

Artículo original

Variación espacial de la comunidad de algas del perifiton en quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia

Spatial variation of the periphyton algae community in streams of the San Juan River basin, Chocó-Colombia

✉ Lidis Maria Martínez-Cuesta, ✉ Zuleyma Mosquera-Murillo*

Grupo de Limnología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Tecnológica del Chocó, Chocó-Colombia

Resumen

El perifiton es una de las comunidades más importantes en los ríos, pues desempeña un papel fundamental en su dinámica en cuanto al flujo de energía, el ciclo de nutrientes y la productividad primaria. En este estudio se analizó la variación espacial de la comunidad de algas del perifiton presentes en quebradas ubicadas en la cuenca media del río San Juan, Chocó, Colombia, así como su relación con las variables fisicoquímicas. La fase de campo se desarrolló entre abril y agosto del 2015 en cinco quebradas en las que se recolectaron algas del perifiton adheridas a piedras sumergidas utilizando un cuadrante de 8 cm² para un área de raspado de 200 cm²; simultáneamente se midieron algunas variables físicas y químicas del agua. La densidad total fue de 2.797,28 org/cm², distribuida en 106 morfoespecies pertenecientes a 17 órdenes, seis clases y cinco divisiones. Bacillariophyta fue la división más representativa en cuanto a densidad y riqueza específica, seguida de la división Charophyta. Hubo diferencias significativas en la diversidad y riqueza entre las quebradas ($p < 0,05$), pero no en la densidad y dominancia ($p > 0,05$). El análisis de agrupamiento reveló poca similitud en la composición de la comunidad de algas del perifiton entre quebradas. Las variables físicas y químicas estuvieron dentro de rangos normales para este tipo de ambientes y se correlacionaron significativamente con la comunidad de algas del perifiton presentes en los ecosistemas. Este estudio constituye una línea base para el conocimiento de las comunidades de algas perifíticas presentes en ambientes lóticos de la zona del San Juan (Chocó), necesario dados los impactos antrópicos a los que se enfrentan las fuentes hídricas de esta zona.

Palabras clave: Composición; Quebradas; Espacial; Algas perifíticas; Río San Juan.

Abstract

The periphyton is one of the most important communities present in rivers because it plays a fundamental role in their dynamics in relation to the energy flow, nutrient cycles, and primary productivity. Here we analyzed the spatial variation of the periphyton algae community present in streams located in the middle basin of the San Juan River, Chocó-Colombia, as well as its relationship with the physicochemical variables. The field phase was developed between April and August 2015 in five streams where we collected the periphyton algae adhered to submerged stones using 8 cm² quadrants for a scraping area of 200 cm²; simultaneously some physical and chemical variables of the water were measured. We registered a total density of 2,797.28 org/cm² distributed in 106 morphospecies belonging to 17 orders, six classes, and five divisions. Bacillariophyta was the most representative division in terms of density and specific richness followed by the Charophyta division. The streams presented significant differences in diversity and richness ($p < 0.05$), but not in density and dominance ($p > 0.05$). The grouping analysis revealed a low similarity in the composition of the periphyton algae community between streams. The physical and chemical variables were found within normal ranges for this type of environment and were significantly correlated with the periphyton algae community present in the ecosystems. This study constitutes a baseline for the knowledge of the periphyton algae communities present in lotic environments in the San Juan area (Chocó) confronted with anthropic impacts in its water sources.

Key words: Composition; Streams; Spatial; Periphyton algae; San Juan River.

Citación: Martínez-Cuesta LM, Mosquera-Murillo Z. Variación espacial de la comunidad de algas del perifiton en quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 46(178):192-205, enero-marzo de 2022. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefn.1593>

Editor: Gabriel Roldán

***Correspondencia:**
Zuleyma Mosquera-Murillo;
zuleymamosquera@gmail.com

Recibido: 5 de noviembre de 2021

Aceptado: 11 de febrero de 2022

Publicado: 23 de marzo de 2022



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

Introducción

El perifiton es una biopelícula que se forma en sustratos sumergidos y constituye una de las comunidades más importantes en los sistemas acuáticos; se compone principalmente de algas y cianobacterias, así como bacterias, hongos y microinvertebrados, que se desarrollan sobre superficies sólidas sumergidas, tales como rocas, sedimento, material vegetal, arenas, hojas y macrófitas (Romaní, 2001; Trbojević, *et al.*, 2018). Su compleja estructura incluye también mucilagos y detritos orgánicos, así como un componente inorgánico procedente de diferentes tipos de partículas (Trbojević, *et al.*, 2018).

Particularmente las algas del perifiton desempeñan un papel fundamental en la dinámica de los ríos y de otros ecosistemas acuáticos: en el ciclo de nutrientes, el flujo de la energía y la productividad primaria. Recientemente, además, se vienen utilizando como indicadores de la calidad del agua, ya que pueden desarrollarse adheridos a diferentes sustratos y reflejan los cambios ocurridos por alteraciones físicas, químicas y biológicas (Pérez, *et al.*, 2007; Steinman, *et al.*, 2016), por lo que es posible obtener información derivada de su presencia o su ausencia como indicación del estado ecológico de su entorno (Lobo, *et al.*, 2016).

Estas comunidades se desarrollan en función de diversos factores, entre los que se destacan la disponibilidad de luz, la temperatura, la transparencia, el tipo y disponibilidad de los sustratos, la dinámica del agua, las concentraciones de nutrientes y materiales disueltos (fósforo, nitrógeno, sílice, carbono, calcio, hierro y cobre, entre otros), el pH y el pastoreo (Biggs, 2000; Stevenson, *et al.*, 2006, Roldán & Ramírez, 2008). Debido a su habilidad para responder a los cambios ambientales, las algas del perifiton han sido utilizadas en estudios ecológicos (Murakami, *et al.*, 2009).

Las características hidrológicas, físicas y químicas, así como las perturbaciones y la heterogeneidad espacial y temporal de los ríos, definen la distribución, la dispersión, la colonización y la respuesta de los organismos al medio (Martínez & Donato, 2003). Hay factores que gobiernan los procesos físicos y morfológicos de los ríos; entre los factores morfológicos están el clima local, la naturaleza de la vegetación riparia, el uso de la tierra en su área de influencia y la intervención directa del hombre por extracción de materiales y modificación del curso (Roldán & Ramírez, 2008).

En Colombia, los trabajos de Zapata & Donato (2005), López-Muñoz & Pérez-Gallego (2014), Bustamante, *et al.* (2008), Pedraza & Donato (2011), Jiménez-Pérez, *et al.* (2014), y Godoy-Lozada & Peláez-Rodríguez (2020) son importantes contribuciones al conocimiento de las algas del perifiton en sistemas lóticos. En el departamento del Chocó son pocos los trabajos publicados sobre esta importante comunidad, aunque se destacan en los ríos los de Abuhatab, *et al.* (2005) y Salas, *et al.* (2011), en ciénagas los de Maturana, *et al.* (2002) y Mosquera-Murillo (2020), y los de Mosquera, *et al.*, (2020) en pozas mineras.

Teniendo en cuenta la escasa información sobre las comunidades de algas del perifiton en los ecosistemas lóticos en el Chocó, es de gran importancia hacer este tipo de estudios sabiendo de la gran diversidad de diferentes grupos biológicos en esta zona y de los procesos antrópicos de tipo minero que se han desarrollado desde hace décadas en el departamento, en especial en la zona del río San Juan (Medina, *et al.*, 2011), con las consecuentes alteraciones en los ecosistemas acuáticos. En este orden de ideas, en el presente estudio se analizó la variación espacial de las comunidades de algas del perifiton, así como su relación con las variables fisicoquímicas en cinco quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó-Colombia, como una forma de contribuir al conocimiento de esta comunidad en los ecosistemas acuáticos de la región y generar una línea de base para futuros programas de conservación, dado el impacto de la actividad minera en la zona.

Materiales y métodos

Área de estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en los municipios de Tadó y Unión Panamericana, ubicados en la cuenca media del río San Juan, departamento del Chocó, Colombia (Figuras 1 y 2). La cuenca está entre los 5°16'N y los 76°73'O, y presenta una temperatura

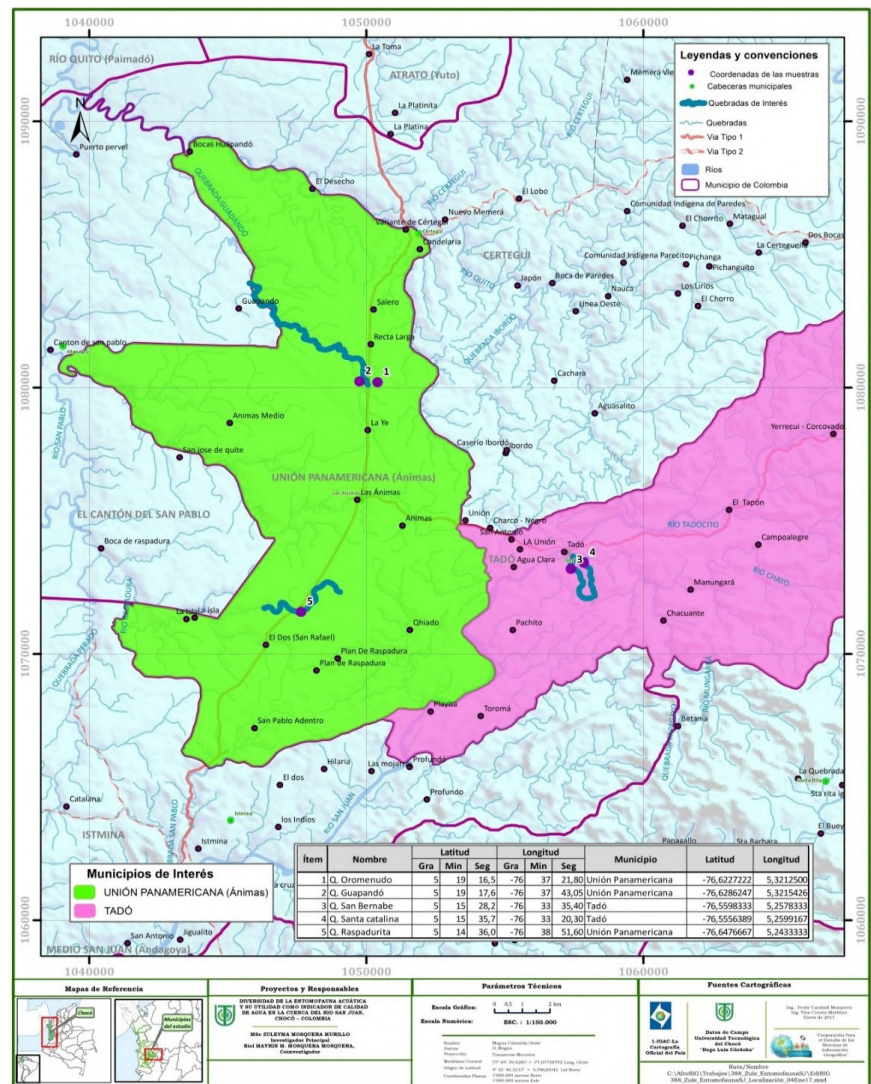


Figura 1. Localización de las quebradas estudiadas en la zona del San Juan, Chocó

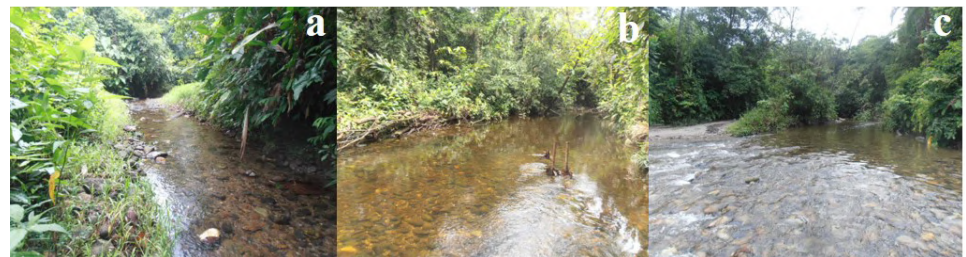


Figura 2. Quebradas de la cuenca del río San Juan: a) Quebrada Santa Catalina. b) Quebrada Guapandó. c) Quebrada Raspadurita

entre los 27 y los 29 °C y una precipitación anual promedio que oscila entre los 6.800 y los 7.600 mm; está a una altura de 75 m s.n.m. y pertenece a la zona de vida de bosque pluvial tropical (bp-T) (Holdridge, 1996). En la **tabla 1** se describen las características de las cinco quebradas seleccionadas en la zona de estudio.

Tabla 1. Descripción de las quebradas estudiadas en la cuenca media del río San Juan, Chocó - Colombia

Quebrada	Coordenadas y altitud	Descripción
Quebrada Oromenudo	5°19' LN 76°37' LO 130 msnm	Ancho promedio de 1,44m y profundidad de 0,28m. Temperatura del agua promedio de 26,35°C, velocidad de 0,23m/s y caudal de 0,080m ³ /s. Sustrato cubierto por arena, piedras y hojarasca. La vegetación es la asociada con ambientes de terrazas de material rocoso cubiertas por epifitos (musgos y hepáticas) y especies de helechos, individuos de Cyclanthacea e individuos herbáceos de Rubiaceae.
Quebrada Guapando	5°19' LN 76°34' LO 103msnm	Ancho promedio de 6,6m y profundidad de 0,31m. Temperatura del agua promedio de 26,80°C, velocidad de 0,44m/s y caudal de 0,85m ³ /s. Sustrato cubierto por piedras y guijarros. Vegetación de llanura aluvial con bosque medianamente intervenido, representado a nivel de ribera por las familias Moraceae, Rubiaceae, Acanthaceae, Myristicaceae, Arecaceae, y a nivel del suelo, por Cyclanthaceae y Pteridofitos (helechos) (Figura 2).
Quebrada Santa Catalina	5°15' LN 76°33' LO 95msnm	Ancho promedio de 3,03m y profundidad de 0,32m. Temperatura del agua de 27,57°C, velocidad de 0,31m/s y caudal de 0,27m ³ /s. Sustrato cubierto por arena y piedras. Vegetación de llanura aluvial, con bosque medianamente intervenido representado por las familias Rubiaceae, Melastomataceae (<i>Miconia</i> sp.), Heliconiaceae, Araceae, Dioscoreaceae, Acanthaceae y gramíneas (<i>Paspalum</i> sp.) (Figura 2).
Quebrada Raspadurita	5°14' LN 76°38' LO 133msnm	Ancho promedio de 11,64m y profundidad de 0,46m. Temperatura del agua de 26,30°C, velocidad de 0,49m/s y caudal de 2,52m ³ /s. Sustrato cubierto por piedras de gran tamaño. Vegetación de llanura aluvial, bosque intervenido con individuos de porte arbóreo de algunas familias como Mimosaceae (Pichinde), Myrtaceae, Araceae, helechos (<i>Sticherus</i> sp. y <i>Gleichenia</i> sp.) y algunas gramíneas (Figura 2).
Quebrada San Bernabé	5°15' LN 76°33' LO 94msnm	Ancho promedio de 4,97m y profundidad de 0,35m. Temperatura del agua de 26,37°C, velocidad de 0,39m/s y caudal de 0,63m ³ /s. Sustrato cubierto por piedras y arena. Vegetación de llanura aluvial con bosque altamente intervenido. Se distinguen en sus riberas las familias Melastomataceae (<i>Miconia</i> sp.), helechos (<i>Sticherus</i> sp. y <i>Gleichenia</i> sp.), Araceae, Gramínea (<i>Paspalum</i> sp.), Myristicaceae, Arecaceae y Rubiaceae.

Fase de campo

Los muestreos se hicieron mensualmente entre abril y agosto del 2015; para la recolección de las algas del perifiton en cada quebrada se seleccionaron al azar cinco piedras sumergidas en la corriente, en las cuales se hizo el raspado de la comunidad adherida utilizando como unidad de área un cuadrante de 8 cm² y raspando cinco veces, con lo que se obtuvo un área total de 200 cm²; se tomaron una muestra y una repetición por sección. Posteriormente, la muestra recolectada fue almacenada en frascos de 50 ml con agua estéril y fijada con lugol al 10 % (**Tümping & Friedrich, 1999**).

En cada quebrada estudiada se midieron *in situ* con un equipo digital multiparámetros (HACH HQ30d) el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura del agua, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos; además, se tomaron muestras de agua para el análisis de nutrientes (nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos) y de la alcalinidad total siguiendo las recomendaciones de la *American Public Health Association (APHA)*, la *American Water Works Association (AWWA)*, y la *Water Environment Federation (WEF)* (2012).

Fase de laboratorio

Las muestras se llevaron al laboratorio de limnología de la Universidad Tecnológica del Chocó, en donde se hizo la identificación taxonómica y la cuantificación de los organismos perifíticos con un microscopio binocular considerando 100 campos con un objetivo de 40X (Uehlinger, 1964), según los trabajos de Förster (1982), Parra, *et al.* (1983), Prescott, *et al.* (1983), Krammer & Lange-Bertalot (1991), Komárek & Anagnostidis (2005), y Bicudo & Menezes (2006), y bases de datos digitales (Guiry & Guiry, 2021). Los organismos unicelulares, las colonias y los filamentos se consideraron como individuos y su cuantificación se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Hauer & Lamberti (2007), donde la densidad se expresa como el número de individuos por área de superficie (cm^2).

Análisis de datos

Mediante estadística descriptiva se analizaron los datos físicos y químicos estableciendo el promedio y el coeficiente de variación de Pearson; se empleó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias de los datos físicos y químicos entre quebradas. La diversidad de la comunidad de algas del perifiton se estimó mediante los índices de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon & Wiener, 1949) y de dominancia de Simpson (Simpson, 1949), en tanto que la riqueza específica se estimó con la función *diversity* del programa estadístico Past 1.57 (Hammer, *et al.*, 2001). Las diferencias en la densidad y la diversidad totales, y en la riqueza y la dominancia de la comunidad en las quebradas se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA de una vía). Este mismo análisis se empleó para evaluar las diferencias en la proporción de las distintas divisiones de algas entre las quebradas estudiadas; los supuestos inherentes a esta prueba se verificaron como aceptables ($p > 0,05$), las diferencias significativas se registraron con una prueba de Tukey y se usó el programa Minitab (2014). Para comparar la composición de la comunidad de algas del perifiton entre quebradas se hizo un análisis de *cluster*, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis (Magurran, 1988). Además, se empleó un análisis de correlación múltiple para determinar la relación entre las variables físicas y químicas y la densidad total, la diversidad, la dominancia, la riqueza específica, y las divisiones de algas presentes en las quebradas estudiadas utilizando el programa Statgraphics Centurion XV (2006).

Resultados

Variables físicas y químicas

Las variables de oxígeno disuelto, alcalinidad, conductividad eléctrica y amonio presentaron diferencias significativas entre las quebradas estudiadas ($p < 0,05$), siendo el oxígeno disuelto, la alcalinidad y la conductividad eléctrica mayores en la quebrada Santa Catalina, y el amonio en la quebrada Guapando. Las variables restantes no presentaron diferencias significativas; sin embargo, el pH y la temperatura del agua registraron sus mayores valores en la quebrada Santa Catalina y los más bajos en Raspapurita. En el caso de los nutrientes, estos tienden a ser mayores en Raspapurita (nitritos y nitratos) y Santa Catalina (ortofosfatos) (Tabla 2). El oxígeno disuelto, la temperatura del agua y el pH, se caracterizaron por su poca variación ($< 15\%$), en tanto que la alcalinidad, la conductividad y los nutrientes fueron los de mayor variabilidad ($> 25\%$).

Comunidad fitoperifítica

La comunidad de algas del perifiton de las quebradas estudiadas registró una densidad total de 2.797,28 org/ cm^2 , distribuidos en 106 morfoespecies pertenecientes a 26 familias, 17 órdenes, 6 clases y 5 divisiones (Tabla 3). La división Bacillariophyta fue la más representativa, con una densidad promedio de 451,10 org/ cm^2 , seguida por la división Charophyta, con 40,88 org/ cm^2 (Figura 3). No se presentaron diferencias significativas en la densidad de las divisiones entre las quebradas ($p > 0,05$). En términos de riqueza,

Tabla 2. Valores promedios, coeficientes de variación (CV) y resultados del análisis de varianza de las variables físicas y químicas

Variables	Quebradas					CV %	p
	Oro Menudo	San Bernabé	Santa Catalina	Guapando	Raspapurita		
	Promedios						
Oxígeno disuelto (mg. l ⁻¹)	5,69	7,33	7,41	5,96	6,85	11,84	0,001
pH (unidades)	5,84	6,40	6,56	6,55	5,64	6,92	0,301
Temperatura del agua (°C)	26,35	26,37	27,57	26,80	26,20	2,01	0,327
Alcalinidad (mg. l ⁻¹ CaCO ₃)	8,67	11,17	14,75	12,57	6,83	28,98	0,013
Conductividad eléctrica (µS/cm)	7,14	21,25	29,77	22,44	11,23	49,60	0,001
Nitritos (mg. l ⁻¹)	0,13	0,02	0,01	0,19	0,27	89,73	0,736
Nitratos (mg. l ⁻¹)	0,64	0,72	0,11	0,88	1,15	54,73	0,829
Amonio (mg. l ⁻¹)	0,09	0,26	0,08	0,38	0,05	82,77	0,041
Ortofosfatos (mg. l ⁻¹)	0,05	0,05	0,22	0,07	0,09	74,24	0,097

Los valores en negrilla corresponden a las variables que presentaron diferencia significativa entre quebradas

la división Bacillariophyta ocupó el primer lugar, con un promedio de 22 de las morfoespecies, seguida de las Charophytas, con un promedio de 11 morfoespecies por quebrada (**Tabla 3**).

La quebrada Oromenudo registró la mayor densidad de organismos perifíticos (39,23 %), seguida de la quebrada San Bernabé (23,99 %), la Santa Catalina (20,27 %), la Guapando (10,63 %) y la Raspadura (5,88%) (**Figura 3**). La riqueza promedio fue mayor en la quebrada Santa Catalina y menor en la quebrada Raspadura; en el caso de la diversidad, esta fue mayor en la quebrada San Bernabé y menor en la quebrada Oromenudo, y la dominancia fue mayor en Oromenudo y menor en San Bernabé (**Tabla 3**). El análisis de varianza evidenció la existencia de diferencias significativas entre las quebradas estudiadas en cuanto a la diversidad de la comunidad de algas del perifiton (ANOVA, F=4,68; p=0,051) y la riqueza (ANOVA, F=8,85; p=0,017); en el caso de la diversidad, las diferencias se presentaron entre la quebrada Oromenudo y las restantes, en tanto que para la riqueza, las quebradas Bernabé y Santa Catalina difirieron del resto. La densidad y la dominancia no presentaron diferencias significativas entre quebradas (p>0,05) (**Figura 4**).

Solo el 2,83 % de las morfoespecies (3 morfoespecies) se encontró presente en las cinco quebradas, en tanto que el 52,83 % (56 morfoespecies) resultó ser exclusivo de alguna de ellas (**Tabla 3**). Los valores del índice de similitud de Bray-Curtis revelaron un bajo rango aproximado de similitud del 6,95 % en la composición de la comunidad de algas perifíticas entre las cinco quebradas (**Figura 5**), siendo las quebradas de San Bernabé y Santa Catalina las que presentaron mayor afinidad, con un 28,83 %, al compartir algunos taxones de Bacillariofíceas y Charofíceas con 25 morfoespecies, seguidas de Raspadura y Guapando, con el 11,81 % y 12 morfoespecies compartidas.

El análisis de correlación entre las variables físicas, químicas y la comunidad de algas del perifiton demostró correlaciones significativas: la variable riqueza se relacionó con la conductividad eléctrica; el oxígeno disuelto y el pH lo hicieron con la dominancia y la diversidad; las euglenofíceas se asociaron con el oxígeno disuelto; la densidad con las clorofíceas y las bacillariofíceas; las euglenofíceas lo hicieron con la riqueza, la dominancia y la diversidad, y las charofíceas con los nitratos (**Tabla 4**).

Tabla 3. Composición taxonómica y densidad de la comunidad de algas del perifiton en las quebradas estudiadas

División	Orden	Géneros	Q. San Bernabé		Q. Guapando		Q. Santa Catalina		Q. Oromenudo		Q. Raspadura	
			N*	D*	N*	D*	N*	D*	N*	D*	N*	D*
Chlorophyta	Oedogoniales	<i>Oedogonium</i>	1	22,42	2	20,44	1	6,17	1	0,06	1	8,21
		<i>Bulbochaete</i>	1	0,06								
	Sphaeropleales	<i>Microspora</i>	1	2,04	1	2,04			1	67,26		
	Ulotrichales	<i>Ulothrix</i>	1	2,04	1	16,31						
Charophyta	Desmidiaceales	<i>Cosmarium</i>	3	0,18	4	8,27	3	2,16	1	2,10	2	10,37
		<i>Pleurotaenium</i>					1	0,06				
		<i>Bambusina</i>							1	0,06		
		<i>Actinotaenium</i>	2	18,46	2	8,21	2	2,10	3	32,73	1	10,25
		<i>Closterium</i>	6	2,52	3	18,46	5	4,37			4	10,49
	Zygnematales	<i>Spirogyra</i>	1	0,06	1	0,12	2	14,45			1	3,82
		<i>Zygnema</i> sp	1	4,14								
		<i>Mougeotia</i>	1	16,31			1	2,04	2	2,10		
		<i>Cylindrocystis</i>					1	18,34			1	12,23
Bacillariophyta	Cymbellales	<i>Cymbella</i>	2	6,17			2	32,61	1	0,06	1	0,06
		<i>Encyonema</i>	1	18,34								
		<i>Encyonema</i>					1	0,12				
		<i>Gomphonema</i>	2	116,18	1	0,06	3	22,72			1	2,10
	Eunotiales	<i>Eunotia</i>	4	255,37	6	74,33	4	83,75	6	35,07	4	26,68
		<i>Actinella</i>	2	0,12					2	277,20	1	4,08
	Surirellales	<i>Surirella</i>	1	2,04			1	2,04	2	61,15	1	2,04
		<i>Stenopterobia</i>			1	2,04						
	Naviculales	<i>Frustulia</i>	1	0,24	1	6,11	1	8,15	1	87,64	1	46,88
		<i>Pinnularia</i>	3	10,37	3	20,50	4	4,32			2	2,22
		<i>Navicula</i>	2	36,69	3	20,44	4	40,88	1	4,08		
		<i>Diploneis</i>					1	0,06				
		<i>Craticula</i>			1	6,11	1	2,04	1	2,04	1	20,38
		<i>Neidium</i>	1	10,31	1	10,19	1	0,06	1	6,11		
	Bacillariales	<i>Nitzschia</i>	2	2,16	1	0,06	2	0,12	2	460,64		
	Fragilariales	<i>Fragilaria</i>	3	130,45	2	2,04	6	81,89	1	0,06	1	2,04
	Mastogloiales	<i>Achnanthes</i>	1	4,08			2	201,78				
Euglenophyta	Euglenida	<i>Euglena</i>	1	0,06	2	2,1						
		<i>Trachelomonas</i>							1	4,08	1	2,04
Cyanobacteria	Oscillatoriales	<i>Oscillatoria</i>			1	77,45	1	0,06			1	0,12
		<i>Lyngbya</i>			1	2,04	2	34,65			1	0,36
	Synechococcales	<i>Pseudanabaena</i>	1	2,04			1	2,04				
	Nostocales	<i>Scytonema</i>	1	8,21								
		<i>Stigonema</i>							1	55,03		
	Spirulinales	<i>Spirulina</i>						0,06				
Densidad promedio (org/cm2)				671,05		297,32		567,04		1097,47		164,37
Diversidad promedio				2,27		2,09		2,14		1,32		2,11
Riqueza promedio				30		23		33		18		17
Dominancia promedio				0,18		0,21		0,22		0,42		0,19

N: No. morfoespecies D: Densidad

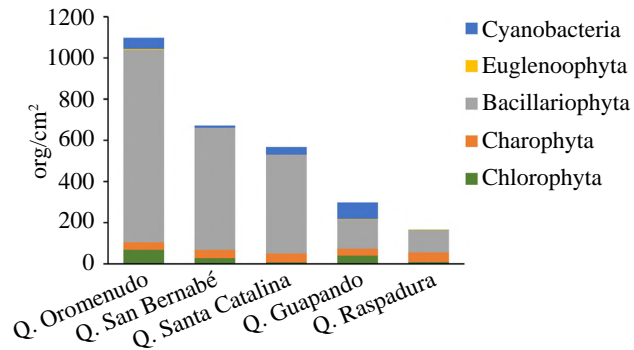


Figura 3. Densidad promedio (org/cm^2) y contribución por divisiones de la comunidad de algas del perifiton en las quebradas estudiadas

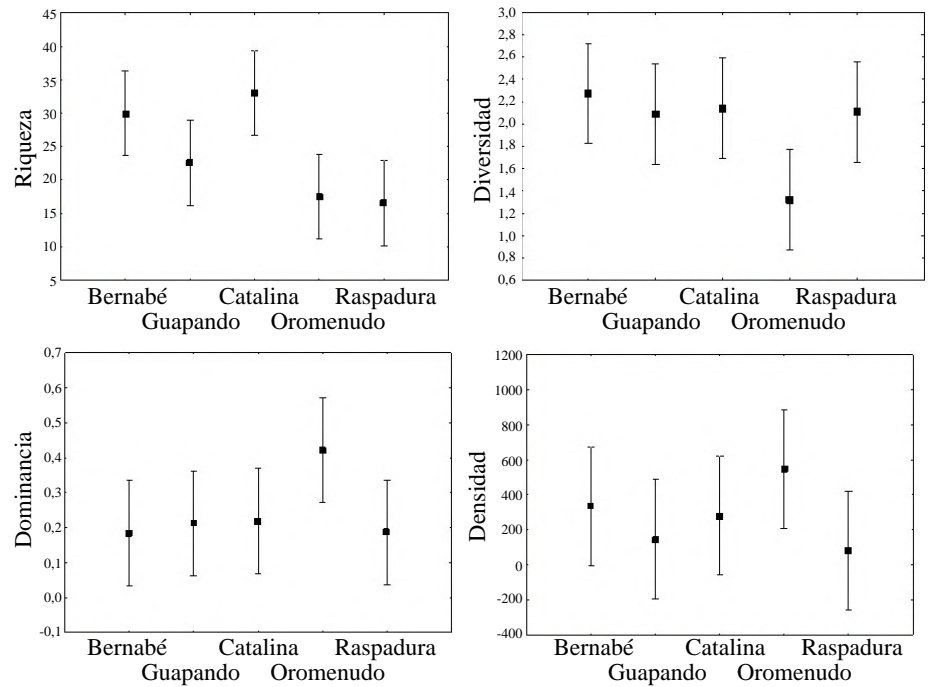


Figura 4. Gráfico de medias para la densidad, diversidad, riqueza específica y dominancia de la comunidad de algas del perifiton en cinco quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó-Colombia

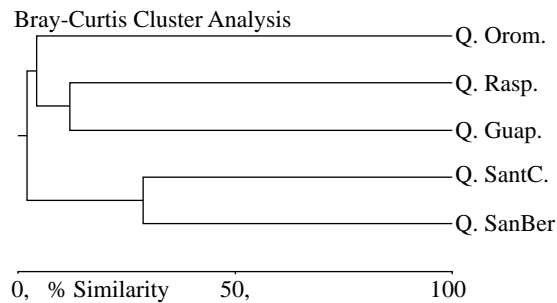


Figura 5. Similitud de la comunidad de algas del perifiton de las quebradas estudiadas mediante el índice de Bray-Curtis. NSanBer: quebrada San Bernabé; SantC: quebrada Santa Catalina; Guap: quebrada Guapandó; Rasp: quebrada Raspadurita; Orom: quebrada Oromenudo

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson para las variables físicas y químicas y los índices ecológicos y grupos perifíticos presentes en las quebradas estudiadas. * $p < 0,05$; significativo; ** $p < 0,01$; muy significativo; NS: no significativo

Parámetros	Densidad	Riqueza	Dominancia	Diversidad	Oxígeno disuelto	pH	Conductividad	Nitratos
Densidad		0,17NS	0,35NS	-0,29NS	-0,35NS	0,46NS	-0,05NS	-0,18NS
Riqueza	0,17NS		-0,35NS	0,55NS	0,54NS	0,04NS	0,74**	-0,53NS
Dominancia	0,35NS	-0,35NS		-0,93**	-0,64*	-0,79**	-0,28NS	0,07NS
Diversidad	-0,29NS	0,55NS	-0,93**		0,74**	-0,72**	0,42NS	0,15NS
Euglenophyta	0,15NS	-0,74**	0,69*	-0,77**	-0,62*	0,39NS	-0,57NS	0,04NS
Chlorophyta	0,65*	0,09NS	0,48NS	-0,34NS	-0,49NS	0,33NS	-0,35NS	-0,07NS
Bacillariophyta	0,98**	0,20NS	0,32NS	-0,28NS	-0,30NS	0,49NS	-0,01NS	-0,04NS
Charophyta	0,28NS	0,04NS	-0,51NS	0,44NS	0,13NS	-0,48NS	0,14NS	0,64*

Discusión

Variables físicas y químicas

En las quebradas estudiadas los parámetros medidos se encontraron dentro de los rangos normales para este tipo de ambientes, con valores relativamente altos de oxígeno disuelto ($>5,50 \text{ mg. l}^{-1}$), pH ligeramente ácido ($<6,60$ unidades), así como alta temperatura del agua ($>26 \text{ }^\circ\text{C}$). Estos valores de oxígeno disuelto y de pH coinciden con los reportados por **Mosquera & Córdoba** (2015) en quebradas ubicadas en la zona del San Juan en el Chocó. En cuanto a la temperatura del agua, los valores superiores a $26 \text{ }^\circ\text{C}$ registrados en las quebradas son característicos de los ambientes acuáticos ubicados en regiones tropicales, con valores entre 25 y $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (**Roldán & Ramírez**, 2008). Asimismo, los valores de alcalinidad fueron bajos ($<50 \text{ mg. l}^{-1}$), al igual que los de conductividad ($<20 \text{ } \mu\text{S/cm}$), pero se encuentran dentro de los rangos reportados para ecosistemas neotropicales colombianos (**Roldán & Ramírez**, 2008). En el caso de los nutrientes, solo los ortofosfatos superaron los valores aceptables en agua naturales, que es de $0,05 \text{ mg. l}^{-1}$ (**Piedrahita**, 1988), lo cual puede estar asociado a la presencia de pequeños poblados en las cercanías de algunos de los ecosistemas acuáticos; sin embargo, fueron similares a los reportados por **Mosquera & Córdoba** (2015) en quebradas de la misma zona.

Comunidad fitoperifítica

En todas las quebradas estudiadas la comunidad de algas del perifiton estuvo dominada en abundancia y riqueza por la división Bacillariophyta, lo cual coincide con otras investigaciones realizadas en sistemas lóticos como las de **Montoya & Ramírez** (2007), **Bustamante, et al.** (2008), **Pedraza & Donato** (2011), **Marín-Villegas, et al.** (2011), **De la Parra-Guerra, et al.** (2017), y **Huertas, et al.** (2019). Según **Ramírez & Plata** (2008), los miembros de la división Bacillariophyta suelen ser comunes y abundantes en ecosistemas lóticos gracias a su capacidad de ocupar con rapidez los sustratos y a la presencia de estructuras especializadas que les permiten a los individuos fijarse al sustrato con mayor facilidad y competir con ventaja frente a otros grupos, además de soportar cambios de temperaturas y altos niveles de perturbación ser potencialmente capaces de colonizar diversas zonas de un cuerpo lótico a pesar de su heterogeneidad (**Ramírez, et al.**, 2009). Igualmente, la riqueza exhibida por esta división se atribuye a la capacidad que tiene para desarrollarse en hábitats bentónicos, los cuales le ofrecen una variedad de microhábitats disponibles para su colonización, y variables físicas y químicas que definen el tipo de organismos que crecen en el sustrato, lo que se asocia a las estrategias de crecimiento que estas exhiben (**Cavati & De Oliveira**, 2008; **Flynn, et al.**, 2013).

Los restantes grupos perifíticos presentaron abundancias muy inferiores, lo que podría asociarse con los requerimientos particulares de estos grupos de algas. En el caso de las divisiones Chlorophyta y Charophyta, su presencia se asocia con aguas ricas en nutrientes

y con una relación P:N alta (Pinilla & Duarte, 2006), presentando su mayor desarrollo en medios alcalinos (Ramírez, 2000; Martín, *et al.*, 2004), en tanto que las cianobacterias suelen proliferar en zonas con alta penetración de luz y con alta perturbación (Komarek, 2003); por su parte, las euglenofitas se encuentran de forma ocasional, ya que son características de ambientes con alto contenido de materia orgánica de origen natural, y flujos y ambientes lénticos (Vilches, *et al.*, 2016).

Desde el punto de vista espacial, las variaciones observadas en diversidad y riqueza entre las quebradas pueden atribuirse a su ubicación particular en zonas alejadas de asentamientos urbanos y de perturbaciones de tipo antrópico, como es el caso de las quebradas Santa Catalina y San Bernabé, las cuales exhibieron los mayores valores de riqueza y diversidad, en tanto que una quebrada como Raspadura presentó bajos valores de estas variables por estar sujeta a una mayor actividad antrópica, ya que es un balneario popular en la zona. Según Stevenson, *et al.* (1996), la distribución de los organismos perifíticos depende significativamente de las características físicas del sustrato y de la dinámica física del entorno, de manera que factores como la geología, la topografía y los usos del suelo en las áreas de influencia directa de los cuerpos de agua tienden a ser factores relevantes a gran escala en la ecología de estos organismos (Stevenson, 1997; Potapova & Donald, 2002).

Un alto porcentaje de morfoespecies fue exclusivo de alguna de las cinco quebradas (Tabla 3) y solo los géneros *Oedogonium*, *Frustulia* y *Actinotaenium* se encontraron presentes en los cinco ecosistemas en estudio. Estos resultados evidencian una variabilidad significativa en la composición de morfoespecies de algas perifíticas en estas quebradas, lo que estaría asociado a las características del sustrato y de la dinámica del entorno en relación con los usos del suelo en sus áreas de influencia directa. Según Felisberto, *et al.* (2001), el predominio de diferentes grupos de microalgas y cianobacterias en determinados ecosistemas es función, principalmente, de las características predominantes del medio ambiente; asimismo, estos organismos están sujetos a una serie de factores presentes en los ambientes acuáticos (nutrientes, luz, pH, temperatura, sustrato, entre otros), lo que se refleja positiva o negativamente en su dinámica espacial (Lowe, 1996; Reynolds, 2006), y su distribución tiende a ser altamente dependiente de las características del sustrato y de la dinámica física del entorno (Stevenson, *et al.*, 1996).

El género *Oedogonium* es cosmopolita y habita principalmente en aguas quietas o con poco movimiento en un amplio rango de condiciones ecológicas (Bellinger & Sigee, 2015); por su parte, *Frustulia* es un género frecuente en agua dulce, capaz de producir matrices mucilaginosas que facilitan su fijación al sustrato y son a menudo dominantes en los ambientes acuáticos, sobre todo los de tipo oligotrófico y pH ácido (Werum & Lange-Bertalot, 2004; Metzeltin & Lange-Bertalot, 2009). Asimismo, el género *Actinotaenium* es frecuente en ecosistemas oligotróficos de pH ácido (Hall, *et al.*, 2008).

En cuanto a las correlaciones observadas entre las variables físicas, químicas y la comunidad de algas del perifiton, diversos estudios han demostrado la importancia de variables como el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura y los nutrientes en la composición, abundancia y riqueza de la comunidad perifítica en ecosistemas acuáticos (Verb & Vis, 2005; Soininen, 2007; Montoya & Ramírez, 2007; Pedraza & Donato, 2011; Rusanov, *et al.*, 2012). Según Hill, *et al.* (2000), las comunidades fitoperifíticas resultan ser muy dependientes de las condiciones ambientales y en especial de la química del agua, ya que estas variables actúan sobre su desarrollo al afectar su fisiología, influenciado también en sus variaciones espaciales y temporales (Oliveira-Martins, 2006)

Conclusión

La densidad y la dominancia de las comunidades de algas del perifiton en las quebradas estudiadas no presentaron variaciones espaciales importantes; sin embargo, la riqueza y la diversidad evidenciaron cambios significativos asociados con la ubicación específica de las quebradas en zonas alejadas de asentamientos urbanos y de perturbaciones de tipo antrópico, así como a la variación observada en las formas de nitrógeno y ortofosfatos

entre las quebradas estudiadas. Las diatomeas fueron el grupo dominante en densidad y riqueza, coincidiendo con lo reportado en otras investigaciones de este tipo en el país, en tanto que grupos como Euglenoficeas y Cianoficeas tuvieron baja representatividad, lo que se asocia con sus requerimientos particulares. Asimismo, se evidenciaron correlaciones significativas entre la comunidad de algas del perifiton y las variables físicas y químicas analizadas. El presente estudio constituye una línea base para el conocimiento de las comunidades perifíticas que se desarrollan en sistemas lóticos de las cuencas del departamento del Chocó.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República por la financiación de la fase de campo de esta investigación y a la Universidad Tecnológica del Chocó, por facilitar la infraestructura de campo y laboratorios.

Contribución de los autores

LMMC: determinación de las muestras, colaboración en el análisis e interpretación de resultados y su discusión y en la redacción del informe final; ZMM: asesoría continua en el proceso de determinación de las muestras, análisis e interpretación de resultados y su discusión, y redacción del informe final.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Abuhatab, Y. A., Geovo, S., Asprilla, S.** (2005). Incidencia de las variaciones fisicoquímicas del agua sobre la colonización del fitoperifiton en un sustrato artificial en la quebrada La Francisca, Quibdó, Chocó - Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*. **23** (1): 26-33.
- APHA, AWWA, WEF.** (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22nd ed. Washington, USA: American Public Health Association. 1360 p.
- Bellinger, E. G. & Sigee, D. C.** (2015). *Freshwater algae: identification, enumeration and use as bioindicators*. John Wiley & Sons. 275 p.
- Bicudo, E.M. & Menezes, M.** (2006). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil (Chave de identificação e descrições)*. 2 ed. São Carlos, Brasil: RiMa Editora. 502 p.
- Biggs, B. J. F.** (2000). Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. *Journal of the North American Benthological Society*. **21**: 17-31.
- Bustamante, C. A., Dávila, C. A., Torres, S. L., Ortíz, J. F.** (2008). Composición y abundancia de la comunidad de fitoperifiton en el río Quindío. *Rev. Invest. Univ. Quindío*. **20**: 15-21.
- Cavati, B. & De Oliveira, F.** (2008) Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno – Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. *Acta Scientiarum Biological Sciences*. **30** (4): 439-448.
- De la Parra-Guerra, A., García-Alzate, C., Rodelo-Soto, K., Gutiérrez-Moreno, L.** (2017). Composición y estructura fitoperifítica de la cuenca media y baja del río Cesar, departamento Cesar-Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. **22** (2): 5938-5950.
- Felisberto, S. A., Rodrigues, L., Leandrini, J. A.** (2001). Chlorococcales registradas na comunidade perifítica no reservatório Corumbá, Estado de Goiás, Brasil, antes e após o represamento das águas. *Acta Scientiarum*. **23** (2): 275-282.
- Flynn, K., Chapra, S., Suplee, M.** (2013) Modeling the lateral variation of bottom-attached algae in rivers. *Ecological Modelling*. **267**: 11-25.
- Godoy-Lozada, D. & Peláez-Rodríguez, M.** (2020). 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.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M.** (2019). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Fecha de consulta: accedida entre enero y julio de 2021. Disponible en <http://www.algaebase.org>.

- Hall, J.D., Karol, K.G., McCourt, R.M., Delwiche, C.F.** (2008). Filogenia de las algas verdes en conjugación basada en datos de secuencia de nucleótidos mitocondriales y de cloroplasto. *Journal of Phycology*. **44**: 467-477.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D.** (2001). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. **4**: 1-9.
- Hauer, F.R. & Lamberti, G.A.** (Eds). (2007). *Methods in stream ecology*. 2nd ed. San Diego, USA: Academic Press. 895 p.
- Hill, B.H., Herlihy, A.T., Kaufmann, P.R., Stevenson, R.J., McCormick, F.H., Johnson, C.B.** (2000). Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. *J. North American Benthological Society*. **19** (1): 50-67. <https://doi.org/10.2307/1468281>
- Holdridge, R.L.** (1996). Ecología basada en zonas de vida. Instituto Inter. Americano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José de Costa Rica. 1-6.
- Huertas-Farías, K., Tatiana-Parra, Y., Reinoso, G.** (2019). Aspectos ecológicos de la comunidad fitoperifítica en el río Anchique, cuenca andina colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **43** (166): 98-107.
- Jiménez-Pérez, P., Toro-Restrepo, B., Hernández-Atilano, E.** (2014). Relación entre la comunidad de fitoperifiton y diferentes fuentes de contaminación en una quebrada de los Andes colombianos. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*. **18** (1): 49-66.
- Komárek, J.** (2003). Coccoid and Colonial Cyanobacteria. Pp: 59-116. En: Wehr, J., R. Sheath (Eds.). *Fresh Water Algae of North America. Ecology and Classification*. Academic Press. USA.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K.** (2005). Cyanophyta part 2: Oscillatoriales. In: Büdel, B., Krienitz, L., Gärtner, G., Schagerl, M. (ed.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/2*. München, Germany: Spektrum Akademischer Verlag, Elsevier.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H.** (1991). 2/3 Bacillariophyceae. 2. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heyning, H., Mollenhauer, D. (eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart, Germany: Gustav Fischer Verlag.
- Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Wetzel, C. E., Ector, L.** (2016). Diatoms as bioindicators in rivers. *River Algae*. **1**: 245-271.
- López-Muñoz, M.T. & Pérez-Gallego, C.M.** (2014). Dinámica espacial y temporal de los géneros ficoperifíticos del río La Miel (cuenca del río Magdalena), aguas abajo del embalse Amaní (Caldas, Colombia), entre 2006 y 2009. *Biota Colombiana*. **15** (2): 127-151.
- Lowe, R.L.** (1996). Periphyton patterns in lakes. In, Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (Eds). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, p. 57-76.
- Magurran, A.E.** (1998). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey. 179 p.
- Marín-Villegas, N. C., Corredor-Coy, N. V., Bustamante-Toro, C. A.** (2011). Aspectos ecológicos de comunidades bénticas de un sistema fluvial andino, Armenia-Quindío, Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*. **22** (1): 58-69.
- Martín, G., Alcalá, E., Solá, C., Plazuelo, A., Burgos, M.D., Reyes, E., Toja, J.** (2004). Efecto de la contaminación minera sobre el perifiton del río Guadamar. *Limnética*. **23** (3-4): 315-330.
- Martínez, L. & Donato, J.** (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. *Limnología. Revista Caldasia*. **25** (2): 337-354.
- Maturana, M., Cuesta, J., Asprilla, S.** (2002). Estructura de la comunidad de ficoperifiton en *Nymphoides* sp. en la ciénaga Plaza Seca, corregimiento de Sanceno, municipio de Quibdó - Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*. **8**: 21-27.
- Medina-Mosquera, F. M., Ayala-Mosquera, H. J., Perea, J. D.** (2011). Determinación de la contaminación mercurial en personas vinculadas con la minería de oro en el Distrito Minero del San Juan, departamento del Chocó, Colombia. *Bioetnia*. **8** (2):195-206.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H.** (2009). Tropical diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction. *Iconographia diatomologica*. **18**: 1-877.
- Minitab INC 17.1.0.** (2014). *Minitab Statistical Software*. State College, Pennsylvania, USA: Minitab Inc.
- 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**: 585-593.
- Mosquera-Murillo, Z.** (2020). Fitoperifiton asociado con macrófitas en una ciénaga tropical de la cuenca del río Atrato, Quibdó (Chocó), Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* **44** (173): 1060-1072.

- Mosquera-Murillo, Z., Martínez-Cuesta, L. M., Murillo-Mosquera O., Mosquera-Perea, M. Y.** (2020). Phytoplankton associated with lagoons generated by mining, San Juan River basin, Chocó-Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. **23** (2): e1156.
- Mosquera, Z. & Córdoba, K.E.** (2015). Caracterización de la entomofauna acuática en cuatro quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* **39** (150): 67-76.
- Murakami, E.A., Bicudo, D.C., Rodrigues, L.** (2009). Periphytic algae of the Garças Lake, Upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. *Brazilian Journal of Biology*. **69**: 459-468.
- Oliveira-Martins, F.C.** (2006). Respostas ecofisiológicas da comunidade perifítica in situ a diferentes condições ambientais no rio Santa Maria da Vitória, ES. Tesis de Maestría. Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. 132 p.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V.** (1983). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Concepción, Chile: Editorial de la Universidad de Concepción. 353 p.
- Pedraza, E. & Donato, J.** (2011). Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los Andes colombianos. *Caldasia*. **33**: 177-191.
- Pérez, R., Pineda, R., Medina, M.** (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. Primera edición. Instituto Nacional de Ecología. México. 83 p.
- Piedrahíta, R.H.** (1988). Introducción al modelado por computadora de ecosistemas de estanques acuáticos. Investigación sobre acuicultura. **19** (1): 1-12.
- Pinilla, G. & Duarte, J.** (2006). La importancia ecológica de las ciénagas del Canal del Dique y la determinación de su estado limnológico. Cormagdalena – Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 97 p.
- Potapova, M.G. & Donald, F.C.** (2002). Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography*. **29**: 167-187.
- Prescott, G.W.** (1983). How to know the freshwater algae, third ed., Iowa, USA: W.C. Brown. 293 p.
- 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.* **13** (1): 199-216.
- Ramírez, J.** (2000). Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Medellín. Universidad de Antioquia. ¿p?
- Reynolds, C.S.** (2006) Ecology of phytoplankton. Cambridge, Cambridge University Press. 551 p.
- Roldán, G. & Ramírez, J.J.** (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical. 2ª ed. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia-ACCEFYN-Universidad Católica de Oriente. 442 p.
- Romaní, A.** (2001). Biofilms Fluvial. Institut d' Estudis Catalans d' Ecologia, Arxius de les Seccions de Ciències, Secció de Ciències Biològiques. Barcelona. 254 p.
- Rusanov, A. G., Stanislavskaya, E. V., Acs, E.** (2012). Periphytic algal assemblages along environmental gradients in the rivers of the Lake Ladoga basin, Northwestern Russia: implication for the water quality assessment. *Hydrobiologia*. **695**: 305-327.
- Salas, Y., Geovo, S., Córdoba, K., Asprilla, S.** (2011). Caracterización de las comunidades perifíticas y de macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Pacurita, corregimiento de Pacurita, Quibdó, Chocó-Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*. **1** (2): 98-104.
- Shannon, C. E. & Wiener, W.** (1949). The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana, USA. 117 p.
- Simpson, E. H.** (1949). Measurement of diversity. *Nature*. **163**: 689-698.
- Soininen, J.** (2007). Environmental and spatial control of freshwater diatoms - a review. *Diatom Research*. **22**: 473-490.
- Statgraphics Centurion XV.** (2006). Programa de ordenador. Versión Centurion XV. E.U.A: Stat Point, Inc.
- Steinman, A., Abdimalik, M., Ogdahl, M.E., Oudsema, M.** (2016). Understanding planktonic vs. benthic algal response to manipulation of nutrients and light in a eutrophic lake. *Lake and Reservoir Management*. **32** (4): 402-409.
- Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L.** (1996). Algal ecology of freshwater benthic ecosystems. Academic Press. New York. 753 p.
- Stevenson, R.J.** (1997). Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of the North American Benthological Society*. **16**: 248-262.

- Stevenson, R. J., Rier, S. T., Riseng, C. M., Schultz, R. E., Wiley, J.** (2006). Comparing effects of nutrients on algal biomass in streams in two regions with different disturbance regimes and with applications for developing nutrient criteria. *Hydrobiologia*. **561**: 149-165.
- Trbojević, I., Jovanović, J., Kostić, D., Popović, S., Predojević, D., Karadžić, V., Subakov-Simić, S.** (2018). Periphyton Developed on Artificial Substrates: Effect of substrate type and incubation depth. *Russian Journal of Ecology*. **49** (2): 135-142.
- Tümping, W.V. & Friedrich, G.** (eds.). (1999). *Methoden der Biologischen Wasseruntersuchung. Biologische Gewässeruntersuchung*. **2**: 310-331.
- Uehlinger, V.** (1964). Étude statistique des Méthodes de dénombrement planctonique. *Archives des sciences*. **17** (2):121-223.
- Verb, R. G. & Vis, M. L.** (2005). Periphyton assemblages as bioindicators of mine-drainage in unglaciated Western Allegheny Plateau lotic systems. *Water, Air, and Soil Pollution*. **161**: 227-265.
- Vilches, C., Casco, M., Giorgi, A.** (2016). El perifiton como indicador de contaminación difusa: el caso de la cuenca superior del río Reconquista (Buenos Aires, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. **51** (4): 579-595.
- Werum, M. & Lange-Bertalot, H.** (2004). Diatoms in springs. *Iconographia diatomologica*. **13**: 1-417.
- 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.