tiene una mayor influencia antrópica que disminuye la calidad del agua del río Hacha (**Peláez, et al., 2008**).

El modelo de regresión utilizado indicó que el NH₄ tuvo una influencia positiva sobre la abundancia y la biomasa. La incidencia de los nutrientes en la comunidad perifítica fue reportada por **Montoya & Ramírez (2007)**, quienes resaltaron el efecto causado por el aumento de los nutrientes en la diversidad de algas y cianobacterias perifíticas. Asimismo, **Ramírez & Plata (2008)** resaltaron el efecto de la conductividad y el pH en la poca diversidad de diatomeas perifíticas; **Pedraza & Donato (2011)** y **Gari & Corigliano (2004)**, por su parte, resaltan la influencia de la temperatura en la abundancia y la riqueza del perifiton, y **Homer, et al. (1990)** y **Zoppi, et al. (2008)** relacionaron los bajos niveles

de nutrientes con la reducción significativa de la biomasa, la diversidad y la riqueza en un gradiente de profundidad del agua. Otros factores, además de los considerados en este estudio, probablemente afectaron la comunidad perifítica y podrían estar relacionados con la parte de la variación no explicada, entre ellos, factores ambientales abióticos como el sustrato (Sánchez, *et al.*, 2005), el gradiente de profundidad del agua (Zoppi, *et al.*, 2008; Sánchez, *et al.*, 2005), la estacionalidad térmica (Gari & Corigliano, 2004), entre otros.

Conclusiones

Los análisis empleados en este estudio indicaron que la relación entre la comunidad fitoperifítica y las variables ambientales es evidente y cuantificable en el ecosistema del río Hacha. Las variables ambientales que determinaron de manera positiva la abundancia y la biomasa fitoperifítica en el cauce principal del río fueron el nitrógeno amoniacal, la conductividad y la DBO_5 , las cuales influyeron de manera significativa en la distribución de la comunidad fitoperifítica en cada una de las altitudes muestreadas.

Esta investigación continúa y los nuevos resultados sobre el papel de la comunidad fitoperifítica como indicadora del ecosistema del río Hacha se abordarán en una publicación posterior. En este sentido, ya se está avanzando en la identificación hasta el nivel de especie de las 44 morfoespecies obtenidas para relacionarlas con los factores ambientales, lo que permitiría a las autoridades ambientales implementar programas de monitoreo de este ecosistema, que, como ya se mencionó, es el principal recurso hídrico de la ciudad de Florencia.

Asimismo, se sugiere que en estudios posteriores se incluyan otras comunidades (interacciones biológicas), con el fin de proporcionar una visión más completa de los factores que influyen en la estructura de la comunidad del fitoperifiton y plantear estrategias para la conservación de este ecosistema acuático.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Calidad de Aguas por el préstamo de equipos; al Ph.D. Armando Sterling por la asesoría en el análisis estadístico.

Contribución de los autores

DGL, realizó el trabajo de campo, análisis e interpretación de resultado y su discusión, como también, en la redacción del informe final; MPR, colaboró en el trabajo de análisis e interpretación de resultado y su discusión, como también, en la redacción del informe final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

- Allan D. & Castillo M. (2007). Stream ecology. Structure and Function of Running Waters. 2 Ed. Springer: The Netherlands. 436 p.
- Amaidén, M. A. & Gari, E. N. (2011). Perifiton en el mesohábitat de corredera de un arroyo serrano: dinámica estacional en relación a variables físico-químicas. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. **46** (3-4): 235-250.
- Andramunio, A. C. (2013). Dinámica sucesional y ecología trófica de la comunidad perifítica en dos ambientes del sistema lagunar de Yahuaraca (Amazonas, Colombia) (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia). 90 p.
- Bicudo, C. & Menezes, M. (2006). Géneros de algas de aguas continentales do Brasil (chave para identificação e descrições). Segunda edición. 502 p.
- Biggs, B.J.F., Goring D.G., Nikora V. I. (1998). Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form. J. Phycol. **34**: 598-607.
- Bustamante, T. C., Davila, M. C., Torres, C. S., Ortiz, D. J. (2008). Composición y abundancia de la comunidad de fitoperifiton en el Río Quindío. Rev. Invest. Univ. Quindío. **18**: 15-21.

- Bourrelly P.** (1970). Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome II: Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Éditions N. Boubée y Cie. 438 S., Paris. 438 p.
- Corpoamazonia.** (2006). Corporación para el Desarrollo del Sur de la Amazonia. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Hacha. 40-41 p.
- COX E.** (1996). Identification of Freshwater Diatoms from Live Material. Londres: Chapman & Hall. 157 p.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W.** (2013). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. InfoStat versión 2013. <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz, Q. C. & Rivera-Rondón, C. A.** (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*. **26**: 381-394.
- García, J.M., Sarmiento, L.F., Salvador, M., Porras, L.S.** (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. *UGCiencia*. **23**: 47-62.
- Gari, N. & Corigliano, M.** (2004). La estructura del perifiton y de la deriva algal en arroyos serranos. *Limnetica*. **23** (1-2): 11-24. Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409.
- Gaxiola, C. G., De la Cruz, O. E., Nájera M. S., Martínez, G. M., Rodríguez G. A.** (2010). Biomasa y producción del fitoplancton. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California. pp. 59-85.
- Holdridge, L.R.** (1967). Life zone ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Homer, R., Welch, E., Seeley, M., Jacoby, J.** (1990). Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biol.* **24**: 215-232.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H.** (1991). Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae. Jena. 2 (3): 1-576. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, Germany.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K.** (1998). Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. - In *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H. & Mollenhauer D. editors), 1- 548. Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm.
- Komárek, J. & Golubić, S.** (2005). Proposal for unified nomenclatural rules for Cyanobacteria vs. Cyanophytes: "Cyano-Guide". In *Nomenclature of Cyanophyta/Cyanobacteria: Roundtable on the Unification of the Nomenclature under the Botanical and Bacteriological Codes* (Hoffmann, L., editor). *Algological Studies*. **117**: 17-18.
- López E. S., Gaspar S., Peláez R. M.** (2012). Aplicación de índices bióticos para la evaluación de la calidad del agua de un río Andino Amazónico. *Momentos de Ciencia*. **9** (2): 106-112.
- Manrique, L. & Peláez, R. M.** (2010). Evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Perdiz en su área urbana. *Momentos de Ciencia*. **7** (2): 118-126.
- Manrique, L. & Peláez R. M.** (2013). Manual de análisis de calidad de aguas. Análisis físicos y químicos. Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad de la Amazonía. 117 pp.
- Martínez, L. & Donato, J. C.** (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*. **25** (1): 337-354.
- Montoya, M. Y., Ramírez, R. J., Segecin, M. R.** (2008). Diatomeas perifíticas de la zona de ritral del río Medellín (Antioquia), Colombia. *Actu Biol.* **30** (89): 181-192.
- Montoya, M. & Ramírez, J. 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.
- Morales D. S. & Castro, M. I.** (2010). Respuesta de *Navicula rhynchocephala* (Bacillariophyceae) al incremento de nutrientes en un arroyo andino (Colombia). *Acta Biológica Colombiana*. **15**: 73-78.
- Morales-Velasco, S., Salazar-Sánchez, M.** (2012). Diatomeas perifíticas de lagos con diferente estado trófico en el departamento del Cauca (Colombia). *Revista Luna Azul*. **35**: 10-27.
- Pedraza, E. & Donato, J. C.** (2011). Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los andes colombianos. *Caldasia*. **33** (1):177-191.
- Peláez, R. M. & García, L. H.** (2011). Indicadores ambientales de las presiones, estado e impactos en la cuenca del río Hacha (región andino - amazónica colombiana). Experiencias en la aplicación del enfoque GEO en la evaluación de ecosistemas degradados de Iberoamérica. RED CYTED 411RT0430. Buenos Aires, Argentina. pp. 174.
- Peláez, R. M., García, L. H., Méndez, P. G.** (2006). Caracterización y cuantificación de la carga contaminante transportada por el río Hacha (Florencia-Caquetá). Resúmenes del VII Seminario Colombiano de Limnología. 21 p.

- Pinilla, G.** (2000). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Compilación Bibliográfica. 14 p.
- Pizarro, H. & Alemanni, M. E.** (2005). Variables físico-químicas del agua y su influencia en la biomasa del perifiton en un tramo inferior del río Luján (Pcia. de Buenos Aires). *Asociación Argentina de Ecología*. **15**: 73-88.
- Power, M. E. & A. J. Stewart.** (1984). Disturbance and recovery of and algal assemblage following flooding in an Oklahoma stream. *Am. Midl. Nat.* **117**: 333-345.
- Ramírez, A. & Viña, G.** (1998). Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Editorial Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, D. C. 293 p.
- Ramírez, J.** (2000). Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. p. 207.
- Ramírez, C. A. & Plata, D. Y.** (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo De Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta biol. Colomb.*, Vol. **13** (1): 199-216.
- Ricourte, L.F., Núñez-Avellaneda, M., Pinilla, M.C., Marín, C.A., Velásquez- Valencia, A., Alonso, J. C., Mojica, J. I., Betancourt, B., Salazar, C., Caicedo, D., Acosta-Santos, A., Castro, W., Argüelles, J. H.** (2015). Inventario y tipificación de humedales en la cuenca del río Ortegua, departamento del Caquetá, Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Convención de Ramsar. Bogotá, Colombia. 128 p.
- Rivera, C. & Donato, J.** (2008). Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas: 83-102 (en) Donato, J. (ed.) *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (río Tota, Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Rivera, R.C, Zapata, A.Á, Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., Jiménez, P.** (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biológica Colombiana*, vol. 10, núm. 2, pp. 95-103. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Bogotá, Colombia
- Roldán, G. & Ramírez, J.** (2008). Fundamentos de limnología neotropical. 2a edición. Medellín: Universidad de Antioquia. 440 p.
- Sabater, S.** (1988). Diatom assemblages in the river. *Ter. Arch. Hydrobiol.* **111** (3): 397-408.
- Sala, S. E. & Ramírez, J. J.** (2008). Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia, Chocó and Santander departments in Colombia. *Revista de biología tropical.* **56**: 1159-1178.
- Sala, S. E., Duque, S. R., Núñez-Avellaneda, M., Lamaro, A. A.** (1999). Nuevos registros de diatomeas (Bacillariophyceae) de la Amazonia colombiana. *Caldasia.* **21**: 26-37.
- Sánchez, L., Montoya, J. V., Winemiller, K. O., Roelke, D.** (2005). Composición y biomasa de comunidades perifíticas asociadas a un sustrato artificial durante etapas iniciales de sucesión en el río Cinaruco, estado Apure. *Socialización científica. Venezuela.* p. 284.
- Uehlinger V.** (1964). Étude statistique des méthodes de denombrement planctonique. *Archives des Sciences.* **17** (2): 21-223.
- Villarreal, H. M., Córdoba, F., Escobar, G., Fagua, F., Gast, H., Mendoza, M., Ospina, Umaña, A.** (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.
- Wetzel, R. G.** (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Third Edition: Elsevier. Academic Press. 1006 pp.
- Zapata, A. M. & Donato, J. C.** (2005). Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota-Colombia). *Limnetica.* **24**: 327-338.
- Zoppi, E., González, F., Gordon, E.** (2008). Composición del fitoplancton y perifiton en un gradiente de profundidad en una sabana inundable (Apure). Instituto de Zoología Tropical (IZT). Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. 296 pp.