

DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.4870>



Composición y estructura de la comunidad de algas perifíticas del río Alvarado y algunos tributarios (Tolima, Colombia)*

Jonathan Gerardo Gordillo-Guerra^a ■ Edwin Orlando López-Delgado^b ■
Yessica Tatiana Parra Trujillo^c ■ Gladys Reinoso Flórez^d

Resumen: la comunidad fitoperifítica es un componente clave para la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas lóticos. Dada la importancia de esta biota en los ambientes dulceacuícolas, se diseñó el presente estudio orientado a identificar cómo responde la comunidad fitoperifítica a variaciones temporales tales como el régimen pluviométrico y los cambios espaciales (por ejemplo, la disponibilidad de hábitat y sustratos en el río Alvarado y algunos tributarios). En cada punto de muestreo se realizaron raspados de la superficie de los sustratos en inmersión de fácil remoción (roca y tronco). En cuanto a la densidad fitoperifítica no se observaron diferencias significativas a nivel espacial, temporal y de sustratos. Con relación a la diversidad de Shannon se encontraron diferencias significativas a nivel temporal. Según el análisis EMNM y el análisis de similitud, la composición de la estructura de la comunidad varió a nivel espacial (R: 0,2059, p: 0,002) y temporal (R: 0,1529, p: 0,002). Las variables fisicoquímicas DBO₅, sólidos totales, coliformes totales, fósforos y alcalinidad influyeron de manera significativa en la distribución de los taxones. Los resultados de esta investigación permitieron identificar que, en las estaciones evaluadas, la estructura de la comunidad varía a nivel espacial y temporal debido, principalmente, a factores ambientales que influyen en el proceso de colonización y sucesión.

Palabras clave: diversidad; estructura; fisicoquímicos; fitoperifítica; temporalidad

-
- * Artículo de investigación. Grupo de Investigación en Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Financiado por el Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima, Ibagué.
 - a Magíster en Ciencias Biológicas. Biólogo. Grupo de Investigación en Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
Correo electrónico: johngordillo.07@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4728-1148>
 - b Doctor en Ciencias de la Vida Silvestre y Pesquera. Maestría en Ciencias Biológicas. Biólogo. Grupo de Investigación en Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
Correo electrónico: eolopezd@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4010-1880>
 - c Magíster en Ciencias Biológicas. Biólogo. Grupo de Investigación en Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
Correo electrónico: yetrujillo123@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4743-5485>
 - d Magíster en Biología. Licenciada en Biología y Química. Grupo de Investigación en Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
Correo electrónico: greinoso@ut.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2002-1645>

Recibido: 01/06/2020

Aceptado: 31/07/2020

Disponível em linha: 19/03/2021

Cómo citar: J. G. Gordillo-Guera, E. O. López-Delgado, Y. T. Parra Trujillo, y G. Reinoso Flórez, «Composición y estructura de la comunidad de algas perifíticas del río Alvarado (Tolima-Colombia)», Rev. Fac. Cienc. Básicas, vol. 16, n.º 1, mar. 2021.

Composition and Structure of the Peripheral Algae Community of the Alvarado River and some Tributaries (Tolima, Colombia)

Abstract: the phytoperiphytic community is a key component for the structure and functioning of lotic ecosystems. Given the importance of this biota in freshwater environments, this study was designed to identify how the phytoperiphytic community responds to temporal variations such as rainfall amounts and spatial changes (for example, the availability of habitat and substrates in the Alvarado River and some tributaries). At each sampling point, easily removable submerged substrates were scraped from the surface (rock and trunk). Regarding the phytoperiphytic density, no significant differences were observed at the spatial, temporal and substrate level. Regarding the Shannon diversity index, significant differences were found at the temporal level. According to the NMDS analysis and the similarity analysis, the community composition structure varied at the spatial ($R: 0.2059$, $p: 0.002$) and temporal ($R: 0.1529$, $p: 0.002$) levels. The physicochemical variables BOD_5 , total solids, total coliforms, phosphors and alkalinity had a significant influence on the distribution of taxa. The results of this research allowed to identify that, in the evaluated stations, the community structure varies at a spatial and temporal level, mainly due to environmental factors that influence the process of colonization and succession.

Keywords: diversity; structure; physicochemicals; phytoperiphytic; temporality

Composição e estrutura da comunidade de algas perifíticas do rio Alvarado e alguns tributários (Tolima, Colômbia)

Resumo: a comunidade fitoperifítica é um componente-chave para a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas lóticos. Devido à importância dessa biota nos ambientes dulciaquícolas, foi elaborado o presente estudo, orientado a identificar como responde a comunidade fitoperifítica a variações temporais como o regime pluviométrico e as mudanças espaciais (por exemplo, a disponibilidade de habitat e substratos no rio Alvarado e alguns tributários). Em cada ponto da amostragem, foram realizadas raspagens da superfície dos substratos em imersão de fácil remoção (rocha e tronco). Quanto à densidade fitoperifítica, não foram observadas diferenças significativas no âmbito espacial, temporal e de substratos. Com relação à diversidade de Shannon, foram encontradas diferenças significativas no âmbito temporal. Segundo a análise de EMNM e a análise de semelhança, a composição da estrutura da comunidade variou no âmbito espacial ($R: 0,2059$, $p: 0,002$) e temporal ($R: 0,1529$, $p: 0,002$). As variáveis físico-químicas DBO_5 — sólidos totais, coliformes totais, fósforos e alcalinidade — influenciaram de maneira significativa na distribuição dos táxons. Os resultados desta pesquisa permitiram identificar que, nas estações avaliadas, a estrutura da comunidade varia no âmbito espacial e temporal devido, principalmente, a fatores ambientais que influenciaram no processo de colonização e sucessão.

Palavras-chave: diversidade; estrutura; físico-químicos; fitoperifítica; temporalidade

Introducción

Los ecosistemas acuáticos son complejos e importantes, ya que albergan una biota variada y almacenan una de las moléculas más importantes en el planeta: el agua. En la actualidad estos ecosistemas se están deteriorando, principalmente, a causa de impactos de tipo antropogénico tales como el uso irracional del agua, la descarga de residuos líquidos y sólidos provenientes de algunas actividades como la minería, la generación de energía y la canalización, entre otros que afectan de forma directa a las comunidades acuáticas [1].

El perifiton es un eslabón clave de los cuerpos de agua y se define como una comunidad compleja de microorganismos vivos (algas, bacterias, hongos, animales, detritos orgánicos e inorgánicos) adheridos o fijados a un sustrato que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto [2]. Sin embargo, debido a la gran complejidad que encierran las comunidades perifíticas, en las últimas décadas se ha considerado al perifiton como un biofilm, biopelícula o película microbiana que resulta del proceso de colonización, crecimiento y metabolismo celular microbiano [3].

Las microalgas perifíticas son importantes para la estructura y el funcionamiento de los ambientes lóticos por ser uno de los principales puntos de entrada de energía; se encargan de la producción de metabolitos orgánicos que alimentan diversos organismos en la red trófica, contribuyen con más del 70 % de la materia orgánica a la productividad total de los ecosistemas acuáticos, presentan altas tasas de reciclaje de nutrientes y proporcionan abrigo y alimento a varios tipos de organismos, principalmente a peces (Loricados) y macroinvertebrados acuáticos [4].

En Colombia, algunos trabajos se han enfocado, principalmente, en el estudio de las comunidades de diatomeas en ríos de alta montaña [5]-[9], pequeños ríos andinos [10] y en las llanuras aluviales del río Amazonas [11]; estos se han orientado a entender los factores que determinan el

funcionamiento de los sistemas lóticos y lenticos. Sin embargo, estudios enfocados en la diversidad, la estructura y la distribución de las comunidades fitoperifíticas son escasos en ecosistemas lóticos tropicales [12] y aún más en ríos altoandinos.

Debido al importante rol ecológico de estos organismos y a su potencial uso como bioindicadores de la integridad biótica de los ecosistemas acuáticos, surge la necesidad de evaluar cambios a nivel espacial y temporal de la comunidad fitoperifítica en ecosistemas andinos tropicales. Esto permitirá identificar cómo responde este tipo de comunidades a variaciones temporales tales como el régimen pluviométrico y los cambios espaciales (p. ej., la disponibilidad de hábitat y sustratos). Para tal fin, en la presente investigación se evaluaron cambios en la diversidad y la composición de la comunidad fitoperifítica y sus relaciones con algunas variables fisicoquímicas a nivel espacial y temporal, así como en diferentes sustratos a lo largo de la cuenca del río Alvarado y sus principales tributarios.

Materiales y métodos

Área de estudio

La cuenca del río Alvarado está ubicada en la zona de vida de bosque seco tropical, al noroeste del departamento del Tolima, donde tienen jurisdicción los municipios de Alvarado e Ibagué. Se localiza a 75° 08' oeste, 04° 28' norte y 74° 56' oeste, 04° 35' norte, con un área de 29 988,14 ha y una longitud del cauce de 55,06 km (véase la Tabla 1). La vegetación natural, dada su ubicación, la fertilidad de sus suelos y sus condiciones ecológicas, ha sido reemplazada a lo largo del tiempo por grandes zonas de cultivo, pastos para ganadería y urbanización [13]. El río Alvarado pertenece a la cuenca del río La China, que a su vez hace parte de la cuenca mayor del río Totare; según el método de orden designado para arroyos de [14] este río, pertenece al orden tipo 2 con más de seis arroyos tributarios.

Tabla 1. Localidades evaluadas en el río Alvarado y algunos tributarios (Tolima)

Localidad *	Abrev.	Altitud	Coordenadas	
			N	O
R. Alvarado-Caldas Viejo	RACV	351	04° 36' 41,2"	74° 55' 46,2"
Q. La Caima	ALCA	374	04° 35' 45,8"	74° 56' 39,6"
R. Alvarado-Puente	RAP	521	04° 31' 11,3"	74° 59' 14,0"
R. Alvarado-Chucuni	RACH	697	04° 27' 56,7"	75° 03' 46,7"
Q. La Manjarres	ALM	758	0° 28' 19,3"	75° 04' 26,9"
Q. Chumba	ACHU	973	04° 29' 06,2"	75° 05' 48,6"
R. Alvarado-Inicio	RAIN	977	04° 27' 13,1"	75° 09' 23,2"
Q. Chembe	ACHE	988	04° 27' 34,2"	75° 08' 54,7"
Q. Cocare	ACOC	1057	04° 28' 37,4"	75° 08' 25,4"

* R: río; A: quebrada; N: norte; o: oeste

Fuente: elaboración propia.

Toma de muestras biológicas

El estudio de la comunidad fitoperifítica se realizó en nueve estaciones ubicadas a lo largo del río Alvarado y algunos tributarios (Figura 1). Los cuatro muestreos se llevaron a cabo en la temporada de altas (septiembre del 2012 y abril del 2013) y de bajas precipitaciones (diciembre del 2012 y junio del 2013), teniendo en cuenta los registros pluviométricos históricos del Ideam (aproximadamente diez

años). En cada punto de muestreo se seleccionaron dos tipos de sustratos naturales en inmersión de fácil remoción (roca y tronco). Se realizaron raspados de la superficie en un área de 10 cm² de cada sustrato con la ayuda de cepillos plásticos de cerdas delgadas, de acuerdo con la metodología recomendada [15]. En cada muestreo se colectaron dieciocho muestras. El material obtenido se almacenó en recipientes plásticos y se preservó en formol y Lugol [16].

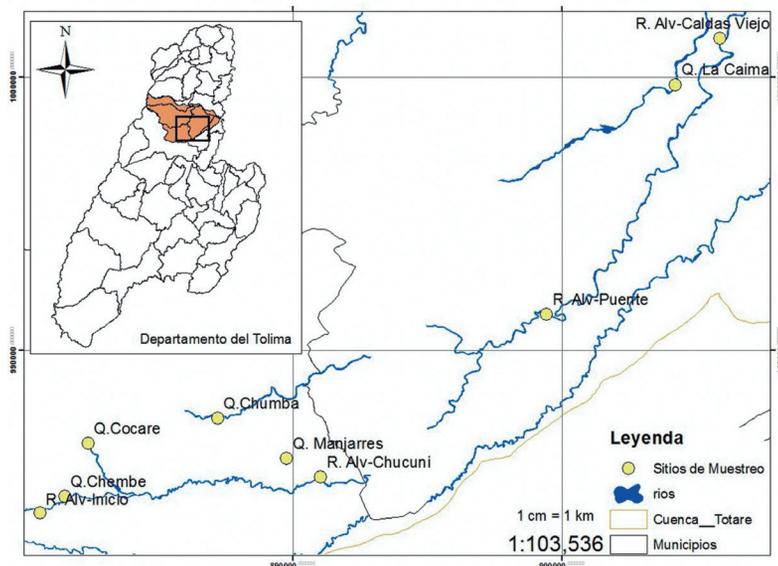


Figura 1. Sitios de muestreo evaluados a lo largo del río Alvarado y algunos tributarios.

Fuente: IGAC Sigot (2012).

Se tomaron muestras de agua en frascos plásticos (2000 ml) para el análisis de dieciséis variables fisicoquímicas (temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, turbiedad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos, fosfatos, fósforo total, cloruros, alcalinidad total y dureza). De igual forma, se tomaron muestras de agua en frascos de vidrio esterilizados (300 ml) para el análisis microbiológico de coliformes totales y fecales, realizados por el Laboratorio de Servicios de Extensión en Análisis Químico (Laserex) de la Universidad del Tolima. Variables tales como la temperatura del agua, el caudal, la velocidad de la corriente y el ancho del caudal se midieron *in situ* utilizando un termómetro digital, flujómetro y distanciómetro digital, respectivamente.

Análisis de la comunidad fitoperifítica

La determinación y el conteo de la comunidad fitoperifítica se realizó con un microscopio óptico Motic BA-210, utilizando una cámara de conteo Sedgwick-Rafter (SR), de acuerdo con la metodología establecida por [17], [18]. A partir de estos conteos se determinó como mínimo cien células de la especie más abundante en cada muestra analizada [19]. Se utilizó la fórmula recomendada en [20], en la cual la densidad se refleja en el número de células o individuos por una unidad de área (cm²). La identificación taxonómica se hizo con base en las claves y descripciones [18], [21]-[23]. Además, se soportó la determinación de las algas perifíticas con la base de datos electrónica *Algaebase* [24]. Algunos géneros de diatomeas fueron preparadas por el método de limpieza de frústulas [25], [26].

Análisis de datos

Se describió la composición de la comunidad a nivel espacial, temporal y en los sustratos evaluados. Adicionalmente, se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener y dominancia de Simpson (D), utilizando la función *diversity* del paquete *vegan* del programa estadístico R versión 3.2.5 [27].

A fin de identificar si se presentaron diferencias en la densidad y en los índices de diversidad a nivel espacial, temporal y de sustratos se realizó un análisis de varianza (Anova) usando el programa estadístico R versión 3.2.5 [27]. Previamente fue verificada la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianza con la prueba de Bartlett; en los casos en los que los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza no fueron cumplidos se utilizó el Anova no paramétrico de Kruskal-Wallis. Con el fin de identificar cambios en la estructura de la comunidad a nivel espacial, temporal y en los sustratos evaluados, se ejecutó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMNM), utilizando la distancia de Bray-Curtis. Adicionalmente, se efectuó un análisis de similitud (Anosim) para identificar diferencias significativas entre los grupos evaluados. Estos análisis se desarrollaron utilizando la librería *vegan* del programa estadístico R versión 3.2.5 [27].

Con el propósito de analizar las posibles asociaciones entre las variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica del río Alvarado y algunos tributarios, se desarrolló un análisis de correspondencia canónica (ACC) mediante la matriz transformada (raíz cuadrada) de la densidad de los taxones y la matriz transformada (Log x+1) de las variables fisicoquímicas [28]. Para identificar las variables que influyeron de manera significativa en la estructura de la comunidad fitoperifítica se llevó a cabo un análisis de permutación de Monte Carlo (999 permutaciones). El ACC y la prueba de Monte Carlo se realizaron con el programa Canoco versión 4.5 [29].

Resultados

Composición y estructura de la comunidad fitoperifítica

La comunidad de algas perifíticas en las cuatro épocas de muestreo estuvo dominada por las clases Bacillariophyceae (82 %), Cyanophyceae (7,4 %), Chlorophyceae (7,2 %) y Conjugatophyceae (2,5 %). En total se determinaron 45 géneros, algunos se presentaron de manera abundante, entre los que se destaca

la presencia de los géneros *Navicula*, *Nitzschia*, *Achnanthes*, *Surirella* y *Fragilaria*, y en menor proporción *Klebsormidium* y *Caloneis*.

Con relación a la densidad, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en las nueve estaciones evaluadas (F: 1,983, *p*: 0,0878). Sin embargo, es importante resaltar que la localidad río Alvarado Caldas Viejo (RACV), ubicada en la parte más baja de la cuenca, registró las densidades más altas en los cuatros muestreos (25,2 %), debido a la dominancia de los taxones *Nitzschia*, *Achnanthes* y *Navicula* (Figura 2). A nivel de sustratos, no hubo diferencias estadísticamente significativas (X^2 : 2.486, *p*: 0.1149). Sin embargo, se observó que los taxones *Amphora*, *Caloneis*, *Chlorosarcina*, *Chroococcus*, *Cladophora*, *Closterium*, *Coelastrum*, *Cosmarium*, *Cryptomonas*, *Cyclotella*, *Dictyosphaerium*, *Euglena*, *Eunotia*, *Hannaea*, *Hydrodictyon*, *Klebsormidium*, *Monoraphidium*, *Mougeotia*, *Nostoc*, *Volvox* y *Zygnema* solo se encontraron en el sustrato tronco. A nivel temporal, no se observaron diferencias significativas en la densidad (F: 0,968, *p*: 0,42). No obstante, durante el mes de abril del 2013 se observó la mayor densidad en los cuatro muestreos evaluados.

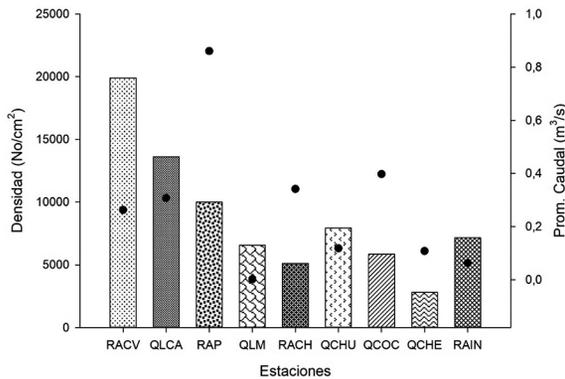


Figura 2. Densidad total de la comunidad fitoperifítica en las nueve estaciones muestreadas en el río Alvarado y algunos tributarios en los cuatro muestreos.

Fuente: elaboración propia.

El género *Navicula* se registró como dominante tanto a nivel espacial como temporal. Sin embargo, se observaron cambios en la composición de los géneros restantes, como es el caso de *Nitzschia* y *Surirella*, los cuales registraron altas densidades en la época de altas precipitaciones (septiembre y abril),

mientras que para la época de bajas precipitaciones (diciembre y junio) *Fragilaria* y *Synedra*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Achnanthes*, *Surirella* y *Synedra* fueron los géneros más abundantes en el sustrato roca. Los géneros *Navicula*, *Nitzschia*, *Achnanthes*, *Oscillatoria* y *Synedra* tuvieron una alta representatividad en el sustrato tronco. Entre las quebradas evaluadas, La Caima registró las más altas densidades para los géneros *Navicula*, *Nitzschia*, *Fragilaria*, *Oscillatoria*, *Surirella*, *Achnanthes*, *Stigeoclonium*, *Cladophora* y *Cymbella*.

Índices ecológicos

A nivel espacial, los índices de diversidad de Shannon (F: 1,052, *p*: 0,424) y dominancia (F: 0,962, *p*: 0,485) no presentaron diferencias significativas. En cuanto a los sustratos evaluados, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los índices de diversidad (X^2 : 0,60389, *p*: 0,4371) y dominancia (X^2 : 0,79163, *p*: 0,3736). A nivel temporal, sí hubo diferencia significativa en el índice de diversidad de Shannon (F: 3,846, *p*: 0,0186), de manera que el muestreo M1 (septiembre 2012) fue el más diverso (Figura 3).

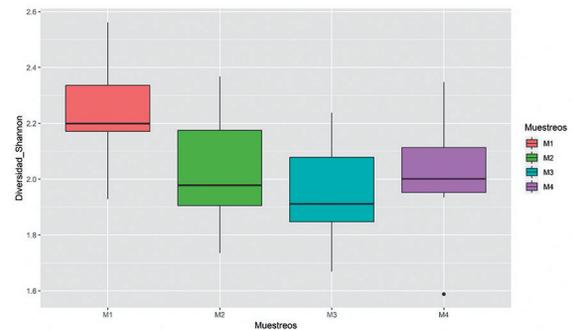


Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes del índice de diversidad de Shannon en los cuatro muestreos evaluados.

Fuente: elaboración propia.

Cambios en la estructura de la comunidad fitoperifítica

Según los resultados del análisis de similitud, a nivel espacial se observaron diferencias en la composición y la estructura de la comunidad (R: 0,2059, *p*: 0,002). Sin embargo, a nivel de sustratos no se observaron diferencias en la estructura de la comunidad (R:

0,027; p : 0,065). Asimismo, estos resultados fueron corroborados por el diagrama de ordenación producto del EMNM, en el cual se observa que la composición y la estructura de la comunidad fitoperifítica

es similar entre los sustratos de roca y tronco. A nivel temporal se observaron diferencias significativas en la estructura de la comunidad (R : 0,1529, p : 0,002) (Figura. 4).

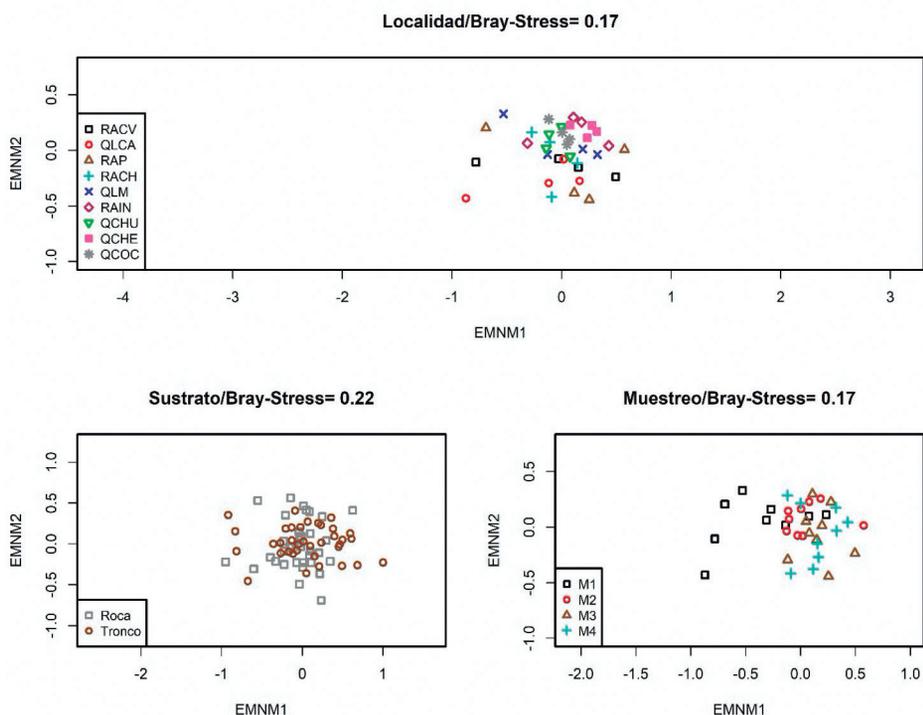


Figura 4. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMNM) de las localidades, los sustratos y los cuatro muestreos evaluados.

Fuente: elaboración propia.

Asociación de la comunidad fitoperifítica con variables fisicoquímicas

En cuanto al análisis de correspondencia canónica (ACC), ejecutado con el fin de identificar las posibles relaciones de los géneros de la comunidad fitoperifítica con las variables fisicoquímicas, se observó que las variables DBO_5 (F : 2,53, p : 0,001), sólidos totales (F : 2,49, p : 0,001), coliformes totales (F : 1,77, p : 0,010), fósforo (F : 1,79, p : 0,013) y alcalinidad (F :

1,84, p : 0,049) influyeron de manera significativa en la distribución de la comunidad fitoperifítica (véase la Figura 5).

Los géneros *Oedogonium*, *Gomphonema*, *Achnanthes*, *Synedra* y *Closterium* se asociaron con la variable DBO_5 en la localidad RACH y los géneros *Euglena*, *Zygnema*, *Tetraedron*, *Botryococcus*, *Klebsormidium*, *Pediastrum* y *Rhoicosphenia* estuvieron relacionados con las variables alcalinidad, sólidos totales, fósforos y coliformes totales en las estaciones QLCA, RACV y RAP (véase la Figura 5).

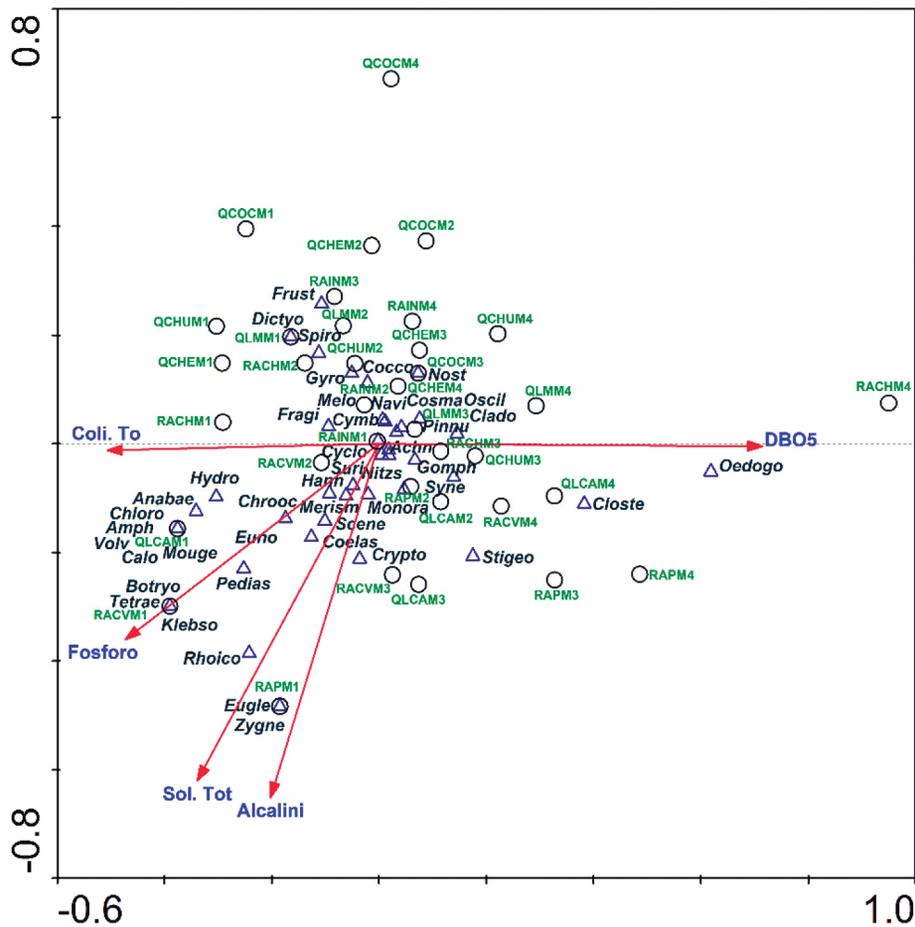


Figura 5. Triplot del Acc basado en la comunidad fitoperifítica, variables fisicoquímicas y estaciones en el río Alvarado en los cuatro muestreos evaluados.

Fuente: elaboración propia.

Discusión

La estructura de la comunidad fitoperifítica en las cuatro épocas evaluadas estuvo dominada, en su mayor parte, por la clase Bacillariophyceae. Tanto a nivel espacial como temporal esta clase se caracterizó por su abundancia y frecuencia. Debido a su alta representatividad y dominancia, se pudo evidenciar que este grupo presenta una facilidad para formar colonias, ya que posee estructuras que le permiten adherirse a los sustratos disponibles en el ecosistema acuático [31]-[33].

Adicionalmente, los organismos pertenecientes a esta clase tienen estrategias y estructuras mucilaginosas que les permiten soportar la variabilidad de la velocidad de la corriente del cuerpo de agua

[34]. A pesar de no presentar diferencias significativas a nivel espacial es importante mencionar que la localidad RACV presentó la mayor densidad en la cuenca del río Alvarado. Esto se puede atribuir, principalmente, a la moderada velocidad del caudal (0,262 m³/s) [35], [36], y a la influencia de algunos parámetros fisicoquímicos, como, por ejemplo, coliformes totales [36] y fósforo [37], que favorecen el establecimiento y desarrollo de un gran número de organismos. Por otra parte, la baja densidad observada para la localidad QCHE se debe, probablemente, a la intervención antrópica, producto de la extracción mineral observada en campo durante los muestreos realizados, la cual influye drásticamente en el establecimiento de la comunidad fitoperifítica.

En cuanto a la composición de los taxones en la cuenca del río Alvarado, se evidenció que el género dominante a nivel temporal fue *Navicula*, lo cual podría estar relacionado con su capacidad de fijación al sustrato, sus formas de crecimiento y la tolerancia de estos organismos ante los disturbios en los cuerpos de agua (régimen de inundación y enriquecimiento de nutrientes) [38].

Con relación a la diversidad a nivel espacial, las localidades RAP y RACV registraron los valores más altos, lo cual puede estar relacionado con la moderada velocidad del caudal en estas localidades. Esto permite evidenciar la importancia de la velocidad para el establecimiento y la colonización de diversas especies de algas perifíticas [36], [39], [40].

Es importante resaltar que durante el mes de septiembre del 2012 (altas lluvias) no se presentaron lluvias según el registro pluviométrico del mismo año, lo cual corresponde a una situación atípica para la época del año (efecto del fenómeno de El Niño). Al comparar los valores de los índices de diversidad a nivel temporal, se observó que los mayores valores se registraron en septiembre del 2012 (altas lluvias según Ideam). Lo anterior es quizá favorecido por el bajo caudal, la baja turbidez y el incremento de la temperatura observada durante este periodo, factores que favorecieron la estabilidad y colonización de las microalgas perifíticas en esta cuenca [41], [42]. Cabe resaltar que durante esta época se presentó un aumento en la densidad fitoperifítica que no concuerda con otros estudios, pues durante épocas de altas lluvias las densidades disminuyen debido al efecto de arrastre ocasionado por las fuertes corrientes y el incremento del caudal [43]-[45].

A nivel espacial y temporal, los cambios en la estructura de la comunidad fitoperifítica observados en el río Alvarado y algunos tributarios obedecieron, principalmente, a factores como el régimen pluviométrico y a algunas variables ambientales tales como coliformes totales, fosfatos y a la extracción antrópica de material mineral.

Los coliformes totales son factores que favorecen el desarrollo de la estructura de la comunidad algal [36]. Nuestros resultados corroboraron este hecho, ya que esta variable influye de manera significativa en las algas perifíticas. Así mismo, tanto

los coliformes totales como el fósforo, el DBO_5 y los sólidos totales son los factores principales que producen modificaciones en la variación y la densidad de las comunidades fitoperifíticas; estos factores actúan en procesos de eutrofización en ecosistemas de agua dulce [46]-[49], lo que incluye la alcalinidad, los cuales influyeron de manera significativa en la estructura y la dinámica de comunidad fitoperifítica [50].

El efecto de la variable DBO_5 se evidenció particularmente durante la época de bajas lluvias, cuando se observó un incremento en la concentración de materia orgánica por disminución del nivel de agua que influyó en la densidad y la distribución de la comunidad fitoperifítica; resultados similares han sido reportados por [30].

Con relación a los sustratos evaluados, no se identificaron cambios en la estructura y la diversidad de la comunidad. Este comportamiento es similar a lo reportado por algunos estudios [51], [52], debido a la poca especificidad y selectividad que poseen las especies de algas fitoperifíticas frente a estos dos tipos de sustratos naturales.

Conclusiones

En conclusión, los cambios en la composición, estructura y diversidad de la comunidad fitoperifítica en el río Alvarado y algunos tributarios se relacionaron, posiblemente, con algunos factores abióticos tales como baja precipitación, altas temperaturas y una baja turbidez del agua. Estos generaron una heterogeneidad espacial, permanencia y estabilidad de esta biota. Por otra parte, los coliformes totales, alcalinidad, DBO_5 , fósforos y sólidos totales fueron las variables fisicoquímicas que presentaron variación estadística significativa sobre la densidad de esta comunidad; estas variables presentaron una correlación significativa con la temporalidad y las estaciones evaluadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima por su apoyo económico. Al Grupo de Investigación de Zoología de la Universidad del Tolima por su colaboración

tanto en el periodo de campo como en el laboratorio. Igualmente se agradece a los evaluadores por sus observaciones, las cuales contribuyeron de manera significativa al fortalecimiento del manuscrito.

Referencias

- [1] M. Goulart, M. Elías, T. Pereira, J. Campos y M. Peixoto, “Caracterização limnológica e avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tocantinzinho (Go, Brasil),” en *An. IX Congr. Ecol. Br.*, 2009, pp. 1-4.
- [2] R. Wetzel, “Periphyton of aquatic ecosystems”, *Devel. Hydrobiol.*, vol. 17, 1983.
- [3] G. Roldán y J. Ramírez, *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, 2008.
- [4] Y. Montoya y J. Ramírez, “Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia”, *Rev. Biol. Trop.*, vol. 55, n.º 2, pp. 585-593, 2007.
- [5] L. Martínez y J. Donato, “Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia)”, *Cald.*, vol. 25, n.º 2, pp. 337-354, 2003.
- [6] M. Zapata-Anzola y J. Donato-Rondón, “Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota-Colombia)”, *Limnetica*, vol. 24, n.º 3-4, pp. 327-337, 2005.
- [7] L. Castellanos y J. C. Donato, “Biovolumen y sucesión de diatomeas bénticas”, en *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (río Tota, Boyacá)*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2008, pp. 127-144.
- [8] Y. Montoya-Moreno y N. Aguirre-Ramírez, “Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana”, *Hidrobiol.*, vol. 18, n.º 3, pp. 189-197, 2008.
- [9] E. Pedraza-Garzon y J. Donato-Rondon, “Diversity and distribution of diatoms in a mountain stream of the Colombian Andes,” *Caldasia*, vol. 33, n.º 1, pp. 177-191, 2011.
- [10] C. Díaz-Quirós y C. A. Rivera-Rondón, “Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales”, *Caldasia*, vol. 26, n.º 2, 381-394.
- [11] C. P. Andramunio, “Dinámica sucesional y ecología trófica de la comunidad perifítica en dos ambientes del sistema lagunar de Yahuaraca (Amazonas, Colombia)”, tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonía, 2013.
- [12] C. Bustamente-Toro y C. Dávila-Mejía, “Composición y abundancia de la comunidad fitoperifiton en el Río Quindío”, *Rev. Inv. Univ. Quind.*, vol. 18, pp. 15-21, 2008.
- [13] Cortolima, *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Totare*. Ibagué, Tolima, 2009.
- [14] A. Strahler, “Quantitative analysis of watershed geomorphology”, *Eos, Transact. Amer. Geoph. Union*, vol. 38, n.º 6, pp. 913-920, 1957, doi: 10.1029/TR038i006p00913
- [15] W. Tümping y G. Friedrich, *Methoden der biologischen Wasseruntersuchung. Bd 2, Biologische Gewässeruntersuchung*, Spektrum Akademischer, 1999.
- [16] C. Weber, “The preservation of phytoplankton grab samples”, *Transact. Amer. Microscop. Soc.*, vol. 87, n.º 1, pp. 70-81, 1968, doi: <https://doi.org/10.2307/3224339>
- [17] American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA] y Water Environment Federation [WEF], *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D. C.: American Public Health Association, 1999.
- [18] J. Ramírez, *Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, 2000.
- [19] D. Bicudo, “Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifiton”, *Acta Limnol.*, vol. 3, n.º 1, pp. 459-475, 1990.
- [20] F. Hauer y G. Lamberti, *Methods in stream ecology*. San Diego, CA: Academic Press, Elsevier Science, 2011.
- [21] C. Bicudo y M. M. Carlos, *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil*. São Carlos, SP: RiMa, 2006.
- [22] E. Novelo, *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Bacillariophyta Hustedt. Fascículo 102*. Coyoacán, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, 2012.
- [23] E. Bellinger y D. Sigeo, *Freshwater algae: identification, enumeration and use as bioindicators*. Chichester, West Sussex, RU: John Wiley & Sons, 2015.
- [24] M. Guiry y G. Guiry, “AlgaeBase. World-wide electronic publication”, 2020. [En línea]. Disponible en <https://www.algaebase.org>

- [25] M. Barbour, J. Gerritsen, B. Snyder y J. Stribling, *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*, 2ª ed. Washington D. C.: United States Environmental Protection, 1999.
- [26] I. Pardo, R. Abraín, C. Gómez-Rodríguez y E. García-Roselló, *Protocolos de muestreo de comunidades biológicas acuáticas fluviales en el ámbito de las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico*. Vigo, 2010.
- [27] R. D. C. Team, “R: a language and environment for statistical computing”, 2011.
- [28] M. Leira y S. Sabater, “Diatom assemblages distribution in catalan rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors”, *Water Res.*, vol. 39, n.º 1, pp. 73-82, 2005, doi: 10.1016/j.watres.2004.08.034
- [29] P. Ter Braak y C. J. Smilauer, “Canoco for Windows version 4.5”, Wageningen, 2002.
- [30] L. Gallo, L. Flórez-Molina y M. T. Parra-Sánchez, “Reconstrucción de las concentraciones de materia orgánica y nutrientes mediante espectrometría y análisis de diatomeas en tres embalses de Antioquia”, *Rev. Acad. Colomb. Cien. Exac., Físi. Natur.*, vol. 38, n.º 149, pp. 409-416, 2014, doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.67>
- [31] A. Agostinho, S. Thomaz y L. Gomes, “Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams”, *Ecohydrol. Hydrobiol.*, vol. 4, n.º 3, pp. 267-280, 2018.
- [32] S. M. Rahayu, A. Damar, M. Krisanti y M. Rahayu, “Spatial and temporal dynamics of diatoms (Bacillariophyceae) in Jakarta Bay”, *IOP Conf. Ser.: Earth Environm. Sci.*, vol. 1-14, 2019, 241, doi: 10.1088/1755-1315/241/1/012024
- [33] I. L. Aboim, D. F. Gomes y P. O. Mafalda Junior, “Phytoplankton response to water quality seasonality in a Brazilian neotropical river”, *Environm. Monitor. Assessm.*, vol. 192, n.º 1, en. 2020, doi: 10.1007/s10661-019-7882-5
- [34] H. M. de J. Affe *et al.*, “*Nitzschia martiana* (C.A. Agardh) Van Heurck (Bacillariophyceae): distribution modelling and new records along the Brazilian coast”, *Diatom Research*, vol. 34, n.º 1, pp. 23-31, en. 2019, doi: 10.1080/0269249X.2019.1589582
- [35] W. Beck, D. Markman, I. Oleksy, M. Lafferty y N. Poff, “Seasonal shifts in the importance of bottom-up and top-down factors on stream periphyton community structure”, *Oikos*, vol. 128, n.º 5, pp. 680-691, may. 2019, doi: 10.1111/oik.05844
- [36] G. Medeiros, A. Padial, M. Amaral, T. Ludwig y N. Bueno, “Environmental variables likely influence the periphytic diatom community in a subtropical lotic environment”, *Limnol.*, vol. 80, pp. 1-8, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.limn.2019.125718>
- [37] D. Hiatt, J. Backy R. King, “Effects of stream velocity and phosphorus concentrations on alkaline phosphatase activity and carbon: phosphorus ratios in periphyton”, *Hydrobiol.*, vol. 826, n.º 1, pp. 173-182, en. 2019, doi: 10.1007/s10750-018-3727-4
- [38] K. Srivastava, S. Das, V. Thakur, A. Alam y K. Joshi, “Biodiversity and spatio-temporal variation of periphyton of the River Ganga (Gangotri to Vindh-yachal)”, *Int. J. Fish. Aquatic Stud.*, vol. 7, n.º 1, pp. 109-115, 2019.
- [39] T. Mori, Y. Miyagawa, Y. Onoda y Y. Kayaba, “Flow-velocity-dependent effects of turbid water on periphyton structure and function in flowing water”, *Aquatic Sci.*, vol. 80, n.º 1, p. 6, en. 2018, doi: 10.1007/s00027-017-0552-1
- [40] J. Donato y Y. Aragón, “Factors driving diversity and succession of diatom assemblages in a Neotropical rainforest stream”, *Ann. Limnol.-Int. J. Limnol.*, vol. 54, n.º 30, p. 9, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/limn/2018021>
- [41] N. A. Rivers-Moore y R. W. Palmer, “The influence of turbidity and water temperature on black fly species in the middle and lower Orange River, South Africa”, *Canad. J. Zool.*, vol. 96, n.º 6, pp. 614-621, 2018, doi: 10.1139/cjz-2017-0285
- [42] C. González-Paz, L. de Almeida, S. F. Pardo e I. Delgado, “Periphyton colonization and changes in the diatom assemblages of an artificial urban pond”, *Fund. Appl. Limnol.*, vol. 193, n.º 3, 2020, doi: <https://doi.org/10.1127/fal/2020/1282>
- [43] X. Sun, N. Wu, C. Faber y N. Fohrer, “Effects of hydrological variables on structuring morphological trait (cell size) of diatom community in a lowland river”, *Ecol. Indic.*, vol. 94, pp. 207-217, 2018, doi: 10.1016/j.ecolind.2018.06.044
- [44] C. F. M. da Silva, L. C. Torgan y F. Schneck, “Temperature and surface runoff affect the community of periphytic diatoms and have distinct effects on functional groups: evidence of a mesocosms experiment”, *Hydrobiol.*, vol. 839, n.º 1, pp. 37-50, ag. 2019, doi: 10.1007/s10750-019-03992-6
- [45] M. Snell *et al.*, “Strong and recurring seasonality revealed within stream diatom assemblages”, *Scent. Rep.*, vol. 9, n.º 1, pp. 1-7, 2019, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37831-w>

- [46] S. Oliveira y C. Bicudo, "Influence of environmental variables on the diatom communities of oligotrophic reservoirs for public water supply (Guarulhos, Southeast Brazil)", *Acta Limnol. Brasilien.*, vol. 30, pp. 1-15, 2018, doi: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x9417>
- [47] M. Lippert, F. Lansac-Tôha, B. Meira, L. Velho y F. Lansac-Toha, "Structure and dynamics of the proto-plankton community in an environmentally protected urban stream", *Braz. J. Biol.*, pp. 1-16, 2019, doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.222607>
- [48] R. Lambrecht, D. Tavares, T. Santos y C. Ferragut, "Responses of periphyton biomass and nutrient status to experimental enrichment and its relationships with changes in seston nutrient content and chlorophyll-a", *Hydrobiol.*, vol. 836, n.º 1, pp. 141-153, jun. 2019, doi: [10.1007/s10750-019-3947-2](https://doi.org/10.1007/s10750-019-3947-2)
- [49] W. Wurtsbaugh, H. Paerl y W. Dodds, "Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum", *WIREs Water*, vol. 6, n.º 5, p. e1373, sep. 2019, doi: [10.1002/wat2.1373](https://doi.org/10.1002/wat2.1373)
- [50] G. Lai, L. Ector, C. Wetzel y S. Nicola, "Periphytic diatoms of the Mediterranean karst spring Sa Vena (Su Gologone system, Sardinia, Italy): relationships with environmental variables and effects of an extreme flash flood", *Inland Waters*, vol. 8, n.º 3, pp. 284-293, jul. 2018, doi: [10.1080/20442041.2018.1457851](https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1457851)
- [51] T. Santos, C. Ferragut y C. Bicudo, "Relationship among carnivorous macrophyte *Utricularia foliosa* L. and species composition and life forms of periphytic algae community", *Acta Limnol. Brasil.*, vol. 30, pp. 1-10, 2018, doi: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x5217>
- [52] N. Osório, E. Cunha, R. Tramonte, R. Mormul y L. Rodrigues, "Habitat complexity drives the turnover and nestedness patterns in a periphytic algae community", *Limnol.*, vol. 20, n.º 3, pp. 297-307, ag. 2019, doi: [10.1007/s10201-019-00578-y](https://doi.org/10.1007/s10201-019-00578-y)