

Artículo de datos

Fitoperifiton asociado al río Acacias-Pajure en la Orinoquia colombiana

Phytoperiphyton associated to Acacias-Pajure River in the Colombian Orinoquia

Yirley Angélica Rincón-Blanquicet  ^a, Julián Camilo Barreto-Montenegro ^a

Yair Leandro Zapata-Muñoz ^a, Sandra Milena Hernández-Herrera ^a

José Ismael Rojas-Peña ^a, Juan Manuel Trujillo-González ^a

Marco Aurelio Torres-Mora ^a, Luis Carlos Villareal-Díaz ^a

Edgar Fernando Castillo ^b, Marlon Serrano-Gómez ^b

^a Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana (ICAOC), Universidad de los Llanos, Campus Barcelona, Colombia

^b Centro de Innovación y Tecnología, Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Ecopetrol, Colombia

Recibido: 19 de octubre, 2022

Aceptado: 6 de febrero, 2023

Publicado en línea: 1° de julio, 2023

Citación del artículo: Rincón-Blanquicet, Y. A., Barreto, J. C., Zapata-Muñoz Y. L., Hernández-Herrera, S. M., Rojas-Peña, J. I., Trujillo-González, M. T., Torres-Mora, M. A., Villareal-Díaz, L. C., Castillo, E. F., y Serrano-Gómez, M. (2023). Fitoperifiton asociado al río Acacias-Pajure en la Orinoquia colombiana. *Biota Colombiana*, 24(2), e1108.

<https://doi.org/10.21068/2539200X.1108>



Resumen

El fitoperifiton hace referencia al componente autótrofo perteneciente a la comunidad del perifiton, compuesta por microorganismos acuáticos que han sido monitoreados por su importancia ecológica y potencial como bioindicadores. Son escasos los estudios que se han realizado sobre esta comunidad en la Orinoquia colombiana, región con un abundante recurso hídrico y con múltiples presiones antrópicas, debido a que es la principal despensa agrícola y energética del país. Se realizaron tres monitoreos en 12 puntos a lo largo del río Acacias-Pajure, en donde se identificaron un total de 41 géneros. Los mayores registros de riqueza se presentaron en los puntos de monitoreo 6 y 7, asociados a cultivos de palma de aceite y actividad ganadera. *Navicula* (Ochrophyta) y *Cosmarium* (Charophyta) fueron los géneros más frecuentes, *Oedogonium* (Chlorophyta) y *Phormidium* (Cyanobacteria) los más abundantes a lo largo del río.

Palabras clave: microalga, registro biológico, sistema lótico.

Abstract

Phytoperiphyton refers to the autotrophic component belonging to the periphyton community, composed of aquatic microorganisms that have been monitored for their ecological importance and potential as bioindicators. Few investigations have been carried out on this community in the Colombian Orinoquia, a region with abundant water resources and multiple anthropic pressures, because it is the country's main agricultural and energy source. Three monitorings were carried out at 12 points along the Acacias-Pajure River, where a total of 41 genera were identified. The highest records of richness were presented at monitoring points 6 and 7, associated with oil palm crops and livestock activity. *Navicula* (Ochrophyta) and *Cosmarium* (Charophyta) were the most frequent genera, *Oedogonium* (Chlorophyta) and *Phormidium* (Cyanobacteria) the most abundant along the river.

Keywords: microalgae, biological record, lotic system.

Introducción

La Orinoquia colombiana cuenta con un vasto recurso hídrico, dado que alberga cerca del 32,47 % de las reservas del país, el 41 % en acuíferos y el 48 % de los humedales continentales. Está conformada por cerca de 750 ríos, arroyos y otros tipos de cuerpos de agua, entre ellos el río Acacias-Pajure que hace parte del tercer sistema ribereño más grande del mundo, la cuenca del Orinoco (Bustamante, 2019).

Los ríos de esta región han venido siendo afectados por diferentes presiones antrópicas, como la deforestación, asociada a la expansión de la frontera agrícola, urbana y al desarrollo minero-energético (Briceno-Vanegas, 2015), la extracción de materiales pétreos, captaciones, y alteraciones en la estructura del lecho (Urbano-Bonilla et al., 2014; Tovar-Hernández et al., 2017), vertimientos (Vargas-Tejedor y León-Rodríguez, 2016; Trujillo-González et al., 2017; Aguilera y Vásquez-Ramos, 2019; Moyano-Salcedo et al., 2021) y liberaciones de especies exóticas (Lasso et al., 2016), que afectan la dinámica de este sistema hídrico.

Las investigaciones sobre el recurso hídrico abarcan el estudio de las comunidades hidrobiológicas con el fin de reportar información acerca de la dinámica de los sistemas hídricos, incluyendo organismos microscópicos que participan en el flujo de energía, como lo son las algas que, entre otros organismos, además de estar disponibles en la columna de agua como en el caso del plancton, también pueden desarrollar la capacidad de adherirse a sustratos conformando el grupo fitoperifiton (Roldan y Ramírez, 2008).

El perifiton es un microsistema integral compuesto por microorganismos. Incluye bacterias, algas, protozoos y microfauna que se adhieren a sustratos sumergidos y embebidos en una matriz de mucopolisacáridos y detritos (Wetzel, 1982; Azim, 2009; Wu, 2017). Al componente autótrofo se le denomina fitoperifiton y está representado por algas y cianobacterias (Foerster y Schlichting, 1956; Dodds y Whiles, 2020), cuyos grupos

más comunes en ecosistemas acuáticos continentales son Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta y el menos frecuentemente Rodophyta (Lowe, 1996). Para la colecta de este grupo en particular se realiza un raspado del sustrato disponible en el cuerpo de agua y se realiza la identificación taxonómica mediante el uso de equipos de microscopía, teniendo en cuenta parámetros específicos para su determinación y conteo. Además de ser bioindicadores de la calidad de agua, estos organismos juegan un rol importante al albergar gran parte de la producción primaria, participar en el ciclado de nutrientes, retener sedimentos, brindar alimento y hospedaje a otros organismos (Bellinger y Sigee, 2015). Sin embargo, a pesar de la importancia de esta comunidad, son pocos los estudios reportados en la Orinoquia colombiana (Montoya-Moreno y Aguirre, 2013; Moreno-Rodríguez et al., 2017).

Como estrategia de ampliar el estado del conocimiento de la biodiversidad del fitoperifiton presente en los ecosistemas lóticos de la cuenca alta del Orinoco, el presente estudio se centra en reportar un inventario del fitoperifiton del río Acacias en el Piedemonte Llanero, además este insumo permitirá establecer programas de seguimiento y monitoreo de la calidad de los principales ríos en esta región.

Datos del proyecto

Título. Desarrollar un diseño experimental para determinar el grado de bioacumulación por hidrocarburos y metales sobre la comunidad íctica por las aguas industriales de las estaciones Chichimene y Apiay, y evaluar la cuenca hidrográfica Acacias-Pajure para establecer las condiciones reales de la calidad del agua, biota y suelos.

Nombre investigador principal. Juan Manuel Trujillo González.

Fuentes de financiación. Convenio Marco 5226521 Unillanos-Ecopetrol, Acuerdo de Cooperación n.º 10.

Descripción del área de estudio. El presente estudio se realizó en el río Acacias, principal drenaje de la cuenca Acacias-Pajure, localizada en el departamento del Meta en el centro oriente de Colombia y aborda los municipios de Acacias y San Carlos de Guaroa (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena, 2012).

Descripción del diseño. Se establecieron 12 puntos de monitoreo, asociados a diferentes usos y actividades que se encuentran a lo largo del río (Tabla 1). Con el objetivo de desarrollar un diseño experimental para determinar el grado de bioacumulación por hidrocarburos y metales por las aguas industriales de las estaciones Chichimene y Apiay, y evaluar la composición y diversidad de las comunidades hidrobiológicas de perifiton, macroinvertebrados y peces del río Acacias-Pajure y su relación con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua en tres periodos de monitoreo.

Cobertura taxonómica

Descripción. La comunidad fitoperifítica estuvo representada por un total de 41 géneros pertenecientes a 31 familias, 16 órdenes, 6 clases, 5 filos y 4 reinos. El número de géneros por clase se describe a continuación: para las diatomeas clase Bacillariophyceae se reportaron 17 géneros; para las carófitas clase Zygnematophyceae, 6 géneros; en el grupo de las clorófitas, las clase Chlorophyceae y Trebouxiophyceae están representadas por 7 y 2 géneros respectivamente, y Cyanobacteria por 6 géneros y 3 en la clase Euglenoidea.

Categoría taxonómica

Géneros: *Achnanthes*, *Actinotaenium*, *Ankistrodesmus*, *Aphanocapsa*, *Chlorella*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Cylindrocystis*, *Cymbella*, *Dactylococcopsis*, *Desmodesmus*, *Diatoma*, *Dictyosphaerium*, *Euastrum*, *Euglena*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Frustulia*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Lyngbya*, *Merismopedia*, *Navicula*, *Neidium*, *Nitzschia*, *Oedogonium*, *Oscillatoria*, *Pediastrum*, *Phacus*, *Phormidium*, *Pinnularia*, *Scenedesmus*, *Selenastrum*, *Sellaphora*, *Sphaerocystis*, *Staurastrum*, *Stauroneis*, *Surirella*, *Synedra*, *Tabellaria*, *Trachelomonas*.

Cobertura geográfica

Descripción. El río Acacias-Pajure se encuentra localizado en Colombia, región Orinoquia, subregión Piedemonte Llanero, cuenca Acacias-Pajure, en el departamento del Meta, con influencia en los municipios de Acacias, Guamal, Castilla La Nueva y San Carlos de Guaroa. Es un afluente de la cuenca del río Metica, con un área aproximada de 93 100,9 ha (Cormacarena, 2012). Los datos utilizados del recurso cubren el área correspondiente a los municipios de Acacias y San Carlos de Guaroa.

Coordenadas. A continuación, se describen las coordenadas y características generales de cada punto de monitoreo (Tabla 1) y en la Figura 1 se presenta su ubicación espacial.

Tabla 1. Coordenadas y descripción de los puntos de monitoreo en el río Acacias-Pajure.

Punto	Coordenadas	Altitud (m s. n. m.)	Observaciones
1.	73°49'10.4" W 3°57'35.0" N	744	Zona alta del río. Vegetación boscosa, presencia de macrófitas, rocas grandes y actividad ganadera y agrícola.
2.	73°46'13.4" W 3°58'15.8" N	523	Vegetación boscosa y arbustiva. Aguas arriba del casco urbano del municipio de Acacias.
3.	73°44'52.1" W 3°58'47.3" N	496	Presencia de vegetación arbórea, masas algales y actividad ganadera. Aguas arriba de la confluencia con el río Acaciitas. Vertimiento de aguas domésticas aguas arriba.
4.	73°44'38.6" W 3°58'53.1" N	491	Vegetación herbácea predominante, presencia de masas algales y malos olores. Aguas abajo de la confluencia con el río Acaciitas.
5.	3°57'22.3" N 73°40'5.7" W	421	Vegetación arbórea y arbustiva, zona aleadaña a industria de hidrocarburos. Agua.
6.	73°39'46.8" W 3°57'16.7" N	412	Vegetación arbórea y arbustiva, cultivos de palma de aceite.
7.	73°23'25.2" W 3°52'06.4" N	259	Vegetación herbácea y arbustiva, con actividad ganadera. Aguas arriba de la confluencia con el río Orotoy.
8.	73°23'15.0" W 3°51'59.6" N	257	Aguas abajo de la confluencia con el río Orotoy, cultivos de palma de aceite y actividad ganadera.
9.	73°18'58.4" W 3°51'52.6" N	245	Vegetación arbórea, arbustiva, herbácea y cultivos de palma de aceite. Aguas arriba del centro poblado.

10.	73°18'40.4" W 3°51'45.8" N	239	Vegetación herbácea, arbustiva, erosión de la banca, cultivos de palma de aceite y vertimiento de aguas residuales domésticas. Aguas abajo del centro poblado.
11.	73°14'10.6" W 3°52'25.1" N	214	Vegetación arbórea y arbustiva y cultivos de palma de aceite. Aguas abajo confluencia con el caño Chichimene.
12.	73°06'50.0" W 3°53'12.8" N	202	Vegetación asociada, grandes playas, zona con sustrato predominantemente arenoso. Actividad ganadera. Aguas arriba antes de la confluencia con el río Guayuriba.

Datos de la colección

Nombre de la colección. Colección Limnológica UPTC (UPTC-L).

Identificador de la colección. Registro Nacional de Colecciones: No. 248.

Identificador de la colección parental. UPTC-L: P17 a P70.

Método de preservación de los especímenes. Solución Transeau (1:1).

Materiales y métodos

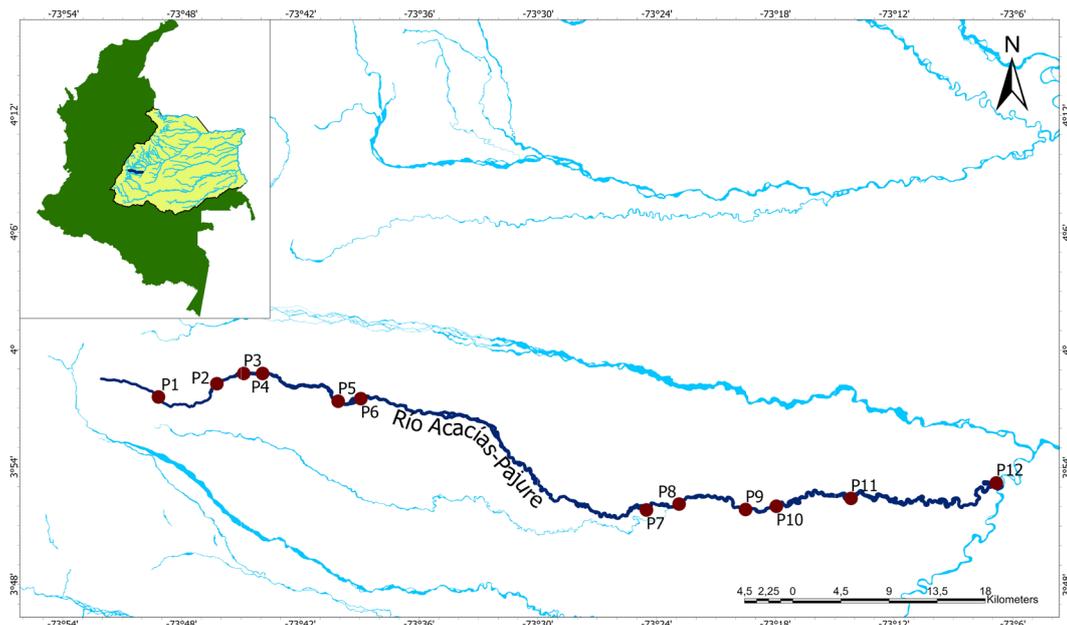
Área de estudio. La cuenca del río Acacias-Pajure es de orden tres (3) y hace parte de la cuenca alta del río Meta, localizada en el departamento del Meta. Según [Cormacarena \(2012\)](#), su cota más elevada está a 1800 m s. n. m., en su nacimiento en la vereda Alto Acaciñas del municipio de Acacias y entrega sus aguas a 200 m s. n. m. al río Metica en jurisdicción de la Inspección Departamental de Pajure en el municipio San Carlos de Guaroa. El lecho del río presenta grandes rocas en su zona alta, predominan los cantos rodados en su zona media, y en la zona baja con dominancia de arenas, principalmente en la zona de confluencia del río con el río Guayuriba.

Descripción del muestreo. El muestreo de la comunidad perifítica se realizó bajo la metodología propuesta por [Barbour et al. \(1999\)](#). En cada punto se seleccionaron al azar 15 sustratos rocosos con cobertura perifítica en los

Cobertura temporal

El muestreo se realizó en tres periodos: Primero, del 31 de agosto al 7 de septiembre de 2020; segundo, del 9 al 18 de noviembre de 2020 y tercero, del 8 al 15 de febrero de 2021. El primer y segundo periodo coincidieron con épocas de lluvias y en el tercer periodo se presentó época seca (bajas precipitaciones).

Figura 1. Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Acacias-Pajure.



cuales se realizaron raspados con cepillo de cerdas duras en un cuadrante de 16 cm², para un área total de 240 cm²; en los puntos en los que no había sustrato rocoso, la muestra fue tomada de troncos sumergidos donde se evidenció desarrollo de la comunidad. Cada muestra fue almacenada en frascos de 250 ml, etiquetada y preservada en solución Transeau en una proporción (1:1).

Descripción de la metodología paso a paso. Cada muestra se homogenizó, para su análisis y se observó en un microscopio óptico compuesto. Para el registro de organismos se tuvo en cuenta únicamente organismos con cloroplastos. En cuanto a la identificación taxonómica para la determinación de riqueza se emplearon las claves y guías especializadas de Cox (1996), Bellinger y Sigeo (2015), Wehr et al. (2015) y Bicudo y Menezes (2017). La densidad de organismos se determinó siguiendo las metodologías de Barbour et al. (1999) y Rice et al. (2017).

Control de calidad. Se corroboró la identificación taxonómica con la base de datos internacional algaebase.org (Guiry y Guiry, 2017), y se revisó la información primaria de los conteos con evidencia fotográfica de cada morfotipo o género identificado.

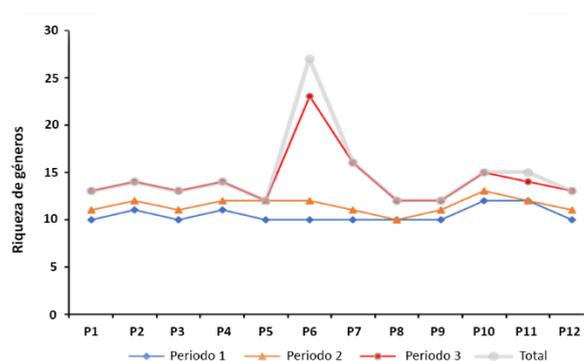
Resultados

Descripción del conjunto de datos. Se registraron un total de 41 géneros pertenecientes a 31 familias, 16 órdenes, 6 clases, 5 filos y 4 reinos. La clase con mayor número de géneros registrados fue *Bacillariophyceae* con 17, seguido de *Clorophyceae* con 7, *Zygnematophyceae*, *Cyanobacteria* y *Eugleonoidea* con 6 cada uno, y por último *Trebouxiophyceae* con 2. La Tabla 2 presenta la taxonomía y la abundancia por géneros, y los reportes por punto del fitoperifiton registrados para el río Acacias-Pajure. Los géneros *Cosmarium*, *Navicula*, *Pinnularia* y *Scenedesmus* se registraron en 10 de los 12 puntos de monitoreo. Estos géneros se consideran de amplia distribución y presentan altas abundancias en aguas oligotróficas a mesotróficas. Por su parte, *Ankistrodesmus*, *Dictyosphaerium* y *Staurastrum* tienen preferencias a aguas eutróficas (Peña-Salamanca et al, 2005).

En cuanto a la abundancia, *Oedogonium* y *Phormidium* fueron los géneros con mayores densidades de organismo por cm² (Tabla 2), debido a que estos géneros desarrollan abundantes sobre el sustrato, formando colonias extensas.

En promedio, cada punto registró 15 géneros. El punto 6 tuvo la mayor cantidad para los tres periodos con un total de 27 géneros (Figura 2). Respecto a la riqueza por periodos, se registró un alza progresiva en los reportes por géneros en cada periodo.

Figura 2. Riqueza de géneros de fitoperifiton por punto de monitoreo reportados en el río Acacias.



URL del recurso

Para acceder a la última versión del conjunto de datos:

IPT. <https://doi.org/10.15472/hs8dsz>

SiB Colombia.

<https://biodiversidad.co/data/?datasetKey=bb1f4643-8a9a-4d72-b631-88a41c0528bc>

GBIF.

<https://www.gbif.org/dataset/bb1f4643-8a9a-4d72-b631-88a41c0528bc>

Nombre. Biodiversidad asociada al proyecto: Diseño experimental para determinar el grado de bioacumulación por hidrocarburos y metales por las aguas industriales de las estaciones Chichimene y Apiay.

Idioma. Español

Codificación de caracteres. UTF-8

Biota Colombiana.

https://ipt.biodiversidad.co/biota/resource?r=ullanos_peces-rioacacias

Formato del archivo. Darwin Core

Versión del formato del archivo. 1.0

Nivel de jerarquía. Dataset

Fecha de publicación de los datos. 2022-03-17

Idioma de los metadatos. Español

Fecha de creación de los metadatos. 2021-04-09

Licencia de uso. CC-BY 4.0

Agradecimientos

Se agradece al Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana (ICAOC) de la Universidad de los Llanos y a Ecopetrol por el apoyo y financiación a la realización de este proyecto.

Tabla 2. Taxonomía y abundancia de fitoperifiton en el río Acacias-Pajure.

Phylum	Clase	Género	Abundancia (Org. cm-2)	Puntos
<i>Charophyta</i>	Zygnematophyceae	<i>Actinotaenium</i>	5392	P2,P6
		<i>Closterium</i>	58893	P2,P5,P6,P7,P9,P10,P12
		<i>Cosmarium</i>	64861	P2,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11,P12
		<i>Cylindrocystis</i>	15413	P1,P4,P10,P12
		<i>Euastrum</i>	13466	P1,P6,P9,P12
		<i>Staurastrum</i>	3365	P6
<i>Chlorophyta</i>	Chlorophyceae	<i>Ankistrodesmus</i>	5769	P6
		<i>Desmodesmus</i>	14881	P1,P3,P6,P7,P8,P12
		<i>Oedogonium</i>	105464	P1,P5,P6,P7,P9,P10,P11
		<i>Pediastrum</i>	28052	P2,P3,P4,P5,P6,P7,P10,P11
		<i>Scenedesmus</i>	50768	P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P10,P11,P12
		<i>Selenastrum</i>	4644	P2,P6
		<i>Sphaerocystis</i>	2635	P3,P4
	Trebouxiophyceae	<i>Chlorella</i>	2635	P1,P4,P6
		<i>Dictyosphaerium</i>	1763	P6
	<i>Cyanobacteria</i>	Cyanobacteriia	<i>Aphanocapsa</i>	7452
<i>Dactylococcopsis</i>			3606	P6
<i>Lyngbya</i>			31330	P8,P12
<i>Merismopedia</i>			3172	P3,P6,P7
<i>Oscillatoria</i>			2427	P3
<i>Phormidium</i>			97785	P4,P7,P8,P9,P10,P12
<i>Euglenozoa</i>	Euglenoidea	<i>Euglena</i>	17777	P3,P4,P10
		<i>Phacus</i>	12158	P2,P3,P4,P8
		<i>Trachelomonas</i>	9599	P3,P11
<i>Ochrophyta</i>	Bacillariophyceae	<i>Achnanthes</i>	9599	P11
		<i>Cymbella</i>	23323	P1,P6,P11,P12
		<i>Diatoma</i>	25665	P2,P6,P9,P10,P11,P12
		<i>Eunotia</i>	4394	P1,P5
		<i>Fragilaria</i>	8588	P1,P2,P6
		<i>Frustulia</i>	48486	P1,P2,P3,P7,P9,P10,P11,P12
		<i>Gomphonema</i>	4254	P3,P4
		<i>Gyrosigma</i>	25801	P8,P9,P10,P11
		<i>Navicula</i>	57176	P1,P2,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P11,P12
		<i>Neidium</i>	57176	P1,P2,P5,P6,P11
		<i>Nitzschia</i>	12493	P1,P6,P8
		<i>Pinnularia</i>	52789	P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10
		<i>Sellaphora</i>	10564	P3,P6,P7,P9
		<i>Stauroneis</i>	7692	P11,P12
		<i>Surirella</i>	40812	P2,P4,P5,P6,P7,P8,P10
		<i>Synedra</i>	40937	P4,P5,P6,P7,P8,P10,P11
<i>Tabellaria</i>	40561	P4,P5,P6,P7,P10,P11		

Referencias

- Aguilera, A., y Vásquez-Ramos, J. M. (2019). Distribución espacial y temporal de Elmidae (Insecta: Coleóptera) y su relación con los parámetros físicoquímicos en el río Ocoa, Meta, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(166), 108–119. <https://doi.org/doi.org/10.18257/raccefyn.833>
- Azim, M. E. (2009). Photosynthetic Periphyton and Surfaces. En G. E. Likens (Ed.), *Encyclopedia of Inland Waters* (Vol. 3, pp. 184-191). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00144-7>
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., y Stribling, J. B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Streams and Rivers. Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish* (2a ed.). US Environmental Protection Agency Office of Water.
- Bellinger, E. G., y Sigeo, D. C. (2015). *Freshwater Algae: Identification, Enumeration and Use as Bioindicators* (2a ed.). Wiley Blackwell.
- Bicudo, C. E. de M., y Menezes, M. (2017). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições* (3a ed.). RiMa.
- Briceño-Vanegas, G. (2015). Evaluación de la integridad estructural de ecosistemas lóticos del Piedemonte Llanero frente a la intervención antrópica. *Acta Biológica Colombiana*, 20(2), 133-144. <https://doi.org/10.15446/ABC.V20N2.42307>
- Bustamante, C. (Ed.). (2019). *Gran Libro de la Orinoquia Colombiana*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Cormacarena. (2012). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Acacias-Pajure*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena.
- Cox, E. J. (1996). *Identification of freshwater diatoms from live material*. Chapman & Hall.
- Dodds, W. K., y Whiles, M. R. (2020). *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology* (3a ed.). Academic Press.
- Foerster, J. W., y Schlichting, H. E. (1956). Phyco-periphyton in an oligotrophy lake. *Transactions American Microscopical Society*, 84, 485–502.
- Guiry, M. D., y Guiry, G. M. (2017). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. www.algaebase.org
- Lasso, C. A., Machado-Allison, A., y Taphorn, D. C. (2016). Fishes and aquatic habitats of the Orinoco River Basin: diversity and conservation. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 174–191. <https://doi.org/10.1111/jfb.13010>
- Lowe, R. L. (1996). Periphyton Patterns in Lakes. En R. J. Stevenson, M. L. Bothwell, y R. L. Lowe (Eds.), *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems* (pp. 57–76). Elsevier.
- Montoya-Moreno, Y., y Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(3), 91-117.
- Moreno-Rodríguez, F., Caro-Caro, C. I., Pinilla, G. A., y Osorio, D. P. (2017). Estado actual del conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Meta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 274-306. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.60619>
- Moyano-Salcedo, A. J., Cuadros-Segura, F. D., Pabón-Laverde, A. M., y Trujillo-Arias, J. V. (2021). Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia. *Tecnura*, 25(68), 43-62. <https://doi.org/10.14483/22487638.16273>
- Peña-Salamanca, E. J., Palacios-Peñaranda, M. L., y Ospina-Álvarez, N. (2005). *Algas como indicadoras de contaminación*. Universidad del Valle.
- Rice, E. W., Baird, R. B., y Eaton, A. (Eds.). (2017). *Standard Methodes for the Examination of Water and Wastewater* (23a ed.). American Public Health Association.
- Roldán, G., y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Tovar-Hernández, N. A., Trujillo-González, J. M., Muñoz-Yáñez, S. I., Torres-Mora, M. A., y Zárate, E. (2017). Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica. *Orinoquia*, 21(1), 52-63. <https://doi.org/10.22579/20112629.394>
- Trujillo-González, J. M., Mahecha-Pulido, J. D., Torres-Mora, M. A., Brevik, E. C., Keesstra, S. D., y Jiménez-Ballesta, R. (2017). Impact of potentially contaminated river water on agricultural irrigated soils in an equatorial climate. *Agricultura*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture7070052>
- Urbano-Bonilla, A., Prada-Pedrerros, S., Zapata, Á., Barrera-Cataño, J. I., y Moreno-Cárdenas, A. C. (2014). Composición y riqueza íctica en quebradas y ríos del piedemonte de la cuenca del río Cusiana, Orinoquia colombiana. *Biota Colombiana*, 15(1), 52–69.

- Vargas-Tejedor, Y., y León-Rodríguez, N. (2016). Exploración y explotación de petróleo: enfoque geográfico de los efectos ambientales en el Piedemonte llanero. *Perspectiva Geográfica*, 21(2), 199-224. <https://doi.org/10.19053/01233769.5795>
- Wehr, J. D., Sheath, R. G., y Kociolek, J. P. (Eds.). (2015). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. Elsevier.
- Wetzel, R. G. (Ed.) (1982). *Periphyton of Freshwater Ecosystems. Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems held in Vaxjo, Sweden*. Springer.
- Wu, Y. (2017). *Periphyton: Functions and Application in Environmental Remediat*. Elsevier.