

Artículo original

Respuesta del ensamblaje de algas fitoperifíticas a la introducción de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en quebradas andinas

Response of phytoplanktonic algal assemblages to the introduction of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Andean streams

Adriana Marcela Forero-Céspedes*, Francisco Antonio Villa-Navarro

Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia

Resumen

En los ecosistemas dulceacuícolas, la introducción de especies exóticas se convierte en un problema a largo plazo, pues altera el flujo de materia y energía en las comunidades bióticas. Los efectos de los organismos introducidos en los ecosistemas acuáticos dependen de la magnitud de las interacciones que suceden entre las especies nativas y las introducidas. Dichas interacciones son complejas y poco se han estudiado en la región andina colombiana. Por tal razón, en el presente estudio se analizaron las variaciones en el ensamblaje de la comunidad de algas fitoperifíticas en quebradas con y sin la presencia de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris) y bajo diferentes tipos de cobertura vegetal (bosques frente a pastos y cultivos). Se registró una densidad total de 119.600 organismos/cm³ distribuidos en cuatro filos, seis clases, 22 órdenes, 31 familias y 41 géneros. Se evaluaron cuatro tratamientos, de los cuales los tratamientos tres y cuatro registraron las mayores densidades de perifiton. La división Bacillariophyta se encontró en los cuatro tratamientos evaluados. No se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos frente a la presencia de trucha arcoíris en las quebradas. El presente estudio presenta información base sobre la influencia de la introducción de *O. mykiss* en la comunidad de algas fitoperifíticas en quebradas andinas.

Palabras clave: Ensamblaje; Algas fitoperifíticas; Trucha arcoíris; Quebradas andinas.

Abstract

In freshwater ecosystems, introducing exotic species has been a long-term problem, altering the flow of matter and energy in biotic communities. The effects of introduced organisms on aquatic ecosystems depend on the magnitude of the interactions between native and introduced species. Such interactions are complex and have been little studied in the Colombian Andean region. In this context, our study analyzed variations in the assembly of phytoplanktonic algal communities in streams with and without *Oncorhynchus mykiss* (rainbow trout) and under different types of vegetation cover (forests versus pastures and crops). A total density of 119,600 organisms/cm³ was recorded, distributed across four phyla, six classes, 22 orders, 31 families, and 41 genera. Of the four treatments evaluated, treatments three and four recorded the highest periphyton densities, with the Bacillariophyta division being the most present in all four treatments evaluated. No significant differences were found between treatments regarding the presence of rainbow trout in the streams. This study presents baseline information on the influence of the introduction of *O. mykiss* on the phytoplanktonic algal community in Andean streams.

Keywords: Assembly; Phytoplanktonic algae; Rainbow trout; Andean streams.

Citación: Forero-Céspedes AM & Villa-Navarro FA. Respuesta del ensamblaje de algas fitoperifíticas a la introducción de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en quebradas andinas. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2026 Mar 19. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.3211>

Editor: Arturo Acero

***Correspondencia:**

Adriana Marcela Forero Céspedes;
adrianam@ut.edu.co

Recibido: 22 de abril de 2025

Aceptado: 5 de febrero de 2026

Publicado en línea: 19 de marzo de 2026



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

Introducción

En las comunidades bióticas el perifiton es un componente fundamental de los procesos de transferencia de energía a través de las cadenas tróficas, el ciclo de nutrientes y la productividad primaria (Montoya-Moreno & Aguirre, 2013; Martínez-Cuesta & Mosquera-Murillo, 2022). Asimismo, las algas fitoperifíticas cumplen un papel fundamental en las redes tróficas de los ecosistemas acuáticos debido a que son la base alimenticia de varios grupos de insectos acuáticos y de algunas especies de peces (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2022a). La composición y la estructura de las algas fitoperifíticas pueden verse influenciadas por el tipo de sustrato, el estado trófico del agua y las alteraciones naturales o antrópicas que presenten las corrientes de agua (Godoy-Lozada & Peláez-Rodríguez, 2020; Ramírez-Restrepo *et al.*, 2022a), ya que conforman una comunidad rica en especies con distintos perfiles de tolerancia ambiental, lo que puede reflejarse en cambios estructurales y funcionales que dependen de las variaciones ambientales del ecosistema (Vilhes *et al.*, 2016), y responden rápidamente a diferentes tensores ambientales (Huertas *et al.*, 2019).

Los ecosistemas acuáticos neotropicales se han visto afectados por la introducción de especies (Taborda *et al.*, 2022) que pueden impactar los ecosistemas de diferentes maneras, afectando la disponibilidad de nutrientes, el flujo de energía a través de las redes alimentarias y la disponibilidad o calidad de los recursos físicos, incluido el hábitat (Crooks, 2002). En Colombia, *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris) fue introducida en 1939 para el poblamiento de los ecosistemas acuáticos de aguas dulces de la zona andina (Pineda *et al.*, 2004), donde se ha convertido en la especie íctica dominante (Jiménez-Segura *et al.*, 2016). Ello también ha afectado el ensamblaje de otros organismos diferentes a los peces. Por ejemplo en los ecosistemas lacustres tropicales de alta montaña, la trucha arcoíris ha producido efectos en la estructura del zooplancton y fitoplancton, así como en la riqueza de algas (Herrera-Martínez *et al.*, 2017). En las quebradas andinas del Ecuador, la presencia de *O. mykiss* se ha relacionado con la disminución de la biomasa de algas (Vimos *et al.*, 2015). Asimismo, Alexiades *et al.* (2022) encontraron que su introducción podría tener implicaciones en la dinámica de los nutrientes en los ecosistemas dulceacuícolas andinos.

En Colombia hay pocos estudios sobre los efectos de *O. mykiss* en el ensamblaje del fitoperifiton en quebradas andinas. Por tal razón, en el presente estudio nos planteamos el objetivo de evaluar cómo varía el ensamblaje de la comunidad de algas fitoperifíticas en quebradas con y sin presencia de *O. mykiss* y con diferente cobertura vegetal (bosque vs. pastos vs. cultivos).

Materiales y métodos

Área de estudio

Los sitios de estudio se localizan en el flanco oriental de la cordillera Central, en el departamento de Tolima (Colombia), cuenca alta del río Magdalena. Cada quebrada fue muestreada una vez entre agosto y septiembre de 2019 y enero y marzo de 2020 en el período de bajas lluvias según los registros de los últimos 30 años tomados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Se muestrearon 13 quebradas en las que se determinó el porcentaje de cobertura en una zona de amortiguamiento de 100 m de radio alrededor del límite aguas arriba del tramo muestreado. Se utilizó la metodología del Corine Land Cover con imágenes satelitales de SAS Planet de 2016 y píxel de cinco metros.

Las trece quebradas seleccionadas se asignaron a cuatro tratamientos (Tabla S1, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3211/5311>): el tratamiento 1 incluyó la cobertura boscosa y la presencia de *Astroblepus micrescens* y/o *Astroblepus trifasciatus* en cuatro quebradas; el tratamiento 2 comprendió la cobertura de pastos y cultivos y presencia de *A. micrescens* en una quebrada; el tratamiento 3 integró la cobertura boscosa y presencia de *O. mykiss*, *A. micrescens* o *A. trifasciatus* en cuatro quebradas, y el tratamiento 4 incluyó la cobertura de pastos y cultivos y la presencia de *O. mykiss* y *A. micrescens*

en cuatro quebradas. Debido a la emergencia del Covid-19 en 2020 y las políticas que el gobierno nacional estableció durante este tiempo, hubo que suspender las salidas de campo programadas para completar el número de quebradas del tratamiento dos.

Metodología de campo y laboratorio

Las muestras de perifiton se recolectaron en hábitats de rápidos, seleccionando al azar seis rocas con un diámetro medio de $20,0 \pm 5,0$ cm que se rasparon y lavaron con agua destilada hasta completar un área de muestra de $48,3$ cm² (Lowe & LaLiberte, 2017). Se combinaron las seis muestras en una sola por estación, que luego se almacenó en una botella de plástico oscura y se preservó con una solución Transeau (seis partes de agua, tres partes de etanol al 90 % y una parte de formol al 37 %) (American Public Health Association - APHA, 2012). Se repitió el mismo proceso de recolección de una muestra para calcular la biomasa de algas (medida como clorofila *a*) y la biomasa de perifiton (medido como peso seco libre de cenizas, PSLC). Las muestras de perifiton se filtraron al vacío *in situ* usando filtros de fibra de vidrio Whatman Millipore previamente calcinados (1 h a 500 °C). Después de este proceso todos los filtros fueron inmediatamente congelados y almacenados.

En el laboratorio los filtros se secaron durante 24 h a 105 °C para obtener el PSLC, luego se pesaron y se calcinaron en una mufla durante 1 h a 500 °C, y se volvieron a pesar. La concentración de clorofila *a* se midió siguiendo la metodología de Steiman *et al.* (2017). El conteo y la determinación del material biológico se hizo con un microscopio invertido OLYMPUS CKX41 (40X), usando una cámara de conteo Sedgwick-Rafter (SR). Para la cuantificación de organismos se revisó la totalidad del área de la placa de cuantificación Sedgwick-Rafter. La densidad total de organismos se presentó como individuos/cm². Para la determinación taxonómica se siguieron las claves y descripciones de Ramírez (2000), Wehr y Sheath (2003), Bicudo y Carlos (2006) y Bellinger y Sigee (2015). Además, la determinación taxonómica de las algas perifíticas se confirmó en la base de datos electrónica Algaebase (Guiry & Guiry, 2019) y Diatombase (Kociolek *et al.*, 2019).

Análisis de datos

En los cuatro tratamientos se compararon la riqueza de perifiton, el peso seco libre de ceniza (PSLC) y la clorofila *a* con una prueba de Kruskal Wallis debido a la ausencia de normalidad en la prueba de Shapiro-Wilks (Santiago & Ramírez, 2023). Se utilizó una ordenación de escala multidimensional no métrica (NMDS) para evaluar las diferencias en la densidad del perifiton por tratamiento. La ordenación NMDS se implementó utilizando la función metaMDS en el paquete vegan (Oksanen *et al.*, 2020), con el índice Bray-Curtis. Se hicieron pruebas post-hoc por pares con la función pairwiseAdonis del paquete pairwiseAdonis (Martinez, 2017).

Para medir la diversidad a nivel de tratamiento se utilizaron los números de Hill (Moreno *et al.*, 2011), para lo cual se efectuaron el análisis de rarefacción y la extrapolación del perifiton usando el número efectivo de especies para los órdenes de diversidad $q=0$, $q=1$ y $q=2$, con el fin de determinar diferencias en la diversidad de especies entre tratamientos (Chao *et al.*, 2014), utilizando el programa estadístico R versión 4.1.1 (R Core Team, 2021) y las librerías Vegan y iNEXT (R Development Core Team, 2021). Para evaluar la variabilidad de densidad del perifiton y la densidad de la división Bacillariophyceae, en los tratamientos uno, tres y cuatro se hicieron regresiones de efectos mixtos con el paquete lme4 (Bates *et al.*, 2015) para la familia de distribuciones de Poisson.

Se hicieron análisis separados por tratamiento y se incluyeron la identidad de quebradas y el sustrato como factores aleatorios, pues no había interés en evaluar la contribución de las quebradas o sustratos individuales muestreados. El tratamiento dos se excluyó porque solo se pudo muestrear una quebrada y no se tenían los suficientes datos para correr el modelo. La significación del efecto principal se estimó mediante la prueba de χ^2 al cuadrado Wald tipo II en el paquete car (Fox & Weisberg, 2011). Se hicieron comparaciones post hoc por pares de Tukey, con el fin de evaluar qué factor había influido más en las densidades por tratamiento, utilizando el paquete lsmeans (Lenth, 2016). El ajuste del modelo se evaluó mediante el criterio de información de Akaike (AIC), el cual compara varios modelos y

selecciona el que mejor provea un ajuste adecuado de los datos (Gutiérrez-Fonseca *et al.*, 2018). El mejor modelo se seleccionó con base en el peso AIC, que calcula la probabilidad relativa del modelo (Gutiérrez-Fonseca *et al.*, 2018).

Resultados

Se obtuvo una densidad total de 119.600 organismos/cm³ distribuidos en cuatro filos, seis clases, 22 órdenes, 31 familias y 41 géneros (Tabla S2, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3211/5311>). Los tratamientos tres y cuatro registraron las mayores densidades de perifiton (Figura 1). La división Bacillariophyta se encontró en los cuatro tratamientos evaluados y registró la mayor densidad relativa en los tratamientos uno, dos y tres. Asimismo, la división cianobacteria se encontró en todos los tratamientos, registrándose la mayor densidad en el tratamiento cuatro. Charophyta y Chlorophyta se encontraron solamente en los tratamientos tres y cuatro, registrándose las mayores densidades relativas en el tratamiento cuatro (Figura 2). La riqueza del perifiton no fue

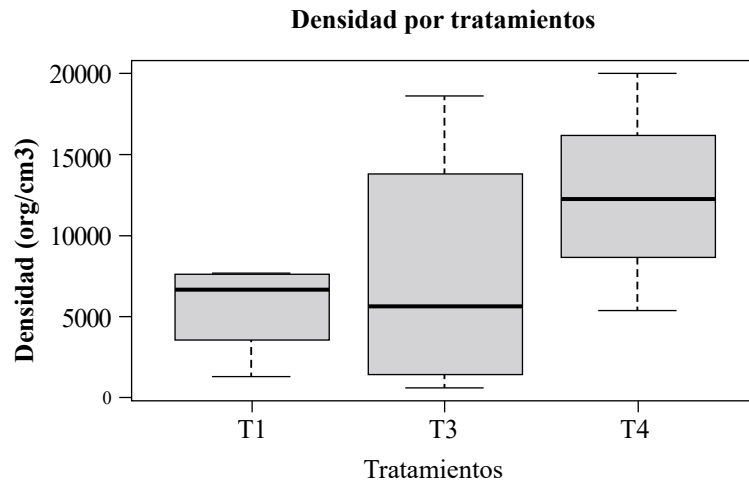


Figura 1. Densidad de perifiton por tratamientos

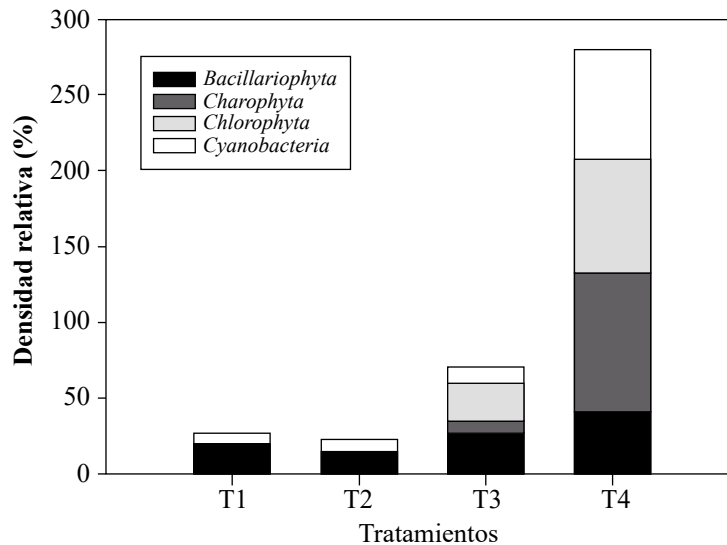


Figura 2. Densidad relativa de las divisiones del perifiton presentes en los cuatro tratamientos

significativamente diferente entre tratamientos ($F= 0,73$, $p=0,50$). El tratamiento cuatro registró la riqueza más alta (**Figura 3**) y la división Bacillariophyta el mayor número de géneros en todos los tratamientos (**Tabla 1**).

La prueba de nMDS de la densidad de perifiton mostró superposición entre los tratamientos uno y tres (estrés nMDS=0,11) (**Figura 4**). El análisis PERMANOVA confirmó que no había diferencias estadísticamente significativas en la densidad del perifiton entre los tratamientos ($F=0,88$, $p= 0,06$). A partir de la extrapolación del número de especies (0D) por tratamiento, se determinó que el tratamiento cuatro (47 géneros) registró el valor más alto de riqueza. A partir del número de especies típicas o comunes (1D) se evidenció que el tratamiento uno obtuvo el mayor registro. Con respecto al número de especies dominantes (2D), el valor más elevado se registró en el tratamiento uno (**Figura 5**).

No se encontraron diferencias significativas en la biomasa de la biopelícula entre tratamientos, registrándose los valores más altos en los tratamientos dos y cuatro. Tampoco se encontraron diferencias estadísticas en la clorofila *a* entre tratamientos, registrándose los valores más altos en el uno y el cuatro (**Tabla 2**).

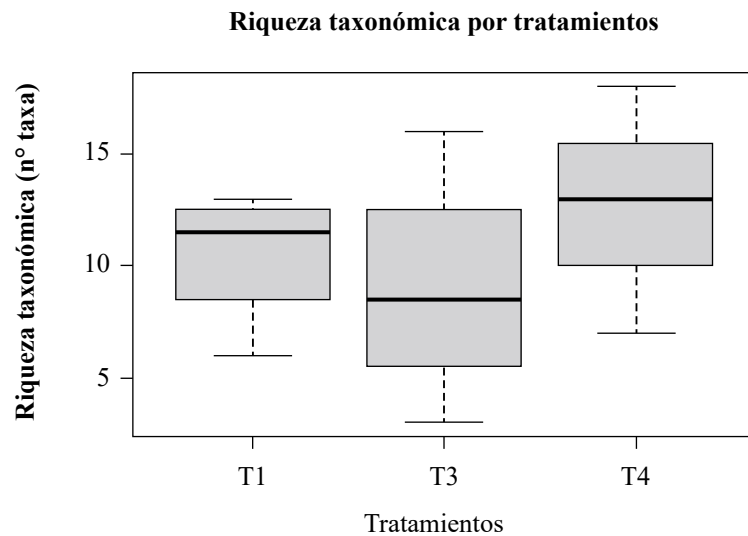


Figura 3. Riqueza del perifiton por tratamientos

Tabla 1. Número de géneros de perifiton encontrados por tratamiento

Tratamiento	División	Número de géneros
1	Bacillariophyta	20
	Cyanobacteria	3
2	Bacillariophyta	8
	Cyanobacteria	3
3	Bacillariophyta	17
	Charophyta	2
	Chlorophyta	1
	Cyanobacteria	5
4	Bacillariophyta	18
	Charophyta	3
	Chlorophyta	2
	Cyanobacteria	6

Los modelos con los más bajos AIC explicaron la variación de la abundancia y la riqueza del perifiton (**Tabla 3**). Los modelos para la densidad del perifiton mostraron que la clase, el pH, la saturación de oxígeno y el peso seco libre de ceniza (PSLC) tuvieron un efecto positivo en la densidad (**Tabla S3**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3211/5311>). El modelo para la densidad de Bacillariophyceae en el tratamiento uno evidenció que los géneros y el PSLC tuvieron un efecto positivo. Asimismo, el modelo para el tratamiento tres mostró que los géneros también tuvieron un efecto positivo y el modelo para el tratamiento cuatro reveló que los géneros y el pH tuvieron un efecto positivo en la densidad de Bacillariophyceae (**Tabla S4**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3211/5311>).

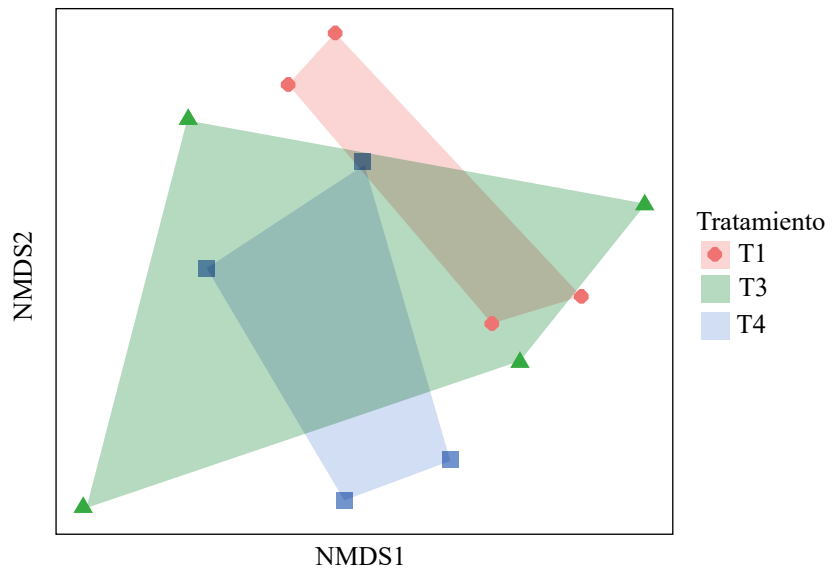


Figura 4. Análisis nDMS (escala no métrica multidimensional) de la densidad del perifiton por tratamientos

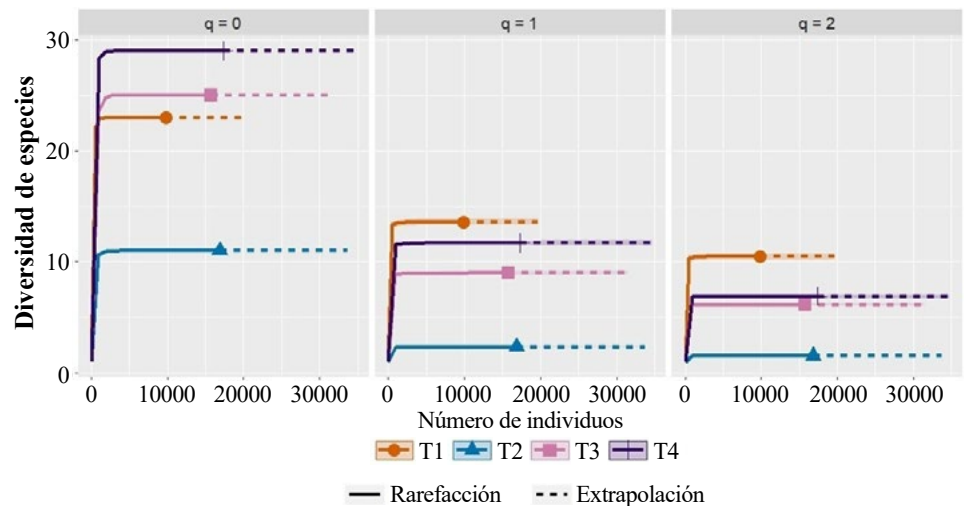


Figura 5. Número efectivo de especies de orden q=0 (0D), q=1 (1D) y q=2 (2D) de los tratamientos evaluados

Tabla 2. Media \pm desviación estándar del peso seco libre de ceniza (PSLC) y la clorofila *a* por tratamientos

Variable	T1	T2*	T3	T4	H	p
PSLC	3,3 \pm 1,0	4,2	3,6 \pm 0,6	4,1 \pm 1,7	11	0,44
Clorofila <i>a</i>	597,0 \pm 6,83	139,3	482,6 \pm 260,1	572,1 \pm 232,0	9,6	0,38

Tabla 3. Resultado de modelos AIC (Akaike's Information Criteria) para la densidad del perifiton y de Bacillariophyceae en los tratamientos unos, tres y cuatro

Variable Respuesta	Tratamiento	Parámetros del modelo	AICc	Delta AICc	Peso
Densidad del perifiton	1	Densidad \sim Clase + pH + Oxígeno + PSLC + (1 quebrada)	621,40	0,00	0,33
	3	Densidad \sim Clase + pH + Oxígeno + PSLC + (1 quebrada)	541,90	0,00	0,33
	4	Densidad \sim Clase + pH + Oxígeno + PSLC + (1 quebrada)	822,8	0,00	0,33
Densidad de Bacillariophyceae	1	Densidad \sim Género + PSLC + (1 quebrada)	407,50	0,00	0,55
	3	Densidad \sim Género + (1 quebrada)	310,0	0,00	0,98
	4	Densidad \sim Género + pH + (1 quebrada)	406,00	0,00	0,56

Discusión

La división Bacillariophyta fue la de mayor abundancia y riqueza en todos los tratamientos. Estos organismos usualmente son abundantes en los ecosistemas lóticos (Huertas *et al.*, 2019) y poseen estrategias y estructuras mucilaginosas que les permiten soportar la presión del caudal (Gordillo-Guerra *et al.*, 2021). Asimismo, prefieren el sustrato de roca, ya que les ofrece estabilidad y les permite obtener más intensidad lumínica (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2022a). La división Cyanobacteria también estuvo presente en todos los tratamientos evaluados, lo que podría estar relacionado con la amplia distribución ecológica y geográfica de este grupo asociada a la versatilidad de su metabolismo y a varias adaptaciones estructurales y enzimáticas (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2022b). La gran abundancia de organismos de Chlorophyta y Charophyta en el tratamiento cuatro se relacionaría con las corrientes, que llevan gran cantidad de materia orgánica y tienen baja mineralización (Pinilla, 1998).

En la nMDS no se reflejaron diferencias en la densidad del perifiton, lo que muestra que el tipo de cobertura o la presencia de la trucha no cambió de manera significativa la densidad del perifiton. Una mayor riqueza y diversidad de perifiton también se registró en los tratamientos tres y cuatro. La colonización de estos organismos se ve favorecida por el caudal, los nutrientes y la intensidad de la luz en las quebradas evaluadas (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2022).

El pH, el oxígeno y el peso seco libre de ceniza (PSLC) ejercen una gran influencia en la densidad del perifiton y de los organismos pertenecientes al grupo Bacillariophyceae, los cuales son muy sensibles a las condiciones ambientales y a la química del agua, pues estas variables pueden afectar su fisiología, así como su ensamblaje en los cuerpos de agua (Martínez-Cuesta & Mosquera-Murillo, 2022).

Conclusiones

El ensamblaje de la comunidad de algas fitoperifíticas en las quebradas evaluadas no presentó una variación importante relacionada con la presencia de la trucha arcoíris. La división Bacillariophyta fue la más abundante en todos los tratamientos evaluados, evidenciando su gran capacidad para soportar los cambios en los cuerpos lóticos. Nuestro estudio presenta información base sobre la influencia de la introducción de *O. mykiss* en la comunidad de algas fitoperifíticas en quebradas andinas colombianas, por lo que se recomienda hacer estudios posteriores a largo plazo que permitan considerar la variación temporal en el establecimiento y la mitigación de los efectos de la introducción de especies invasoras en los ecosistemas acuáticos.

Información suplementaria

Ver información suplementaria en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3211/5311>

Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima, y a Víctor Manuel Morales, Heriberto Valencia, Mayra Rojas, Kelly Huertas, José Luis Lozano, Mario Daza, María Cadena y Chabelí Villabón por su apoyo en campo. AMFC agradece al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (convocatoria 755 de 2016 para la Formación de Capital Humano de Alto Nivel para el Departamento del Tolima-Colombia) por la financiación de este trabajo.

Contribución de los autores

AMFC: trabajo de campo, determinación de las muestras, análisis de datos e interpretación de los resultados, y redacción del manuscrito; **FAVN:** supervisión continua del trabajo de investigación en campo y en el laboratorio y corrección del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

- American Public Health Association (APHA).** (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22th ed) (Editores: E. W. Rice, R. B. Baird, A. D. Eaton and L. S. Clesceri). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF)
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B.M., Walker, S.** (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67,1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bellinger, E. & Sigee, D.** (2015). *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. John Wiley.
- Bicudo, C. & Menezes, M.** (2006). Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. São Carlos, SP: RiMa.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Colwell, R. K., Ellison, A. M.** (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45-67.
- 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. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 437-451. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1098>
- Gordillo-Guerra, J. G., López-Delgado, E. O., Parra-Trujillo Y. T., Reinoso-Flórez, G.** (2021). Composición y estructura de la comunidad de algas perifíticas del río Alvarado y algunos tributarios (Tolima, Colombia). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 16(1), 31–42. <https://doi.org/10.18359/rfcb.4870>

- Guiry, M. & Guiry, G.** (2019). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland. <http://www.algaebase.org>
- Gutiérrez-Fonseca, P. E., Ramírez, A., Pringle, C. M.** (2018). Large-scale climatic phenomena drive fluctuations in macroinvertebrate assemblages in lowland tropical streams, Costa Rica: The importance of ENSO events in determining long-term (15y) patterns. *PLoS ONE*, 13(2): e0191781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191781>
- Kociolek, J., Balasubramanian, K., Blanco, S., Coste, M., Ector, L., Liu, Y., Kulikovskiy, M., Lundholm, N., Ludwig, T.** (2019). DiatomBase. <http://www.diatombase.org>
- Herrera-Martínez, Y., Paggi, J., García, C.** (2017). Cascading effect of exotic fish fry on plankton community in a tropical Andean high mountain lake: a mesocosm experiment. *Journal of Limnology*, 76 (2). <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2017.1488>
- 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. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.722>
- Lenth, R. V.** (2016) Least-squares means: the R package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, 69(1), 1–33.
- Lowe, R. L. & LaLiberte, G. D.** (2017). Benthic stream algae: Distribution and structure. En: Hauer, F. R. & G. A. Lamberti (Eds). *Methods in Stream Ecology* (193-222), volume 1: Ecosystem Structure. Tercera Edición. Elsevier.
- Martínez, A. P.** (2017). pairwiseAdonis: pairwise multilevel comparison using Adonis. R package version version 0.4.
- Martínez-Cuesta, L. M. & Mosquera-Murillo, Z.** (2022). Variación espacial de la comunidad de algas del perifiton en quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(178), 192-205. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1593>
- Montoya-Moreno, Y. & Aguirre, N.** (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 16 (3), 91-117.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., Pavón, N.** (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1249-1261.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P., O'Hara, R.B., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, H., Szoecs, E., Wagner, H.** (2020). Package “vegan”. R package version 2.5-7. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/>
- Pinilla, G.** (1998). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones.
- Ramírez, J.** (2000). *Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias*. Universidad de Antioquia.
- Ramírez-Restrepo, J.J., Montoya-Moreno, Y., Roldán-Pérez, G.** (2022a). Cap. 15: Ensamble de perifiton. pp 449- 469. En: G. Roldán Pérez, J.J. Ramírez Restrepo. *Fundamentos de limnología neotropical*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Colección Julio Carrizosa Valenzuela No. 18).
- Ramírez-Restrepo, J.J., Bustamante-Gil, C., Hernández-Atilano, E., López-Muñoz, M. T., Medina-Tombé, M. F., Palacio-Betancur, H. M.** (2022b). Cap. 14: El ensamble fitoplanctónico. En: G. Roldán Pérez, J.J. Ramírez Restrepo. *Fundamentos de limnología neotropical*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Colección Julio Carrizosa Valenzuela No. 18).
- Santiago-Vera, J. & Ramírez, A.** (2023). Meiofauna in tropical montane streams: Biotic and abiotic factors regulating communities. *Acta Biológica Colombiana*, 28(2), 229-238.
- Steinman A. D., Lamberti, G. A., Leavitt, P. R., Uzarski, D. G.** (2017). Biomass and pigments of benthic algae. En: Hauer, F. R. & G. A. Lamberti (Eds). *Methods in Stream Ecology, volume 1: Ecosystem Structure* (pp. 223-241), Tercera Edición. Elsevier.
- Vilches C., Casco M. A., 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): 579-95. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v51.n4.16335>