

Sellaphora nigri. Foto: Instituto SINCHI_2019

Algas perifíticas de los ríos del piedemonte de la transición Andino-Amazónica: Camino Andakí Caquetá, Colombia

Yasmín Plata-Díaz* y Marcela Núñez-Avellaneda^{a 1}

Resumen

En el marco de la expedición Colombia Bio se realizó el inventario de la biodiversidad del Camino Andakí entre los departamentos de Caquetá y Huila. Se estudiaron ocho arroyos pertenecientes a la cuenca del río Pescado (afluente del río Orteguzza) a lo largo de un gradiente altitudinal entre 410 y 1398 msnm. Se registró información física y química *in situ* de las aguas, así como la recolección de microalgas provenientes de sustratos duros. Se registró una baja mineralización con valores de conductividad entre 23 – 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alta concentración de oxígeno disuelto (7.5–8.6 mg/L) y valores de pH entre 6.1 a 7.9.

Se encontraron 58 especies y 26 morfoespecies distribuidas en 7 Clases, 18 Órdenes, 33 Familias y 48 Géneros. Se observaron cambios en la composición y abundancia de la comunidad en cada una de las tres franjas altitudinales estudiadas, relacionadas con el pH, la Temperatura y el Oxígeno disuelto. Se registró una alta abundancia de diatomeas (Bacillariophyceae) en la franja alta y media del gradiente, en particular un alto número de especies de las familias Diadesmidiaceae (en particular del género *Luticola*) y Eunotiaceae, mientras que las Cianobacterias (Cyanophyceae) se encontraron en un alto porcentaje en la franja baja. Se encontraron 25 nuevos registros para el piedemonte amazónico y 11 para el país.

Palabras clave: Ficoperifiton, diatomeas, ríos, diversidad, cuenca Amazónica

Abstract

As part of the Colombia Bio expedition, the biodiversity inventory of the Camino Andakí was made, between the departments of Caquetá and Huila. Eight streams belonging to the río Pescado basin (a tributary of río Orteguzza) were studied along an altitude gradient between 410 and 1,398 meters above sea level. Physical and chemical information was recorded *in situ* of the waters, as well as the collection of microalgae from hard substrates. Low mineralization was recorded with conductivity values between 23–42 $\mu\text{S}/\text{cm}$, high concentration of dissolved oxygen (7.5–8.6 ppm) and pH values between 6.1 and 7.9.

Fifty-eight species and 26 morphospecies were found, distributed in 7 Classes, 18 Orders, 33 Families and 48 Genera. Changes in the composition and abundance of the community were observed in each of the three altitude strips studied, related to pH, Temperature and Dissolved Oxygen. A high abundance of diatoms (Bacillariophyceae) was recorded in the upper and middle stripe of the gradient, in particular a high number of species from the Diadesmidiaceae families (in particular of the genus *Luticola*) and Eunotiaceae, while Cyanobacteria (Cyanophyceae) were found in a high percentage in the lower strip. Twenty-five new registrations were found for the Colombian Amazon and 11 for the country.

Keywords: Ficoperifiton, Diatoms, Rivers, Diversity, Amazon Basin

¹ * Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Grupo de Ecosistemas Acuáticos, Avenida Vásquez Cobo entre calles 15 y 16, Leticia, Colombia, +5785925481. Grupo de Estudios en Biodiversidad. Escuela de Biología. Universidad Industrial de Santander. Calle 9 Cra 27. Bucaramanga, Santander, Colombia yasmin.plata@correo.uis.edu.co

^{1a} Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Grupo de Ecosistemas Acuáticos, mnunez@sinchi.org.co

INTRODUCCIÓN

La gran riqueza hídrica de la Amazonia nace en los Andes. El flanco andino de la Amazonia presenta características topográficas particulares que determinan una alta condensación de vientos y nubes generando una mayor concentración de lluvias respecto a otros sectores de la cuenca (Rangel y Aguilar-P 1995; Jaramillo 2012), con períodos de precipitación entre seis y ocho meses por año. Esto genera una red hídrica de ríos cordilleros de bajo orden y fuerte pendiente, los cuales constituyen una parte muy importante del paisaje de la alta Amazonia.

En este sector se encuentra el Camino Andakí, que fue una de las rutas vitales para el movimiento de los pueblos indígenas en el siglo XIX entre Huila y Caquetá (Friede 1948). El camino fue delimitado como Parque Municipal Natural en el 2009 en el municipio Belén de los Andaquíes, departamento de Caquetá (Figura 1). El parque posee una extensa cuenca hidrográfica de 26.754 hectáreas con un gradiente altitudinal que va desde 2.441 a los 400msnm, por lo que actúa como un importante corredor biológico entre las partes altas de las montañas del macizo colombiano y la región más occidental de la Amazonia (Fundación Tierra Viva 2013, Sua y Virguéz 2018). De acuerdo con Cárdenas *et al.* (2018), el Camino Andakí alberga una alta riqueza biológica y especies endémicas de fauna y flora, no obstante, es poco lo que se conoce respecto a la biodiversidad de los sistemas acuáticos para este sector.

Los estudios limnológicos en el departamento del Caquetá son escasos. Ricaurte y Núñez-Avellaneda (2015), realizaron una evaluación en 13 ríos y humedales de las cuencas de los ríos Bodoquero, Fragua-Ferroso, Hacha, Ortegüaza, Pescado y San Pedro, reuniendo información física y química de las aguas, así como aspectos biológicos, entre ellos las microalgas perifíticas (o ficoperifiton). Sin embargo, los cambios en composición relacionados con el gradiente altitudinal son poco conocidos en Colombia, y a nivel regional solo se conoce una síntesis de ríos altoandinos en Ecuador y Bolivia (Jacobsen, 2008).

Estudios taxonómicos de microalgas acuáticas son en general, escasos en Colombia. En el norte de Sudamérica son ampliamente conocidos los estudios biogeográficos en especies de Desmidiás, particularmente en Amazonia y Orinoquia (Coesel 1996) y de diatomeas en sectores del escudo Guayanés (Metzeltin y Lange-Bertalot 1998, 2007). En diatomeas ya se han realizado varios inventarios en Colombia, mostrando una alta riqueza aunque con un alto porcentaje de especies no determinadas a nivel específico, las cuales llegan a representar hasta un 30% de los inventarios (Sala *et al.* 2008) constituyendo posibles nuevas especies para la ciencia.

El presente estudio tiene como objetivo estudiar los cambios en el ensamble del perifiton relacionados con el gradiente altitudinal y documentar la diversidad de la diatomoflora en ríos de cordillera y piedemonte andino amazónico. Dicha investigación hace parte del proyecto “Expedición Colombia-BIO a la Biodiversidad en la Transición Andino-Amazónica del Departamento del Caquetá-Un escenario de paz en el post-conflicto”. Dada la importancia del Camino Andakí como corredor biológico y un sitio de referencia de condiciones de baja intervención, éste trabajo constituye un importante aporte al conocimiento de la biodiversidad a escala microscópica y un referente para pequeños ríos andinos con aguas transparentes de piedemonte, en áreas que aún albergan una microbiota desconocida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio se encuentra dentro del Parque Municipal Natural Andakí (PMNA), el cual está ubicado en el flanco este de la Cordillera Oriental en los interfluvios de los ríos Pescado y Bodeguero. Presenta lluvias entre los 2000 y 4000 mm al año, con temperaturas que van desde 18°C en las partes altas hasta 24°C en la base de la montaña.

Los ríos del Camino Andakí, en especial el río Pescado y los afluentes estudiados conforman una quinta categoría de aguas para la Amazonia colombiana: las aguas transparentes del piedemonte (Ricaurte y Núñez-Avellaneda 2015), las cuales son el producto de una formación paleozoica y jurásica (macizo de Garzón; Álvarez 1981; Gálvis *et al.* 1979, Mojica *et al.* 1987; Hoorn y Wesselingh 2010), lo que genera unas condiciones limnológicas específicas como baja conductividad, pH con tendencia a la neutralidad y altas concentraciones de oxígeno disuelto que son evidentes en los flancos cordilleros amazónicos de los departamentos del Caquetá, Bota Cauca y Putumayo. En contraste, las otras cuatro categorías encontradas en la zona baja de la cuenca y corresponden a las aguas blancas tipo I y II y aguas negras tipo I y II (Núñez-Avellaneda y Duque 2001), pH con tendencia a la acidez, bajas concentraciones de oxígeno (excepto en los ríos Amazonas, Putumayo y Caquetá) y baja conductividad (salvo el río Amazonas y algunos ecosistemas acuáticos conexos).

Muestreo

El presente estudio abarcó 8 ríos ubicados entre los 400 y 1.398 msnm, visitados entre el 16 de enero al 3 de febrero de 2017, en la cuenca del río Pescado (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo

Estación	Altitud m	Fecha de colecta	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
E2	1398	02-02-2017	1° 41' 41,69" N	75° 53' 49,06" W
E3	1165	31-01-2017	1° 40,2' 27,8" N	75° 54' 7,7" W
E6	1120	29-01-2017	1° 40' 12,2" N	75° 54' 05,3" W
E7	1124	27-01-2017	1° 40' 04,9" N	75° 54' 09,9" W
E10	476	24-01-2017	1° 37' 52,22" N	75° 54' 13,16" W
E11	486	23-01-2017	1° 35' 44,76" N	75° 52' 40,41" W
E12	410	22-01-2017	1° 32' 33,36" N	75° 51' 58,75" W

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1. Estaciones de muestreo en el Camino Andakí. Cuenca del río Pescado (Caquetá – Colombia)

Algas perifíticas de los ríos del piedemonte de la transición Andino-Amazónica: Camino Andakí Caquetá, Colombia

Previo a la colecta del material biológico, se realizó la medición de variables fisicoquímicas *in situ* de Temperatura (Temp), pH, Conductividad (Cond), Oxígeno Disuelto (OD) y Porcentaje de saturación de Oxígeno (Porcentaje Sat. OD) con Medidor Portátil Multiparámetro HACH Modelo HQ440d; siguiendo el instructivo institucional P11_0014 para el muestreo de aguas para análisis fisicoquímico. De igual manera, se realizó la descripción física del sistema, la cual incluyó aspectos como composición del lecho, aspectos de flujo, tipo de vegetación riparia y condiciones ambientales generales de la zona. Dada la complejidad de acceso a los sitios de muestreo no se pudo cuantificar los nutrientes del agua (Figura 2a).

El muestreo del ficoperifiton fue de tipo monohábitat, tomando solo los sustratos duros disponibles (gravas, cantos o bloques) (Barbour *et al.*, 1998). Para ello, se delimitó un tramo de 100m el cual fue subdividido visualmente en tres secciones. En cada sección fueron escogidos 15 sustratos rocosos que estuvieran sumergidos y con desarrollo evidente del ficoperifiton (o *biofilm*) en su superficie. Los sustratos fueron raspados con un cepillo abrasivo dentro de un cuadrante de acrílico de 25 cm² de área y combinadas en un solo frasco plástico de boca ancha para posterior preservación con solución Transeau (Figura 2b), teniendo como base el instructivo P11_0016 para la identificación y cuantificación de microalgas.

En el análisis cualitativo de las muestras se realizó un inventario preliminar de las diatomeas. Para ello, se realizaron montajes permanentes previa limpieza del material, incluyendo un punto adicional E8 (Quebrada Las Verdes), no incluido para análisis del ficoperifiton por la dificultad para tomar la muestra cuantitativa. Para la determinación taxonómica de este grupo se tuvo en cuenta literatura especializada para Sur América (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998, 2007; Rumrich, Lange-Bertalot y Rumrich, 2000; Metzeltin, Lange-Bertalot y García-Rodríguez, 2005) y para el análisis de distribución, los trabajos hasta el momento publicados en

Colombia (Sala *et al.*, 2002b a, 2008, 2014, 2015; Vouilloud *et al.*, 2010a b, 2016; Montoya-Moreno *et al.* 2013).

La determinación taxonómica del ficoperifiton se realizó con claves especializadas para cada grupo (Komarek y Anagnostidis, 1999, 2005; Gerrath, 2003; Sant´Anna *et al.* 2004; Komárek y Anagnostidis, 2005), así como los trabajos de ficoflora de Colombia (González-González y Mora-Osejo, 1996; Nuñez-Avellaneda y Duque, 1997; Duque y Nuñez-Avellaneda, 2000) para establecer su distribución. El conteo fue realizado en microscopio compuesto con 40x de magnificación en cámara Palmer-Maloney y posteriormente expresados en ind/cm². Para la descripción de los resultados se dividió el transecto abarcado en tres franjas altitudinales: Franja Alta, la estación E2 con altitud superior a los 1200 msnm, Franja Media donde se ubican E3, E6, E7 y E9 entre 1000-1200 msnm y en la Franja Baja las estaciones E10, E11 y E12 ubicadas por debajo de los 1000 msnm.

El análisis de la estructura del ficoperifiton se realizó mediante índices de diversidad utilizando los números de Hill (Hill, 1973), en donde el orden q_0 representa la riqueza de especies, el orden q_1 es una transformación exponencial de la diversidad de Shannon que representa el número de especies abundantes y el orden q_2 , el inverso del índice de Simpson, que representa el número de especies muy abundantes. Los números de Hill representan el número de especies que estarían presentes si todas las especies fuesen igualmente comunes en la muestra. Asimismo, para evidenciar los cambios en composición entre las franjas altitudinales, se realizó un Análisis de Coordenadas Principales (Pcoa) usando la distancia Bray para una matriz de especies y variables. Sobre este análisis fueron proyectadas las especies y variables mediante la función envfit (Vegan) para comprobar las correlaciones entre los ejes del PCoA y los vectores de especies y variables fisicoquímicas *in situ* que contribuyen de manera significativa a la separación de los sitios. Todos los análisis fueron realizados en el software R (R Core Team, 2018).



Figura 2. Medición parámetros fisicoquímicos en campo (a) y Colecta de ficoperifiton (b)

RESULTADOS

Variables fisicoquímicas

Las variables fisicoquímicas *in situ* muestran ambientes con pH de carácter débilmente básico, conductividad baja y alta saturación de oxígeno (Tabla 2).

En todos los tramos de los ríos estudiados se encontró vegetación riparia, no se observó alteración de la morfología, de la continuidad de la corriente o de la composición del lecho. Se presenta material leñoso en el lecho, no se observaron diques, presas u otras obras que alteren el flujo de agua y de sedimento. La parte alta del Camino Andakí se caracteriza por presentar un cauce estrecho (3.3 m), alta pendiente, lecho dominado por cantos rodados y gravas, con sectores de rápidos y flujo turbulento, así como amplia cobertura del estrato herbáceo y arbustivo (70% sombreado).

En la parte media, los ríos presentan lechos con gran cantidad de bloques y gravas; las condiciones de flujo son variables, con zonas de rápidos y pocetas profundas, confiéndole una mayor heterogeneidad de hábitat con estrato arbóreo dominante en la vegetación de ribera. Las corrientes estudiadas de la franja baja se caracterizan por su cauce amplio, sin pendiente, con predominio de zonas de corriente y ausencia de rápidos, así como gran cantidad de cantos rodados y arenas en el lecho. Si bien se observa un bosque de ribera desarrollado, el dosel es abierto en la mayor parte del cauce, permitiendo una alta iluminación al tramo. La matriz paisajística a lo largo del Camino Andakí mostró en algunos tramos la presencia de actividades agrícolas o ganaderas, no obstante, se evidenció en general una baja intervención de los sectores estudiados.

Tabla 2. Variables fisicoquímicas *in situ* y algunas variables hidromorfológicas de los ríos estudiados. Tem: Temperatura, C.E: Conductividad eléctrica, O.D: Oxígeno disuelto, Por.O.D: Porcentaje de saturación de oxígeno, Ancho: Ancho del cauce, Prof: Profundidad, Sombra: Porcentaje del tramo cubierto por vegetación.

Estación	Sistema Fluvial	Temp	pH	C.E	O.D	Porc.O.D	Ancho	Prof	Sombra
		°C	Unidades	μS.cm ⁻¹	mg/L	%	m	cm	%
E2	Quebrada Finaga	17,8	6,12	32,6	8,23	102,8	3.36	13.8	70
E3	Quebrada La Paramillo	18,5	7,24	28,6	8,44	102,7	12.3	51.7	15
E6	Quebrada Paramillo aguas abajo de la quebrada Finaga	18,8	7,18	29,1	8,46	103,4	12.9	40	15
E7	Quebrada la Mazamorra	18,3	7,37	23,7	8,58	103,7	8.7	87	70
E10	Río Pescado aguas arriba de la quebrada Las Verdes	22,8	7,34	38,5	8,49	104,8	19.2	30	10
E11	Quebrada Las Verdes aguas arriba Bocana	23,1	7,91	30,2	8,23	102,2	18.3	1.8	10
E12	Río Pescado	27,6	7,5	32,5	7,98	100,6	10	30	30

Fuente: Elaboración propia.

ALGAS PERIFÍTICAS DEL CAMINO ANDAKÍ

En total fueron identificadas 58 especies y 26 morfoespecies distribuidas en 7 Clases, 18 Órdenes, 33 Familias y 48 Géneros. Las diatomeas y cianobacterias fueron los grupos más recurrentes a lo largo del transecto evaluado en el Camino Andakí (Tabla 2); sin embargo, se observaron cambios en la composición de la comunidad en cada una de las tres franjas altitudinales estudiadas.

En la parte alta, en la Quebrada Finagá-E2 las diatomeas constituyeron el 69%, (Bacillariophyceae) seguido de cianobacterias (Cyanophyceae) con el 24% y una muy baja representación de algas verdes (Chlorophyceae) y diatomeas céntricas (Coscinodiscophyceae; Figura 3a). En total se registraron 15 morfoespecies, distribuidas en 12 géneros, 12 Familias, 8 Órdenes y 4 Clases. Los géneros *Luticola* y *Nitzschia* (Bacillariophyceae) presentaron una alta recurrencia, alcanzando densidades superiores a 200 ind/cm². *Chamaesiphon*, *Komvophoron*, *Lyngbya* y *Phormidium* (Cyanophyceae) fueron los géneros de cianobacterias registradas en este punto, con alta abundancia de los dos últimos, *Lyngbya* y *Phormidium* con 114 y 171 ind/cm², respectivamente.

En E2 las algas verdes estuvieron representadas por el género *Oedogonium* en baja densidad (Figura 3b).



Foto 1. Quebrada Finaga- E2

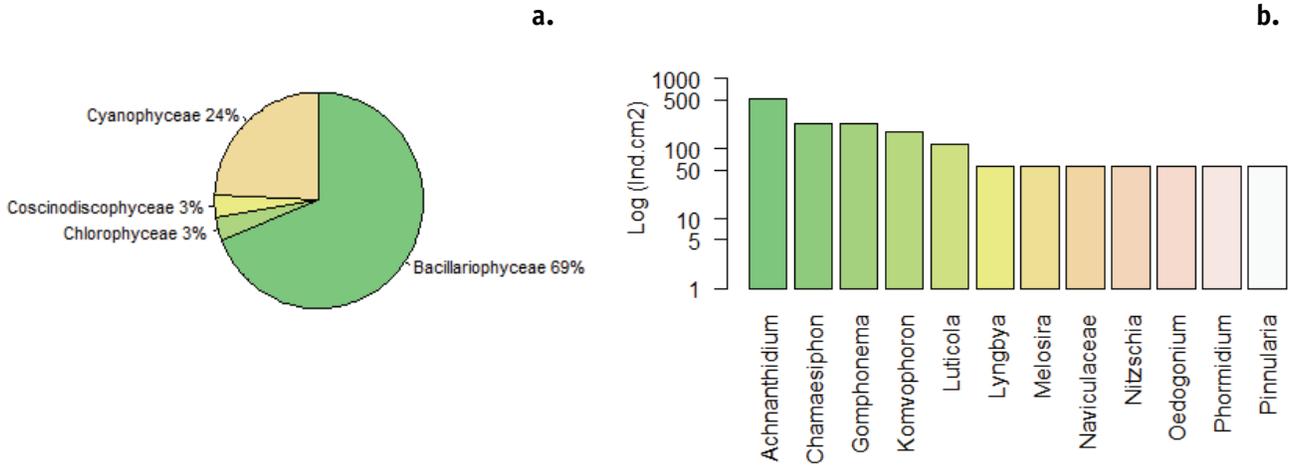


Figura 3. Clases taxonómicas (a) y densidad a nivel de género (b) registradas en la E2-Franja Alta

Para la franja media (E3, E6 y E7) se encontraron 34 taxones infragenéricos distribuidos en 22 géneros, 18 Familias, 12 Órdenes y 6 Clases. Se destaca la alta abundancia *Encyonema minutum* una especie de diatomea cosmopolita encontrada en aguas oligotróficas con moderado contenido electrolítico (Taylor, Harding & Archibald, 2007) con formas de crecimiento variable (móvil o colonial en tubos de mucílago), así como el taxón determinado como *Naviculaceae* que abarca géneros de muy pequeño tamaño

no diferenciables en muestras sin tratar y que podrían incluir varios morfotipos del género *Navicula* (Figura 4, 5, 6).

En E3 (Q. Paramillo arriba de Q. Mazamorra), predominaron las diatomeas (Figura 4a) y el género *Navicula* presentó una mayor abundancia, con densidades superiores a los 1600ind/cm², seguido de los géneros *Encyonema* (diatomea) y *Leptolyngbya* (cianobacteria filamentososa) con densidades similares (Figura 4b).

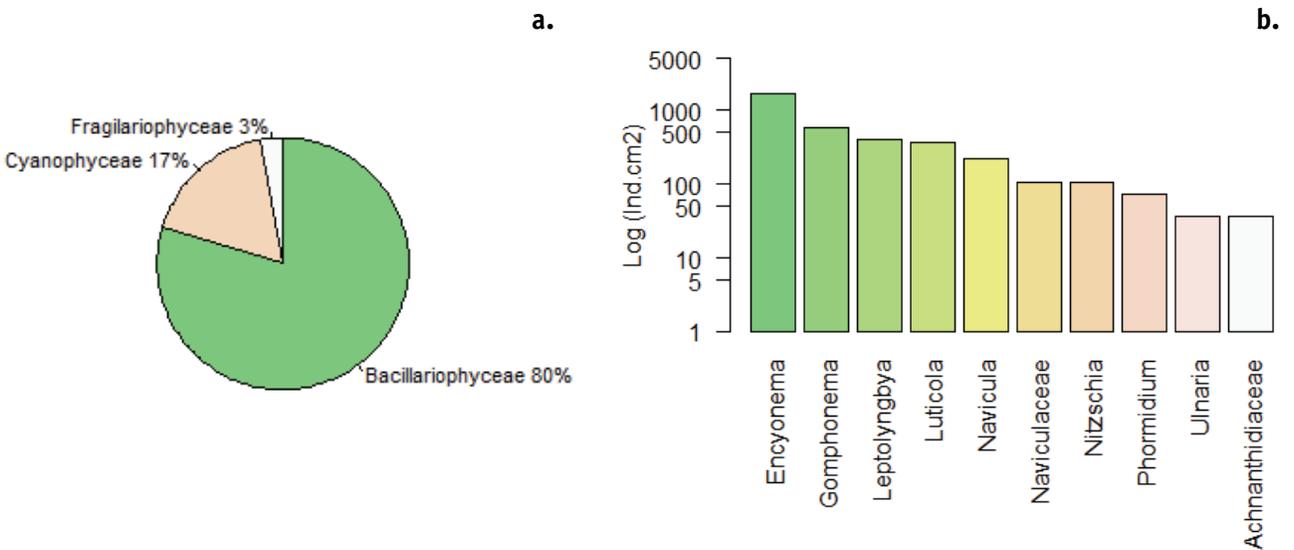


Figura 4. Clases taxonómicas (a) y densidad a nivel de género (b) registradas en el Punto E3-Franja Media.

Hacia el punto E6 (Q. Paramillo abajo de Q. Mazamorra), continúa el mismo patrón con la mayor proporción de la clase Bacillariophyceae (Figura 5a) aunque con menor densidad algal en comparación con la estación E3, con mayor predominio del género *Encyonema* (Figura 5b).

En E7 (Q. Paso Medio) continúan predominando las Bacillariophyceae con el 63% (Figura 6a), con una alta recurrencia de géneros de muy pequeño tamaño y no determinados incluidos dentro del taxón Naviculaceae, seguido en dominancia por el género *Melosira* con mayor densidad (Figura 6b).

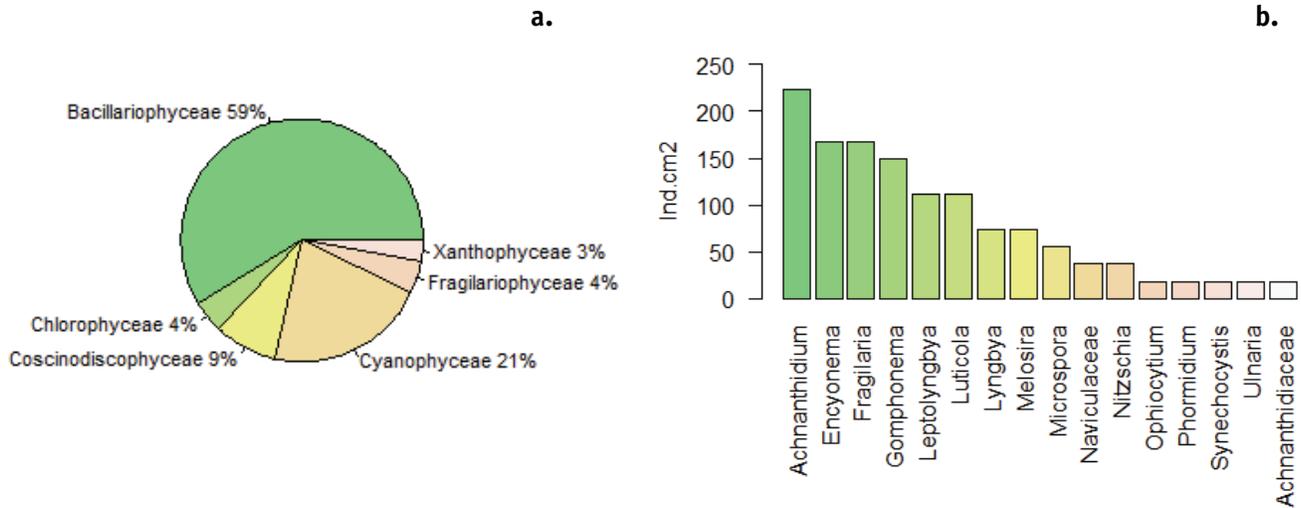


Figura 5. Clases taxonómicas (a) y densidad a nivel de género (b) registradas en E6-Franja Media

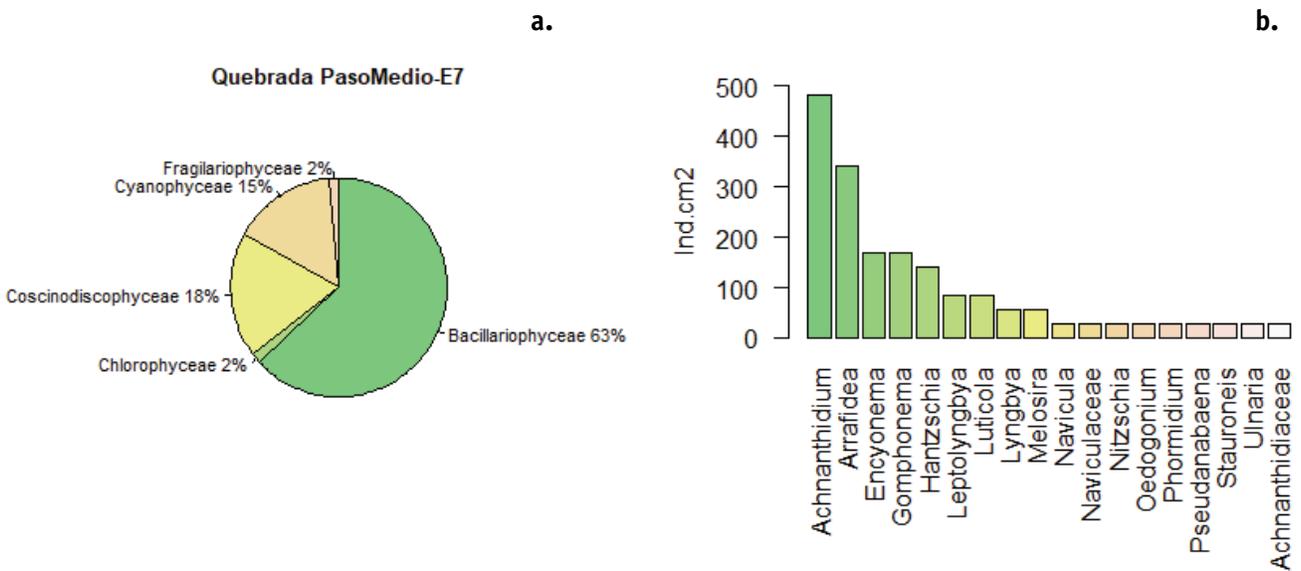


Figura 6. Clases taxonómicas (a) y densidad a nivel de género (b) registradas en el Punto E7- Franja Media

En la franja baja (E10, E11 y E12) del Camino Andakí se registraron 30 taxones, distribuidos en 6 Clases, 12 Órdenes, 17 Familias y 22 Géneros. La composición de la comunidad algal béntica estuvo dominada por cianobacterias, representando más del 90% de la abundancia total registrada en los tres puntos de muestreo; sin embargo, se evidencia un leve aumento en la diversidad de grupos

en el punto E11-Quebrada Las Verdes (Figura 7). Los géneros con mayor densidad fueron *Heteroleibleinia* y *Leptolyngbya*, taxones de hábito filamentosos no heterocíticos muy ampliamente registrados (Figura 7). Si bien la mayor parte de este grupo fue trabajado a género de manera precisa, se presumen varias especies de los géneros *Lyngbya*, *Chamaesiphon* y *Phormidium*.

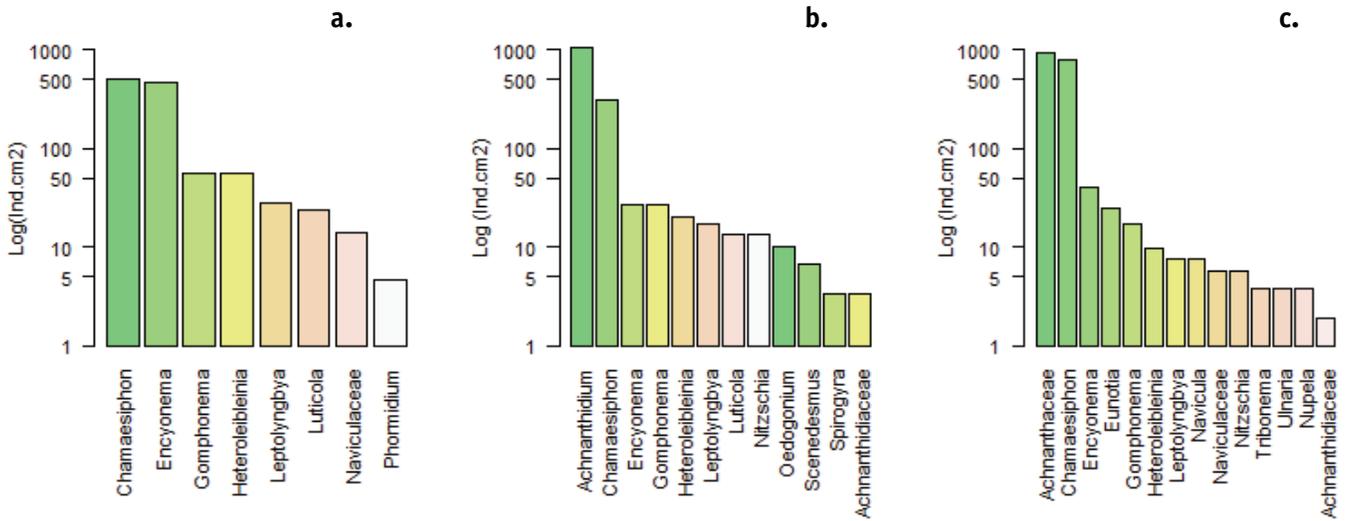


Figura 7. Distribución y densidad a nivel de géneros y algunas familias en las estaciones de la Franja Baja. a. Río Pescado E19, b. Quebrada Las Verdes E11, c. Río Pescado E12

Con relación a la estructura de la comunidad, en las estaciones ubicadas en la franja media del transecto como es la quebrada Paramillo (E6), se presentó el mayor número de especies ($q_0=22$ especies), seguida por la quebrada Paso Medio (E7) con $q_0=21$. Sin embargo, poseen diferencias muy evidentes en el número efectivo de especies ($q_1=15.7$ y $q_1=11.6$, respectivamente) y en la equidad de las especies comunes (Figura 8). La quebrada Finagá (E2) de la Franja Alta, en donde el número de especies es

comparativamente menor ($q_0=15$), posee un número de especies efectivas similar a E7, dado que su diversidad es igual a la que tendría una comunidad teórica de 10.47 especies, todas con igual abundancia. En las corrientes de la franja Baja, se observa una comunidad pobremente estructurada con un número efectivo de especies muy bajo ($q_1=1.8-2.8$ especies) tanto en la quebrada Las Verdes como en el río Pescado, posiblemente asociado a la alta dominancia de cianobacterias filamentosas.

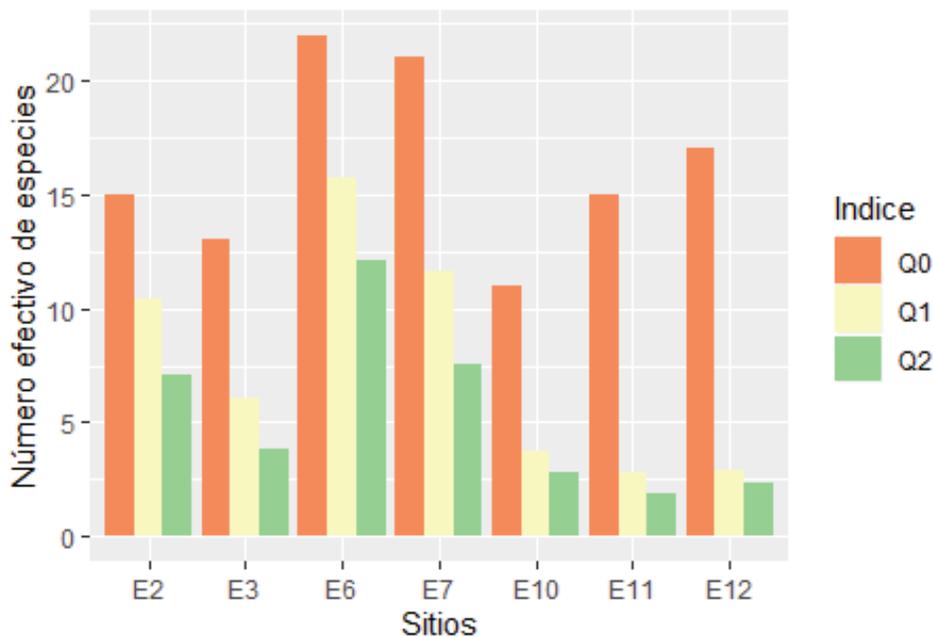


Figura 8. Índices de diversidad de Hill para las estaciones estudiadas en la cuenca del río Pescado (Caquetá- Colombia).

El análisis de Coordenadas Principales explicó el 54% de la varianza en los dos primeros ejes. Las especies y variables que contribuyen de manera significativa en la separación de las regiones son presentadas a manera de flechas en la Figura 6. De las 59 especies, seis presentaron diferencias significativas y sólo dos variables fueron retenidas en el análisis. Dicho análisis

mostró una clara separación entre las franjas, y se observa que, en las corrientes de la Franja baja, con mayores valores de Temperatura y Conductividad, fueron muy abundantes *Heteroleiblenia* sp, *Leptopyngbya aff laminosa* y *Chamaesiphon aff amethystinus*, mientras que, en la zona Alta y Media, fueron muy abundantes *Luticola* sp y *Nitzschia aff linearis*.

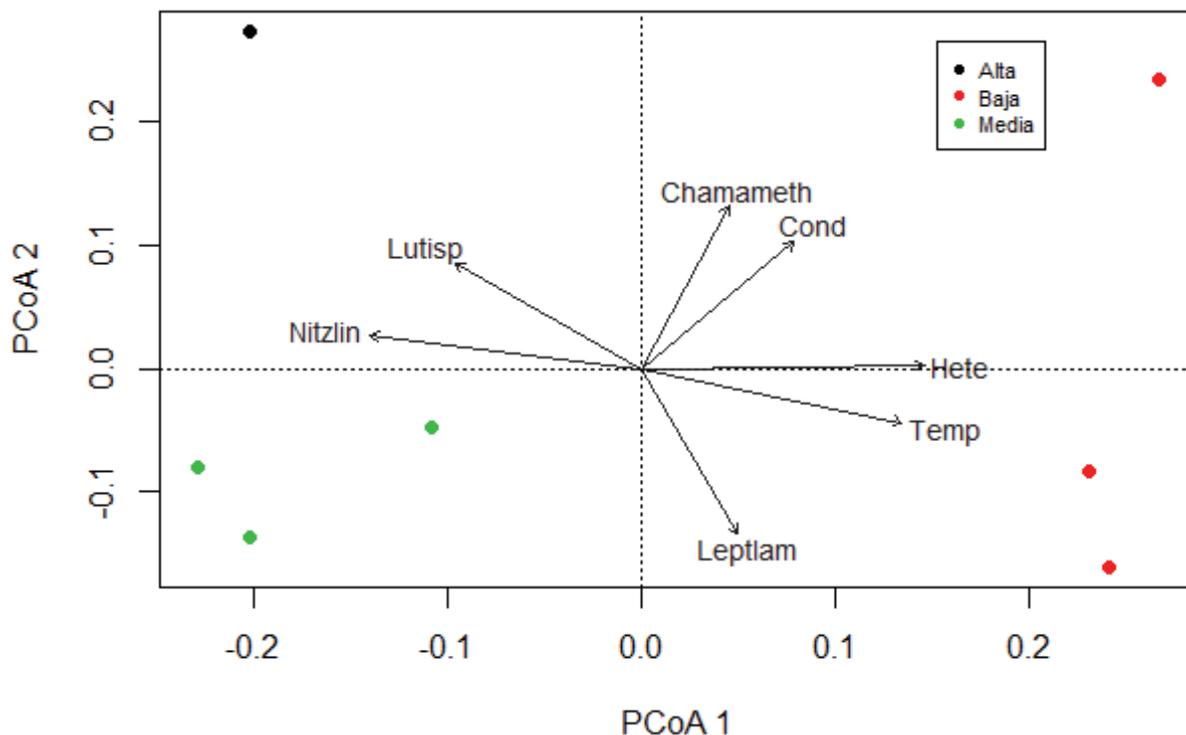


Figura 9. Análisis de Coordenadas Principales para las variables fisicoquímicas *in situ* y las especies registradas. Las flechas representan las especies y variables significativas ($p_{max}=0.05$) (función envfit).

NUEVOS REGISTROS DE DIATOMEAS

Del inventario preliminar se registraron 55 especies, distribuidas en 24 géneros, 16 Familias, 9 Órdenes y 3 Clases. El 66% de los taxones fueron fehacientemente determinados, de los cuales el 14% constituyen nuevos registros para Colombia y el 47% son nuevos registros para la Amazonia colombiana. En la Figura 10, se muestra el registro fotográfico de algunas diatomeas y en la Figura 11, se presenta el listado de las especies de diatomeas determinadas con indicaciones sobre el tipo de registro y su distribución en la cuenca.

Las familias Diadesmidiaceae y Eunotiaceae registraron el mayor número de especies (Figura 12). Sobresale el alto número de morfotipos de *Luticola*, género con alta diversidad y muy recurrente en los ríos estudiados de la Franja alta y media. Es de resaltar el

nivel de análisis adelantado para el género *Luticola*, el cual incluye tres nuevas especies producto de este estudio: *L. caquetensis* Kociolek, Simonato y Núñez-Avellaneda sp. nov., *L. andakiesiorum* Simonato, Kociolek y Plata Díaz sp. nov., y *L. sinchii* Sala, Kociolek y Simonato y Núñez-Avellaneda (Simonato *et al.* 2020).

Dentro de los nuevos registros para la Amazonia colombiana, las especies *Navicula rostellata* Kützing, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Achnanthisdium exiguum* (Grunow) Czarnecki, *Cymbopleura naviculiformis* (Auerswald ex Heiberg) Krammer, *Eunotia aff monodon* Ehrenberg, *Eunotia aff mucophila* (Lange-Bertalot, Nörpel-Schempp & Alles) Lange-Bertalot y *Frustulia crassinervia* (Brébisson ex W. Smith) Lange-Bertalot & Krammer presentaron estrecha distribución a lo largo del gradiente; mientras que *Achnanthisdium minutissimum* (Kützing) Czarnecki y *Gomphonema aff subclavatum* (Grunow) Grunow mostraron una distribución más cosmopolita (Figura 11).

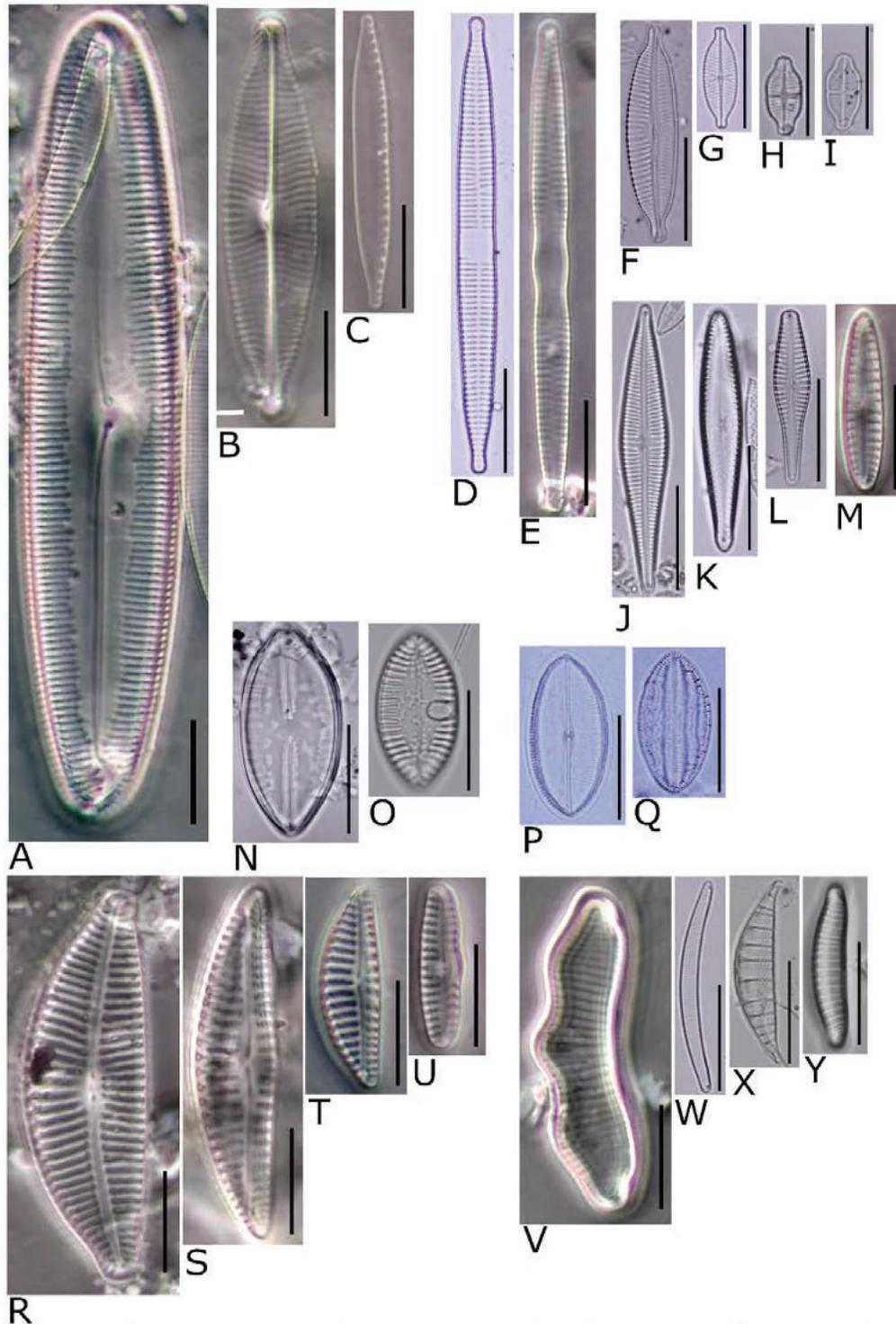


Figura 10. Nuevos registros de diatomeas en para Colombia y la Amazonia colombiana (Ver Figura 11). A. *Pinnularia aff tenuistriata*; B. *Navicula rostellata* Kützing; C. *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith. D. *Ulnaria aff ulna*; E. *Fragilaria pararumpens* Lange-Bertalot, G. *Geissleria decussis*, Hofmann & Werum; F. *Cymbopleura naviculiformis* (Auerswald ex Heiberg) Krammer, G. *Geissleria decussis* (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin; H-I. *Achnanthisdium exiguum* (Grunow) Czarnecki; J. *Gomphonema guaraniarum* Metzeltin & Lange-Bertalot; K. *Gomphonema demerarae* (Grunow) Frenguelli; L. *Gomphonema aff subclavatum*; M. *Gomphonema pumilum* (Grunow); N-O *Planothidium lagerheimii* (Cleve) Wetzel & Ector; P-Q *Cocconeis placentula* Ehrenberg; R. *Cymbella turgidula* Grunow; S. *Encyonema jemtlandicum* Krammer; T. *Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann; U. *Reimeria sinuata* (W.Gregory) Kociolek & Stoermer; V. *Eunotia tapacuminor* Metzeltin & Lange-Bertalot; W. *Eunotia aff mucophila*; X. *Rhopalodia aff gibberula*; Y. *Eunotia parasiolii* Metzeltin & Lange-Bertalot.

Figura 11. Listado de especies de diatomeas registradas junto con el tipo de registro para cada especie y distribución. Los taxones sin observaciones ya han sido reportados en el país y/o en la Amazonia colombiana.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	Observaciones	Distribución		
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium</i>		<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czamecki	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Baja: E8-E11		
				<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czamecki	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E3-E6 Franja Baja: E8-E11		
		<i>Planothidium</i>		<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	Primer registro para Colombia	Franja Media: E3		
				<i>Planothidium lagerheimii</i> (Cleve) Wetzel & Ector	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E2 Franja Baja: E8		
				<i>Planothidium rostratum</i> (Østrup) Lange-Bertalot	Primer registro para Colombia	Franja Media: E3		
		Bacillariales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>		<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E3 - E6 Franja Baja: E8
				<i>Nitzschia</i>		<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E3
				<i>Cymbella</i>		<i>Cymbella turgidula</i> Grunow	Primer registro para Colombia	Franja Media: E2-E3
				<i>Cymbopleura</i>		<i>Cymbopleura naviculiformis</i> (Averswald ex Heiberg) Krammer	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E2
				<i>Encyonema</i>		<i>Encyonema jemtlandicum</i> Krammer	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E6
Cymbellales				<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja E3 Franja Baja: E10, E11		
				<i>Gomphonema demerarae</i> (Grunow) Frenguelli	Primer registro para Colombia	Franja Baja: E8		
				<i>Gomphonema guaraniarum</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Alta: E2 Franja Media: E3		
				<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing		Franja Media: E3 Franja Baja: E10		
Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Reimeria</i>		<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Baja: E10		
		<i>Eunotia</i>		<i>Reimeria sinuata</i> (W.Gregory) Kociolek & Stoermer	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Baja: E10		
				<i>Eunotia parasitii</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Alta: E2 Franja Baja: E8		
				<i>Eunotia tapacumina</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	Primer registro para Colombia	Franja Baja: E10		
				<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot & Krammer	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E3		
				<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni		Franja Baja: E8		
				<i>Diademsis confervaceae</i> Kützing		Franja Alta: E2		
				<i>Luticola andakiesiorum</i> Simonato, Kociolek & Plata-Díaz	Nueva Especie / Endémica para Colombia	Franja Media: E6		
				<i>Luticola caquetensis</i> Simonato & Nuñez-Avellaneda	Nueva Especie / Endémica para Colombia	Franja Media: E3-E6		
				<i>Luticola sinchii</i> Sala, Kociolek & Simonato	Nueva Especie / Endémica para Colombia	Franja Alta: E2		
Naviculales	Diademsidaceae			<i>Luticola hluhikovae</i> Levkov, Metzeltin & A.Pavlov	Nuevo registro para Colombia	Franja Media: E6		
				<i>Luticola pseudokotschyi</i> (Lange-Bertalot) Metzeltin & Lange-Bertalot	Nuevo registro para Colombia	Franja Media: E3		
		<i>Geissleria</i>		<i>Geissleria decussis</i> (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Alta: E2 Franja Baja: E10		
		<i>Navicula</i>		<i>Navicula rostellata</i> Kützing	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Baja: E11		
		<i>Nupela</i>		<i>Nupela praecipua</i> (E.Reichardt) E.Reichardt	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E3-E6		
Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>		<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E6		
		<i>Melosira</i>		<i>Melosira varians</i> C.Agardh		Franja Alta: E2 Franja Media: E3		
FRAGILARIOPHYCEAE	Fragilariaceae	<i>Synedra</i>		<i>Synedra goulardi</i> Brébisson ex Cleve & Grunow	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Baja: E10		
		<i>Ulnaria</i>		<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	Primer registro para la Amazonía colombiana	Franja Media: E3		

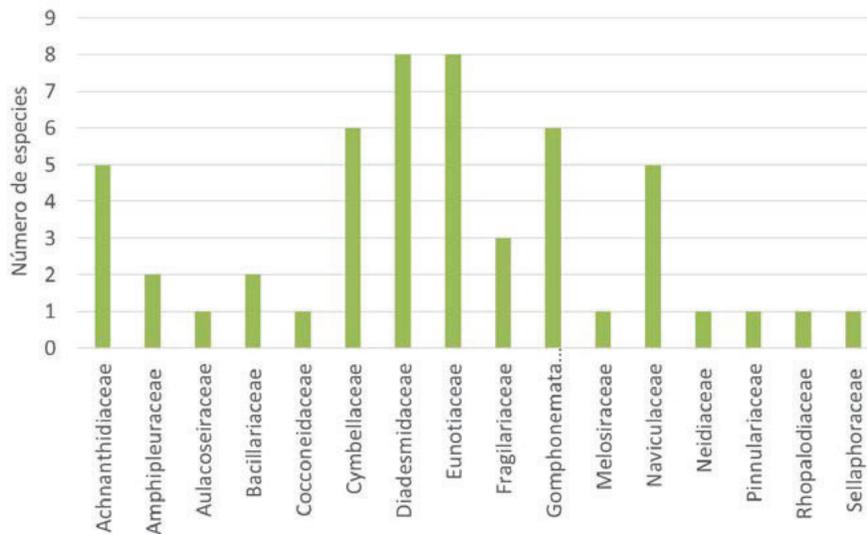


Figura 12. Número de especies registradas por familia de la clase Bacillariophyceae en ríos de la cuenca del río Pescado (Caquetá-Colombia)

DISCUSIÓN

Todos los ríos visitados en el área del Camino Andakí, presentaron condiciones de baja mineralización, lo cual contrasta con la teoría básica que los ríos amazónicos que nacen en los Andes tienen alta mineralización (> 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). De acuerdo con Duque *et al.* (1997) la baja mineralización es explicada por la presencia de una formación geológica de edad paleozoica-jurásica en la zona cordillerana de los Andes que se ubica desde el sur del Departamento del Huila, cubriendo todo el Caquetá, la Bota Cauca e inclusive el Putumayo (batolito de Garzón según Kroonenberg 1982, Mojica *et al.* 1987, Murcia 2002, Núñez *et al.* 1996).

Tales características junto con los cambios en las características del hábitat generan condiciones únicas en el Camino Andakí, lo cual direcciona las comunidades del perifiton (Wu *et al.*, 2009). En la franja alta las corrientes presentan cauce estrecho, alta pendiente, lecho dominado por cantos rodados y gravas, con sectores de rápidos y flujo turbulento, así como amplia cobertura del estrato herbáceo y arbustivo. Estas características podrían explicar la alta predominancia de diatomeas de tamaño pequeño con hábitos tipo adnados, para soportar alta corriente.

Las cianobacterias fueron las más abundantes en la franja baja. Los géneros más recurrentes fueron de tipo filamentosos como *Heteroleibleinia* y *Leptolyngbya*, taxones de hábito filamentosos no heterocitados, mientras que *Phormidium* fue el género con mayor número de morfoespecies. La clase Cyanophyceae constituye uno de los componentes más comunes en hábitats bénticos y son ampliamente tolerantes a condiciones de baja iluminación e iluminación variable (Komárek y Anagnostidis, 2005). En tierras

bajas, los ríos tienden a transportar y acumular una gran cantidad de sedimentos, lo que resulta en un aumento de la turbidez de los sistemas, lo cual podría explicar la alta dominancia del grupo en la franja baja. Sin embargo, debido a la alta recurrencia de géneros de Zygnematales principalmente en río La Pescado y quebrada Las Verdes, así como *Encyonema minutum*, una especie cosmopolita encontrada en aguas oligotróficas con moderado contenido electrolítico (Taylor *et al.* 2007), en la franja media, podrían sugerir que son corrientes con bajo contenido de nutrientes, por lo tanto, con baja influencia antrópica.

La segunda clase más representativa en la estructura de la comunidad fue Bacillariophyceae. Este grupo tuvo una alta recurrencia y distribución en el gradiente estudiado, lo cual podría estar asociado a su gran variabilidad de hábitos de fijación al sustrato (formas de vida), como postrado, filamentosos, en cadenas, formando tubos, adnados y erectos, así como especies móviles (Round, Crawford y Mann, 1990), lo cual les permite colonizar una alta gama de sustratos según las condiciones del flujo (Biggs, Goring y Nikora, 1998) y disponibilidad de nutrientes (Pringle, 1990).

Se destaca no solo el alto número de morfotipos de *Luticola* en la franja media, si no la presencia de especies endémicas para Colombia. Las especies de *Luticola* descritas presentan características a nivel de ultraestructura que no se encuentran presentes en los especímenes descritos en Europa, África y Antártida por Levkov *et al.* (2013) (Simonato *et al.* 2020). Este género presentó una alta diversidad en la franja media del Camino Andakí, sector en donde los ríos poseen grandes bloques, cauces estrechos y zonas de flujo variable desde secciones con rápidos hasta pocetas y con un bosque de ribera prominente. Todas estas

condiciones le imprimen una mayor complejidad del hábitat, lo cual podría explicar el aumento de la diversidad de especies en este sector.

En la literatura es ampliamente documentado que la diversidad de algas bentónicas suele tener un incremento gradual desde la zona de cabecera hasta la zona baja, particularmente como resultado de la perturbación intermedia inducida por la contaminación tanto en áreas subtropicales (Lobo *et al.* 1995) como tropicales (Castillejo *et al.* 2018). En este estudio, todas las corrientes evaluadas presentaron condiciones con nulo impacto antrópico a lo largo del gradiente, por lo que se sugiere que la heterogeneidad del hábitat asociada al gradiente altitudinal podría ser el elemento más importante en la estructura del ficoperifiton en sistemas cordilleranos y andino-amazónicos en Colombia. Dependiendo del tipo de sustrato donde se desarrolla la comunidad y de la dinámica física del sistema, como caudales, cambios en el flujo y de niveles del agua, el perifiton muestra una fuerte estructura espacial (Díaz-Quirós & Rivera-Rondón, 2004; Ramírez & Plata-Díaz, 2008; Pedraza-Garzon & Donato-Rondon, 2011).

Los resultados aquí registrados coinciden con lo reportado por Ricaurte y Núñez-Avellaneda (2015) en la parte baja de cuenca del río Pescado, con el predominio de diatomeas en humedales ubicados en islas y bancos de arena asociados a los grandes ríos y tributarios, así como en otros sectores antiguos de la Amazonia como es la serranía de La Macarena, en donde se aprecian ensamblajes similares a las encontradas en el Camino Andakí (Núñez-Avellaneda y Perdomo 2018).

CONCLUSIONES

La información generada en el presente estudio se constituye en la primera referencia de las condiciones físicas y químicas del agua, de hábitat y de biodiversidad acuática en el Camino Andakí, las cuales permiten evidenciar la buena calidad de los sistemas fluviales.

En el presente estudio se encontró que los ríos amazónicos que nacen en los Andes presentan una baja mineralización y que bajo condiciones de baja intervención la heterogeneidad del hábitat asociada al gradiente altitudinal podría ser el elemento más importante en la estructura del ficoperifiton en ríos andino-amazónicos clasificados como aguas transparentes de piedemonte.

En el gradiente altitudinal las diatomeas y cianobacterias fueron los grupos más recurrentes a lo largo del transecto evaluado en el Camino Andakí; en la franja alta predominaron las diatomeas con los géneros *Luticola sp* y *Nitzschia linearis*, así como algunas especies de los géneros *Lyngbya* y *Phormidium*. En la franja media fueron muy abundantes *Encyonema minutum* y la familia *Naviculaceae*, mientras que en la parte baja dominaron las cianobacterias de hábito filamentoso como *Heteroleibleinia* y *Leptolyngbya*.

Los resultados de este estudio demuestran que los pequeños ríos de la región andino-amazónica poseen un alto número de especies efectivas particularmente en la Franja media de la cuenca, siendo importante continuar con nuevas expediciones y estudios taxonómicos y ecológicos más detallados en todos los grupos.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se llevó a cabo gracias a la financiación de COLCIENCIAS a través del proyecto COLOMBIA BIO y el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Las autoras desean agradecer al biólogo Dairon Cárdenas, Líder del proyecto, a la investigadora Sonia Sua quién amablemente elaboró el mapa del área de estudio, al auxiliar de laboratorio en Leticia John Jairo Potosí del Instituto SINCHI y a Brandon José Hernández de la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander por su apoyo en la construcción de las láminas fotográficas.

A los colegas que hicieron parte de esta gran campaña y a los coinvestigadores locales que nos acompañaron en este maravilloso viaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Anna C.L.S., Azevedo M.T.D.E.P., Senna P.A.C., Komárek J. & Komárková J. (2004). Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. *3*, 213–227
- Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D. & Stribling J.B. (1998). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. *US Environmental Protection Agency Office of Water Washington DC 2nd*, 339. <https://doi.org/EPA 841-B-99-002>
- 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. *Journal of Phycology* **34**, 598–607. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1998.340598.x>
- Castillejo P., Chamorro S., Paz L., Heinrich C., Carrillo I., Salazar J.G., *et al.* (2018). Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River. *Comptes rendus-Biologies* **341**, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2018.03.008>
- Díaz-Quirós C. & Rivera-Rondón C.A. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* **26**, 381–394
- Duque S. & Núñez M. (2000). Microalgas Acuáticas de la Amazonia Colombiana. *Biota Colombiana* **1**, 208–216
- Gerrath J.F. (2003). CONJUGATING GREEN ALGAE AND DESMIDS. In: *Freshwater Algae of North America*. pp. 353–381. Elsevier.
- González-González L.E. & Mora-Osejo L.E. (1996). Desmidioflorula de lagunas de páramo en Colombia. *Caldasia* **18**, 165–202

- Hill M.O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* **54**, 427–432
- Komárek J. & Anagnostidis K. (1999). *Cyanoprokaryota: 1. Chroococcales*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa.*, Springer-V. (Eds H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig & D. Mollenhauer), Berlin.
- Komárek J. & Anagnostidis K. (2005). *Cyanoprokaryota: 2. Oscillatoriales*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. (Eds H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & A. Pascher), Elsevier, München.
- Metzeltin D. & Lange-Bertalot H. (1998). Tropical Diatoms of South America I. About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora. *Iconographia Diatomologica* **5**. Koeltz, Königstein, Germany
- Metzeltin D. & Lange-Bertalot H. (2007). Tropical diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction. *Iconographia Diatomologica* **18**
- Metzeltin D., Lange-Bertalot H. & García-Rodríguez F. (2005). *Diatoms of Uruguay : compared with other taxa from South America and elsewhere*. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell.
- Montoya-Moreno Y., Sala S., Vouilloud A., Aguirre N. & Plata-Díaz Y. (2013). Lista de las diatomeas de ambientes continentales de Colombia. *Biota Colombiana* **14**, 13–70
- Núñez M. & Duque S.R. (1997). Ficoflora De Algunos Ambientes Acuáticos. *Caldasia* **19**, 279–284
- Pedraza-Garzon E. & Donato-Rondon J.. (2011). Diversity and distribution of diatoms in a mountain stream of the Colombian Andes. *Caldasia* **33**, 177–191
- Pringle C.M. (1990). Nutrient Spatial Heterogeneity : Effects on Community Structure , Physiognomy , and Diversity of Stream Algae. *Ecology* **71**, 905–920
- Ramírez A.. & Plata-Díaz Y. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña. *Acta Biologica Colombiana* **13**, 199–216
- Round F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. (1990). *Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press.
- Rumrich U., Lange-Bertalot H. & Rumrich M. (2000). *Diatomeen der Anden: von Venezuela bis Patagonien/Feuerland: und zwei weitere Beiträge*. ARG Gantner Verlag KG.
- Sala S., Vouilloud A.A., Plata-díaz Y., Pedraza E. & Pimienta A. (2014). Nupela species (Naviculales : Bacillariophyceae) from Colombian lowland waters including *N . acaciensis* nov . sp . and *N . catatumbensis* nov . sp . *Revista de Biología Tropical* **62**, 241–255
- Sala S.E., A. V., Plata-Díaz Y., Pedraza E. & Pimienta A. (2015). Taxonomy and distribution of epilithic diatoms reported for the first time in. *Caldasia* **37**, 125–141. <https://doi.org/10.15446/caldasia/v37n1.50814>
- Sala S.E., Duque S.R., Núñez-Avellaneda M. & Lamaro A.A. (2002a). Diatoms from the Colombian Amazonia. *Cryptogamie, Algol.* **23**, 75–99
- Sala S.E., Duque S.R., Núñez-avellaneda M. & Lamaro A.A. (2002b). DIATOMS FROM THE COLOMBIAN AMAZON : SOME SPECIES OF THE GENUS *Eunotia* (BACILLARIOPHYCEAE). *Bosque* **32**, 589–603
- Sala S.E., Ramírez J.J. & Plata Y. (2008). Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia , Chocó and Santander Departments in Colombia. **56**, 1159–1178
- Simonato J., Kociolek J.P., Sala S.E., Díaz Y.P. & Núñez-Avellaneda M. (2020). Three new Luticola species from the Andean-Amazonian transition in Colombia: taxonomy, morphology and preliminary considerations of the biogeography of the genus. *Diatom Research*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2020.1813205>
- Taylor J.C., Harding W.R. & Archibald C.G.M. (2007). *An illustrated guide to some common diatom species from South Africa*. Water Research Commission Pretoria.
- Vouilloud A.A., Plata-díaz Y., Pedraza E., Pimienta A., Heguilor S., Lamaro A., et al. (2016). Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie Distribution of *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) in Neotropical rivers (Colombia) and its implication on t. *Hidrobiológica (México, DF)* **26**, 241–250
- Vouilloud A.A., Sala S.E., Avellaneda M.N. & Duque S.R. (2010a). Diatoms from the Colombian and Peruvian Amazon : the Genera *Encyonema* , *Encyonopsis* and *Gomphonema* (Cymbellales : Bacillariophyceae). *Rev. Biol. Trop* **58**, 45–62
- Vouilloud A.A., Sala S.E., Avellaneda M.N. & Duque S.R. (2010b). Diatoms from the Colombian and Peruvian Amazon: The genera *Encyonema*, *Encyonopsis* and *Gomphonema* (Cymbellales: Bacillariophyceae). *Revista de Biología Tropical* **58**, 45–62
- Wu N., Tang T., Zhou S., Jia X., Li D., Liu R., et al. (2009). Changes in benthic algal communities following construction of a run-of-river dam. *Journal of the North American Benthological Society* **28**, 69–79





Fragilaria, Camino Andakí (Huila-Caquetá). Foto: Yasmin Plata