

Efecto de la introducción de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) sobre la diversidad de insectos acuáticos en quebradas andinas

Effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) introduction on the diversity of aquatic insects in andean streams

Adriana Marcela Forero-Céspedes¹ <https://orcid.org/0000-0001-5185-5891>
Francisco Antonio Villa-Navarro¹, favilla@ut.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-5913-188X>

¹. Grupo de Investigación en Zoología (GIZ), Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Tolima, Colombia.

Recibido: Junio 06 de 2025

Aceptado: Octubre 14 de 2025

*Correspondencia del autor: Adriana Marcela Forero-Céspedes

E-mail: adrianam@ut.edu.co

<https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i37.335>

Resumen

Introducción: Los peces de agua dulce han sido ampliamente introducidos en los ecosistemas acuáticos, generando pérdidas en la diversidad, alteraciones ecológicas y efectos socioeconómicos. Entre estas especies, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) ha sido introducida en múltiples regiones, incluyendo los Andes colombianos, donde se presume que afecta negativamente a las comunidades de insectos acuáticos. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la introducción de la trucha arcoíris sobre la diversidad de insectos acuáticos en quebradas andinas. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó en el flanco oriental de la cordillera Central, en el Tolima (Colombia), entre 2000 y 2600 m de altitud, cuenca alta del río Magdalena, con muestreo aleatorio estratificado según la cobertura del suelo (bosque, pastos y cultivos), seleccionando 13 quebradas durante la época de baja precipitación. Las quebradas se distribuyeron en cuatro tratamientos basados en la cobertura (bosque o pastos/cultivos) y la presencia de *Astroblepus micrurus*, *A. trifasciatus* y trucha arcoíris. **Resultados.** Se registraron 9095 individuos, distribuidos en los órdenes Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, 31 familias y 58 géneros, siendo los sustratos roca y hojarasca los favoritos por estos organismos. Diptera y Trichoptera registraron el mayor número de géneros en todos los tratamientos evaluados. La abundancia de insectos registrada por tratamientos fue T1= 1585 individuos, T2=980 individuos, T3= 2482 individuos y T4= 4048 individuos. No se encontraron diferencias significativas en las abundancias de los órdenes, pero si hay diferencia significativa en la riqueza de insectos acuáticos entre tratamientos. **Conclusión.** El presente estudio muestra como la introducción de la trucha arcoíris influye en la diversidad de insectos acuáticos, generando información base para diseñar estrategias para el manejo de esta especie introducida.

Palabras clave: Insectos acuáticos, introducción de especies, peces, quebradas andinas.

Abstract

Introduction. Freshwater fish have been widely introduced into aquatic ecosystems, resulting in diversity losses, ecological alterations, and socioeconomic impacts. Among these species, the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) has been introduced in multiple regions, including the Colombian Andes, where it is presumed to negatively affect aquatic insect communities. **Objective.** To evaluate the effect of rainbow trout introduction on the diversity of aquatic insects in Andean streams. **Materials and methods.** The study was conducted on the eastern flank of the Central Cordillera, in Tolima (Colombia), between 2000 and 2600 m above sea level, in the upper Magdalena River basin. Stratified random sampling was used, on land cover (forest and non-forest), selecting 13 streams during the low rainfall season. The streams were divided into four treatments based on cover (forest or pasture/crops) and the presence of *Astroblepus micrascens*, *A. trifasciatus*, and rainbow trout. **Results.** 9,095 individuals were recorded, distributed across the orders Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera, 31 families, and 58 genera, with rock and leaf litter being the preferred substrates for these organisms. Diptera and Trichoptera recorded the highest number of genera in all the treatments evaluated. The abundance of insects recorded by treatment was T1 = 1585 individuals, T2 = 980 individuals, T3 = 2482 individuals, and T4 = 4048 individuals. No significant differences were found in the abundance of the orders, but there were significant differences in aquatic insect richness between treatments. **Conclusions.** This study shows how the introduction of rainbow trout influences aquatic insect diversity, providing information to inform management strategies for this introduced species.

Keywords: aquatic insects, introduced species, fish, Andean streams

Introducción

La introducción de especies, es una de las más grandes amenazas de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad a nivel mundial (1,2). Los peces de agua dulce se encuentran entre los grupos más comúnmente introducidos, generando un cambio importante y disminución de la diversidad a nivel global, así como también impactos ecológicos y/o socioeconómicos (3,2). En ecosistemas acuáticos, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) ha sido introducida extensamente a nivel global, incluyendo zonas tropicales, donde ha provocado impactos significativos en los ecosistemas locales (1). Las investigaciones sobre especies introducidas en ecosistemas de agua dulce se han centrado principalmente en aspectos como la distribución geográfica, las rutas de invasión y los distintos niveles de organización biológica (4-10). No obstante, aún es limitada la atención dedicada a evaluar las consecuencias ecológicas, incluyendo las interacciones directas e indirectas que generan estas especies en los ecosistemas altoandinos.

En quebradas venezolanas Flecker (11) comprobó que la presencia de la trucha arcoíris modificaba la deriva de los insectos acuáticos, también Albariño y Buria (12) demostraron cómo la distribución de los efemerópteros se alteraba por las interacciones con la trucha arcoíris y Serra-Greppi y Molineri (13) encontraron que en las quebradas argentinas la presencia de la trucha arcoíris

redujo la deriva de insectos acuáticos. Esta especie fue introducida en Colombia a principios del siglo pasado, y aún se tiene escasa información sobre el efecto de su introducción sobre los ecosistemas acuáticos y sus comunidades en los andes colombianos (14), siendo pocos los estudios enfocados a entender el efecto de la trucha arcoíris sobre la diversidad de insectos acuáticos, los cuales son muy importantes para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos ya que son la principal fuente de alimento para los peces y algunos invertebrados, son descomponedores de la materia orgánica y son indicadores de la calidad del agua. Por tal razón el presente estudio evalúa el efecto de la introducción de la trucha arcoíris sobre la diversidad de insectos acuáticos en quebradas andinas colombianas. Probamos la hipótesis de que la presencia de la trucha arcoíris altera la diversidad taxonómica de insectos acuáticos al disminuir la riqueza y abundancia de los géneros más sensibles cambios en el ecosistema y facilitando que aumenten aquellas taxas más resistentes aquellos cambios. El presente trabajo genera información base que permitirá tomar decisiones acertadas sobre el manejo de esta especie introducida.

Materiales y métodos

Área de estudio. Los sitios de estudio se localizaron en el flanco oriental de la cordillera central, en el departamento de Tolima (Colombia), cuenca superior del Río

Magdalena. Se estableció un rango de elevación para el muestreo entre 2000 y 2600 m.s.n.m, donde se diseñó un muestreo aleatorio estratificado (15), donde los estratos son cobertura boscosa y cobertura de pastos y cultivos. Se muestrearon 13 quebradas (Figura 1), en el periodo de baja precipitación para obtener un caudal que permita garantizar la colecta de los organismos (16). Las trece quebradas seleccionadas se distribuyeron de la siguiente manera: Tratamiento 1 (Quebradas con cobertura boscosa y presencia de *A. micrascens* y/o *A. trifasciatus*), Tratamiento 2 (Quebradas con cobertura de pastos y cultivos y presencia de *A. micrascens*), Tratamiento 3 (Quebradas con cobertura boscosa y presen-

cia de trucha arcoíris, *A. micrascens* y/o *A. trifasciatus*), Tratamiento 4 (Quebradas con cobertura de pastos y cultivos y presencia de trucha arcoíris y *A. micrascens*) (17). El diseño original establecía muestrear cuatro quebradas en cada tratamiento, sin embargo, debido a la emergencia del Covid-19 del año 2020 y las políticas locales del momento, se debieron suspender las salidas de campo que se tenía programadas para completar el número de quebradas del tratamiento dos. Para garantizar la presencia/ausencia de trucha arcoíris en cada quebrada evaluada se realizó la colecta peces, utilizando la metodología propuesta en Forero et al., (17) en donde realizamos este trabajo al mismo tiempo.

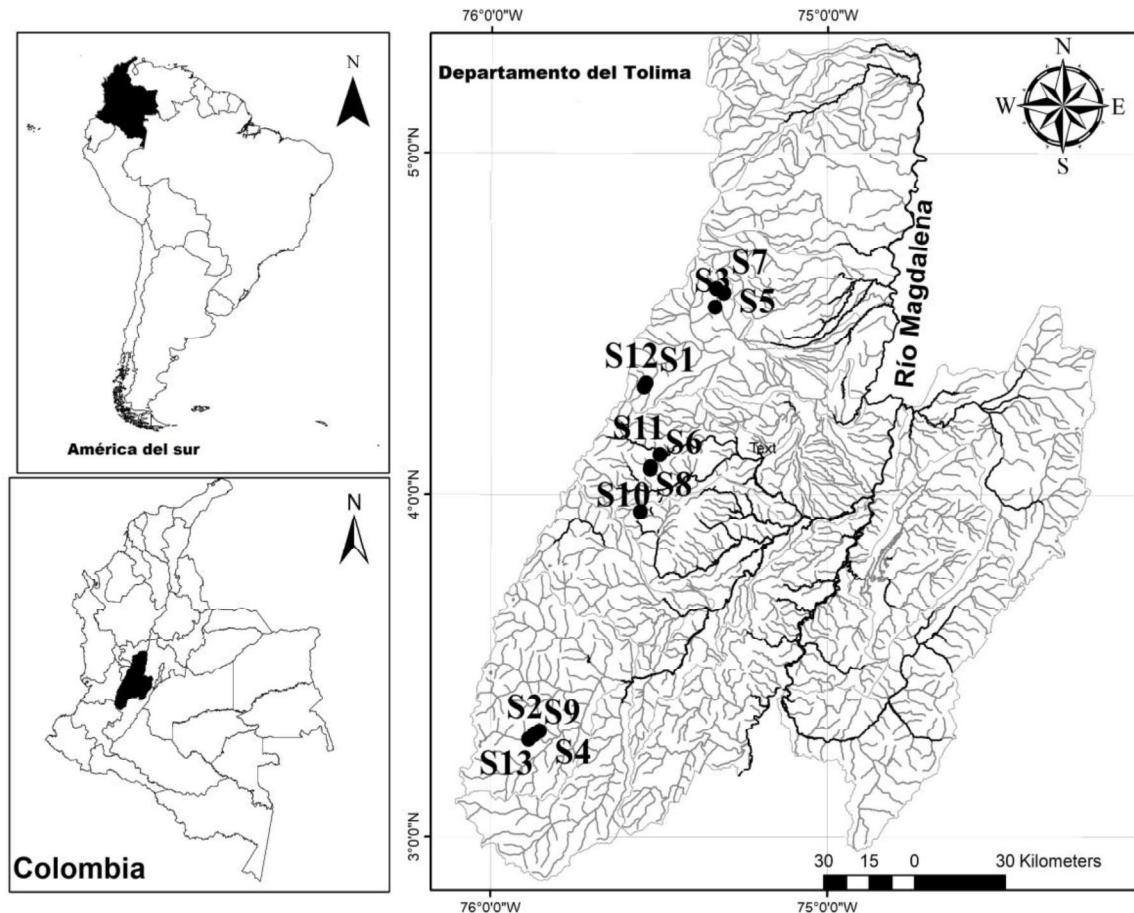


Figura 1. Quebradas de muestreo. Fuente: 17

Trabajo de campo y laboratorio.

Los insectos acuáticos se recolectaron utilizando una red Surber (0.09 m², 250 µm de tamaño de malla) en rápidos seleccionados al azar en 100 metros. Se evaluaron los sustratos grava, roca, arena y hojarasca. Todo el material fue preservado en etanol al 96% y almacenados en bolsas de plásticas. Se llevó al laboratorio para su limpieza y separación y se determinaron los organismos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Diptera, por ser los insectos acuáticos más abundantes y diversos en el rango altitudinal estudiado según lo revisado en la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima sección macroinvertebrados acuáticos. Los insectos fueron contados e identificados al nivel de género (Chironomidae se identificó a nivel de subfamilia) mediante las

claves de Posada-García (18), Domínguez *et al.* (19), Domínguez y Fernández (20), Springer (21), Gutiérrez-Fonseca (22) y López-Delgado *et al.* (23). Los organismos fueron depositados en la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima, sección macroinvertebrados acuáticos (CZUT-Ma).

Se midieron *in situ* cuatro parámetros fisicoquímicos con un dispositivo multiparamétrico HANNA HI98194: temperatura del agua (°C), pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{m}$) y oxígeno disuelto (mg/L). Las variables ambientales como la velocidad del agua (m/s) se midieron con un flu-jumetro (General Oceanics-modelo 2030R y 2030R6), y la profundidad del agua (m) y el ancho de la corriente (m) se midieron con cinta métrica. El caudal de agua (m^3/s) se calculó siguiendo el manual del operador de General Oceanics.

Análisis de datos

Se comparó en los cuatro tratamientos la riqueza de insectos acuáticos, las abundancias de los órdenes Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por sustratos con una prueba de Kruskal Wallis debido a la falta de normalidad de acuerdo a la prueba de Shapiro-Wilks

(24). Para medir la diversidad a nivel de tratamientos se utilizaron los números de Hill (25), para esto, se realizó el análisis de rarefacción y extrapolación de insectos acuáticos usando el número efectivo de especies para los órdenes de diversidad $q=0$, $q=1$ y $q=2$, con el fin de identificar diferencias en la diversidad de especies (26) entre tratamientos utilizando el programa estadístico R (versión 4.1.1, R Core Team 2021) y las librerías Vegan y iNEXT. (27).

Los datos de oxígeno disuelto, ancho, profundidad y velocidad de la corriente no fueron agregados en los análisis de datos por estar derivadas de otras variables o ser parte de variables compuestas. La comparación de las variables fisicoquímicas y ambientales, se analizaron a través de la prueba de Kruskall-Wallis, para evaluar si había diferencias estadísticas de los valores obtenidos entre tratamientos.

Resultados

Se registró un total de 9095 individuos, distribuidos en los órdenes Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, 31 familias y 58 géneros. Los tratamientos dos y cuatro registraron las mayores abundancias (Figura 2).

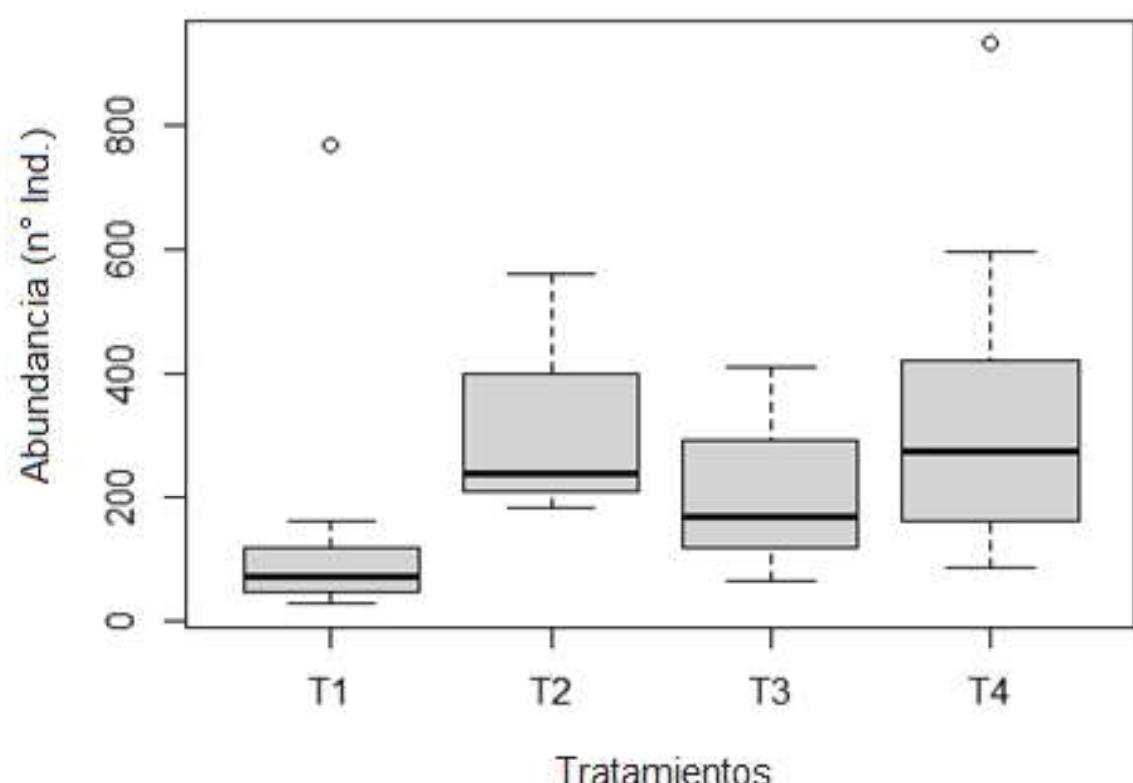


Figura 2. Abundancia de insectos acuáticos por tratamientos. Fuente: Autora (2025)

A nivel de órdenes, la mayor abundancia media la registro el orden Diptera en el tratamiento dos, Ephemeroptera en los tratamientos dos y tres, Plecoptera en el tratamiento tres, y Trichoptera el tratamiento cuatro, así mismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las abundancias de los órdenes evaluados por tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Media ± Desviación estándar de la abundancia por órdenes por tratamientos. La variación se evalúo con la prueba no paramétrica de Kruskall-wallis. Fuente: Autora (2025).

Orden	T1	T2	T3	T4	H	p
Diptera	45.3 ± 35.2	239.7 ± 239.7	91.9 ± 39.1	174.6 ± 98.1	35.60	0.30
Ephemeroptera	37.2 ± 59.7	52.7 ± 21.0	52.0 ± 41.3	50.1 ± 29.1	30.50	0.38
Plecoptera	6.7 ± 6.2	3.7 ± 3.7	7.8 ± 4.7	4.0 ± 3.4	19.43	0.14
Trichoptera	53.5 ± 122.3	30.7 ± 21.5	55.8 ± 75.5	118.9 ± 177.4	28.22	0.39

La riqueza de insectos acuáticos fue significativamente diferente entre tratamientos (Anova, $F= 4.05$, $p=0.01$). Los tratamientos tres y cuatro registraron la riqueza más alta (Figura 3), y los órdenes Trichoptera y Diptera registraron el mayor número de géneros en todos los tratamientos (Tabla 2).

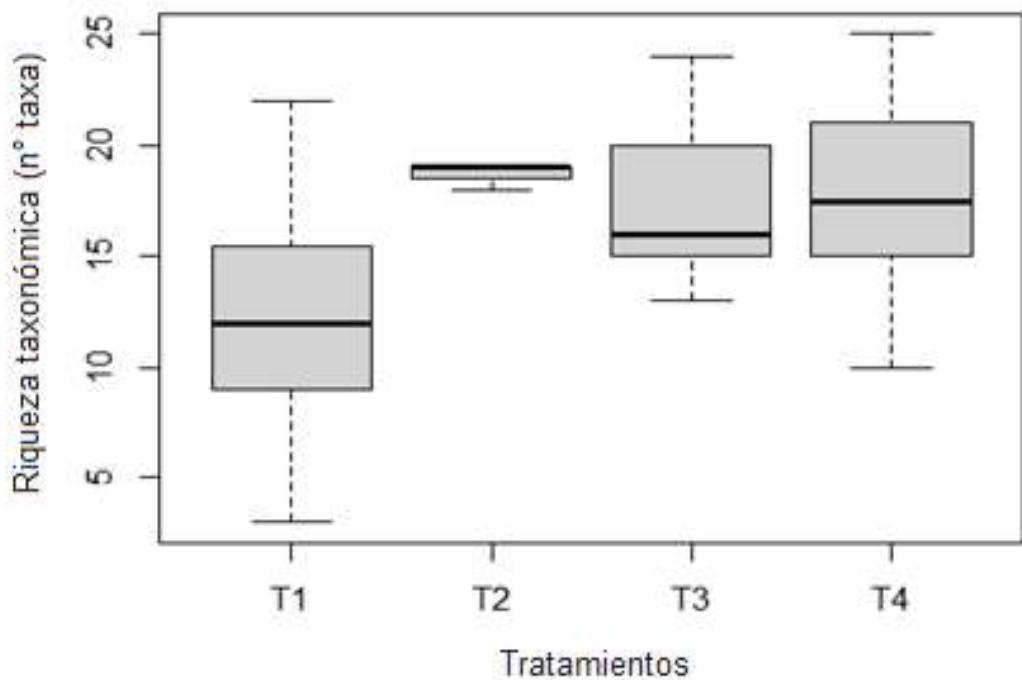


Figura 3. Riqueza de insectos acuáticos por tratamientos. Fuente: Autora (2025)

Tabla 2. Números de géneros de insectos acuáticos encontrados por tratamiento.

Tratamiento	Orden	Número de géneros
1	Trichoptera	14
	Diptera	11
	Ephemeroptera	9
	Plecoptera	1
2	Diptera	10
	Trichoptera	8
	Ephemeroptera	6
	Plecoptera	1
3	Trichoptera	15
	Diptera	14
	Ephemeroptera	12
	Plecoptera	1
4	Diptera	18
	Trichoptera	14
	Ephemeroptera	14
	Plecoptera	1

Fuente: Autora (2025)

A nivel de sustratos, en el tratamiento uno los órdenes Diptera, Ephemeroptera y Plecoptera registraron la mayor densidad relativa en el sustrato hojarasca y el orden Trichoptera en el sustrato roca. En el tratamiento dos, los órdenes Diptera y Trichoptera registraron la mayor densidad relativa en el sustrato roca y los órdenes Ephemeroptera y Plecoptera registraron la mayor densidad relativa en el sustrato hojarasca. En el tratamiento tres, el orden diptera registro la mayor densidad relativa en el sustrato roca, el orden Ephemeroptera en el sustrato grava y los órdenes Plecoptera y Trichoptera en el sustrato hojarasca. En el tratamiento cuatro, los órdenes Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera presentaron la mayor densidad relativa en el sustrato roca y los órdenes Plecoptera y Ephemeroptera en el sustrato hojarasca (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de densidad relativa de los órdenes de insectos acuáticos por tratamiento.

Tratamiento	Ordenes	% Arena	% Grava	% Hojarasca	% Roca
1	Diptera	11.21	9.19	42.28	37.32
	Ephemeroptera	9.64	21.30	44.17	24.89
	Plecoptera	5.00	23.33	61.67	10.00
	Trichoptera	2.62	9.53	9.35	78.50
2	Diptera	6.12	12.38	16.13	65.37
	Ephemeroptera	18.35	17.72	40.51	23.42
	Plecoptera	0.00	45.45	54.55	0.00
	Trichoptera	5.43	22.83	20.65	51.09
3	Diptera	7.16	16.68	27.47	48.69
	Ephemeroptera	15.71	32.05	29.81	22.44
	Plecoptera	8.14	29.07	60.47	2.33
	Trichoptera	2.69	5.38	60.54	31.39
4	Diptera	8.64	15.70	25.49	50.17
	Ephemeroptera	12.98	19.97	33.11	33.94
	Plecoptera	4.55	45.45	50.00	0.00
	Trichoptera	2.45	9.94	20.18	67.43

Fuente: Autora (2025)

En el análisis fisicoquímico, el tratamiento 2, registró los valores promedios más altos de las variables fisicoquímicas y ambientales de todo el estudio (Tabla 4). Así mismo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las variables fisicoquímicas evaluadas por tratamientos, a excepción de los valores de conductividad (Kruskal-Wallis test, $P= 0.003$).

Tabla 4. Media \pm Desviación estándar de las variables físicas, químicas e hidráulicas por tratamientos.

Variable	T1	T2	T3	T4
pH (unidades)	7.98 ± 0.6	8.53 ± 0.12	7.56 ± 0.43	7.6 ± 0.57
Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	80.72 ± 75.54	374.6 ± 4.16	118.91 ± 94.77	88.8 ± 46.44
Saturación de oxígeno (%)	57.17 ± 30.99	83.78 ± 0.29	64.19 ± 17.75	60.85 ± 24.36
Temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$)	14.31 ± 0.79	15.26 ± 0.3	13.84 ± 0.88	14.48 ± 1.62
Caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	0.61 ± 0.45	1.52 ± 0.48	1.14 ± 1.54	0.62 ± 0.56

Fuente: Autora (2025)

A partir de la extrapolación del número de especies (${}^0\text{D}$) por tratamiento, se determinó que el tratamiento tres (43 géneros) y cuatro (47 géneros) registraron los valores más altos de riqueza. A partir del número de especies típicas o comunes (${}^1\text{D}$) se evidenció que los tratamientos tres y cuatro obtuvieron los mayores registros. Con respecto al número de especies dominantes (${}^2\text{D}$), los tratamientos con los valores más elevados fueron el tres y el cuatro (Figura 4).

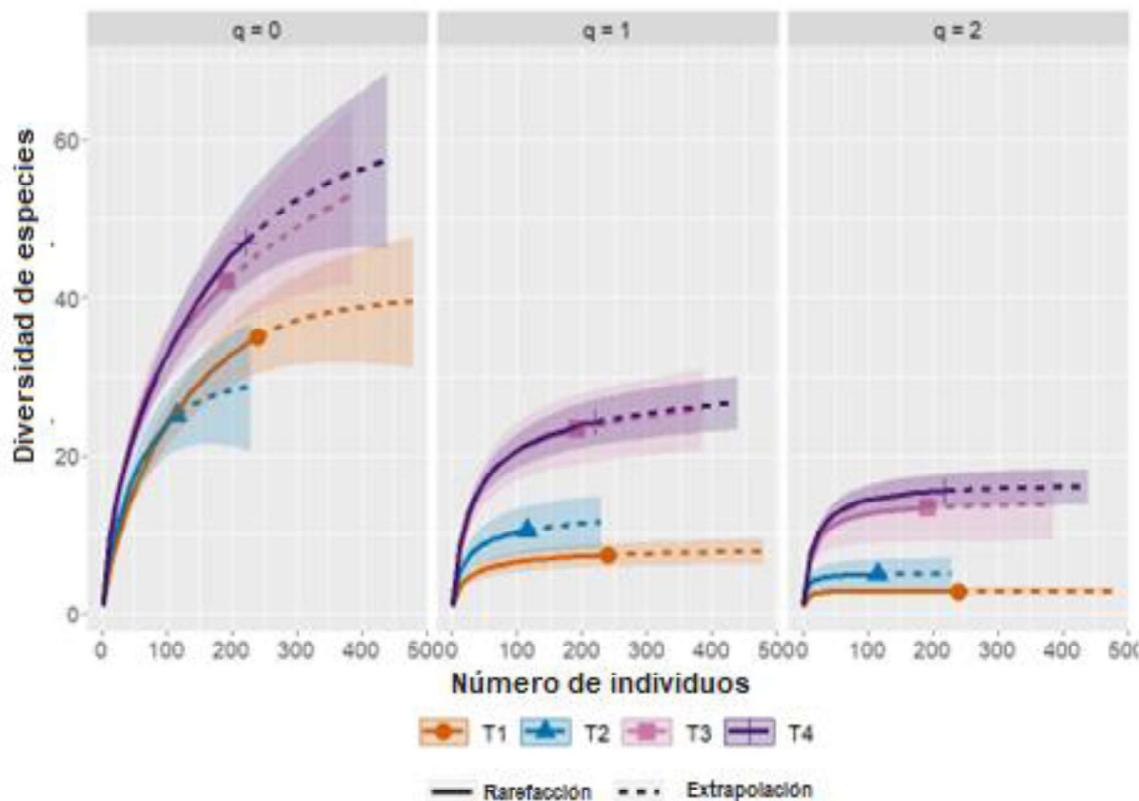


Figura 4. Número efectivo de especies de orden ${}^0\text{D}$, ${}^1\text{D}$ y ${}^2\text{D}$ de los tratamientos evaluados.

Fuente: Autora (2025)

Discusión

La alta abundancia de insectos acuáticos en el presente estudio, puede estar relacionado con que, los dípteros, efemerópteros, plecópteros y algunos tricópteros, son grupos diversos que presentan ciertas adaptaciones como por ejemplo la presencia de branquias muy reducidas o ausentes, que le permiten vivir en medios con alto contenido de oxígeno como las quebradas de alta montaña (28). El orden Diptera, representado principalmente por la familia Chironomidae y la subfamilia Orthocladiinae, registro la mayor abundancia de organismos en los tratamientos dos y cuatro, revelando como la cobertura de pastos y cultivos favorece su presencia en las quebradas evaluadas. Cabe resaltar que estos organismos son comunes en todos los ecosistemas acuáticos, registran una alta distribución altitudinal, son altamente resistentes a los cambios que pueda presentar su hábitat y pueden presentar una alta abundancia en quebradas con una alta intervención por la ganadería y la agricultura (29).

El orden Ephemeroptera, representado principalmente por la familia Baetidae, registró de manera general una abundancia similar en los tratamientos evaluados. Es común encontrar esta familia en quebradas de alta montaña (30), pues por lo regular viven en corrientes limpias y bien oxigenadas (28), además presentan adaptaciones morfológicas para resistir la presión hidráulica (31). La baja abundancia del orden Plecoptera en el estudio, se relaciona con que son un grupo pequeño, poco diversificado en el trópico que vive en aguas rápidas, limpias y bien oxigenadas (28). La alta abundancia en el tratamiento cuatro del orden Trichoptera, muestra la cobertura de pastos y cultivos y la presencia de trucha no los afecta negativamente. Usualmente los tricópteros abundan en ecosistemas de gran cobertura boscosa que le proporcionen la materia prima para la construcción de sus capullos, los cuales son fundamentales para la captura de alimento y la protección de los efectos físicos del caudal (32), por lo que la presencia de estos organismos en el tratamiento cuatro puede estar favorecida por otros factores como la preferencia en los ecosistemas lóticos con bajas temperatura, las aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas, además estas corrientes pueden tener la variedad de recursos alimenticios y sustratos que permiten su supervivencia a pesar del tipo de cobertura y la invasión (28).

La alta riqueza de insectos acuáticos registrada en los tratamientos tres y cuatro, contrasta con lo reportado por Meza-Salazar et al. (33), en quebradas altoandinas colombianas impactadas por la agricultura, la minería y

la ganadería en donde la riqueza de insectos acuáticos era bastante baja. Pero fue similar a lo reportado por Vimos et al. (34) en quebradas altoandinas ecuatorianas con presencia de trucha arcoíris en donde la riqueza de insectos acuáticos fue mayor cuando las densidades de la trucha eran mayores. Diptera y Trichoptera registraron el mayor número de géneros en todos los tratamientos, los cual es común en quebradas altoandinas respecto a estos ordenes (30), y contrasta con lo reportado por Molineri (35), en quebradas de Argentina, donde no encontró diferencias entre la riqueza de insectos acuáticos en quebradas con y sin trucha.

A nivel de sustratos, la alta abundancia relativa de organismos del orden Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera en el sustrato hojarasca en el tratamiento uno se debe a la alta entrada de material alóctono en forma de hojarasca que proveniente del bosque de ribera (36). Así mismo la alta abundancia relativa en el sustrato roca del orden Trichoptera en los tratamientos uno, dos y cuatro, del orden Diptera en los tratamientos dos, tres y cuatro y del orden Ephemeroptera en el tratamiento cuatro, se debe a que este tipo de sustrato es el más común en quebradas andinas de altamontaña colombianas, además este sustrato generalmente se encuentra en el flujo más rápido de la corriente, en donde varias taxas de estos grupos prefieren habitar (16), así mismo este sustrato se ha registrado como el favorito para habitar de estos organismos (31, 37, 32). La alta abundancia relativa de los organismos del orden Ephemeroptera en el sustrato hojarasca en los tratamientos dos y cuatro y del orden Plecoptera en los tratamientos dos, tres y cuatro, muestran una preferencia por este sustrato a pesar de no presentar una cobertura de bosque, lo cual puede estar relacionado a que este sustrato ofrece las mejores condiciones de refugio y alimentación para ellos (16). Los tratamientos tres y cuatro registraron la mayor riqueza y diversidad de insectos acuáticos, lo cual esta relacionado con la presencia de géneros que pueden resistir y adaptarse a las alteraciones de las quebradas como por ejemplo organismos del orden Diptera (37; 29).

Conclusiones

La introducción de la trucha arcoíris influye en la diversidad de insectos acuáticos en quebradas andinas colombianas, los cuales son resilientes ante los cambios que enfrentan actualmente y que han enfrentado por años en los ecosistemas acuáticos que habitan. El presente trabajo genera información base para diseñar estrategias para el manejo de la trucha arcoíris introducida.

Agradecimientos

Los autores Agradecemos al Grupo de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima. Agradecemos también a Victor Manuel Morales, Heriverto Valencia, Mayra Rojas, Kelly Huertas, Jose Luis Lozano, Mario Daza, María Cadena y Chabelí Villabon, por su apoyo en campo. Adriana agradece al Ministerio Colombiano 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.

Conflictos de intereses y financiación. Los autores declaran que no tienen algún conflicto de interés. Este proyecto fue financiado por el Ministerio Colombiano de Ciencia, Tecnología e Innovación (convocatoria 755 de 2016, para la Formación de Capital Humano de Alto Nivel para el Departamento del Tolima-Colombia).

Referencias

1. Alexiades, A. V., González-Gamboa, I., & Herrera-Martínez, Y. (2022). *Oncorhynchus mykiss alters nutrient dynamics in high-altitude headwater streams in Boyacá, Colombia through displacement of the native fish community*. *Environmental Challenges*, 9, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100628>
2. Albariño, R. J., & Buria, L. M. (2011). Altered mayfly distribution due to strong interactions with alien rainbow trout in Andean streams of Patagonia. *Limnologica*, 41(3), 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2010.07.004>
3. Bernery, C., Bellard, C., Courchamp, F., Brosse, S., & Leroy, B. (2024). A global analysis of the introduction pathways and characteristics associated with non-native fish species introduction, establishment, and impacts. *Ecol. Process.*, 13, 22. <https://doi.org/10.1186/s13717-024-00495-8>
4. Bernery, C., Bellard, C., Courchamp, F., Brosse, S., Gozlan, R. E., Jarić, I., Teletchea, F., & Leroy, B. (2022). Freshwater fish invasions: A comprehensive review. *Annu Rev Ecol Evol Syst.*, 53(1), 427–456. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-032522-015551>
5. 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. *Ecol. Monogr.*, 84(1), 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
6. Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo.
7. Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M., Hubbard, M., & Nieto, C. (2006). *Ephemeroptera of South America*. Penssoft Publishers.
8. Duarte Ramos, E. J., & Reinoso-Flórez, G. (2020). Composición y estructura del ensamblaje de larvas del orden Trichoptera (Arthropoda: Insecta) en la quebrada Las Perlas, Ibagué, Colombia. *Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat.*, 44(171), 471–481. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.964>
9. Dunham, J. B., Pilliod, D. S., & Young, M. K. (2004). Assessing the consequences of non-native trout in headwater ecosystems in western North America. *Fisheries*, 29(6), 18–24.
10. Eby, L. A., Roach, W. J., Crowder, L. B., & Stanford, J. A. (2006). Effects of stocking up freshwater food webs. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(10), 576–584. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.06.016>
11. Fausch, K. D. (2007). Introduction, establishment and effects of nonnative salmonids: Considering the risk of rainbow trout invasion in the United Kingdom. (Suppl. D), 1–32. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01682.x>
12. Flecker, A. S. (1992). Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: Evidence from neotropical streams. *Ecology*, 73(2), 438–448. <https://doi.org/10.2307/1940751>
13. Forero-Céspedes, A. M., Gutiérrez, C., & Reinoso-Flórez, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica*, 26(3), 459–474. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n3/Forero>
14. Forero-Céspedes, A. M., Correa, S. B., & Villa-Navarro, F. (2025). Effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) introduction on Andean stream food webs. *Ecol. Freshw. Fish*. <https://doi.org/10.1111/eff.70000>
15. García, P., Novelo-Gutiérrez, R., Vázquez, G., & Ramírez, A. (2016). Allochthonous vs. autochthonous energy resources for aquatic insects in cloud forest streams, Veracruz, Mexico. *Hidrobiológica*, 26, 483–496.

16. Gozlan, R. E., St-Hilaire, S., Feist, S. W., Martin, P., & Kent, M. L. (2005). Biodiversity—Disease threat to European fish. *Nature*, 435, 1046. <https://doi.org/10.1038/4351046a>
17. Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2010). Plecoptera. *Rev. Biol. Trop.*, 58, 139–148.
18. 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. *J. Limnol.*, 76(2), 397–408. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2017.1488>
19. Jacobsen, D. (2008). Tropical high-altitude streams. En D. Dudgeon (Ed.), *Tropical stream ecology* (pp. 219–256). Academic Press.
20. López-Delgado, E. O., Vásquez-Ramos, J. M., & Reinoso-Flórez, G. (2015). Listado taxonómico y distribución de los tricópteros inmaduros del departamento del Tolima. *Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat.*, 39(150), 42–49. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.108>
21. McGarvey, D. J., Falke, J. A., Li, H. W., & Li, J. L. (2017). Fish assemblages. En F. R. Hauer & G. A. Lamberti (Eds.), *Methods in stream ecology: Ecosystem structure* (Vol. 1, 3rd ed., pp. 321–354). Elsevier.
22. Meza-Salazar, A. M., Guevara, G., G-Dias, L., & Cultid-Medina, C. A. (2020). Density and diversity of macroinvertebrates in Colombian Andean streams impacted by mining, agriculture and cattle production. *PeerJ*, 8, e9619. <https://doi.org/10.7717/peerj.9619>
23. Molineri, C. (2008). Impact of rainbow trout on aquatic invertebrate communities in subtropical mountain streams of northwest Argentina. *Ecol. Austral.*, 18, 101–117.
24. 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.
25. Moyle, P. B. (1976). Fish introductions in California: History and impact on native fishes. *Biol. Conserv.*, 9(2), 101–118. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(76\)90043-4](https://doi.org/10.1016/0006-3207(76)90043-4)
26. Moyle, P. B., Li, H. W., & Barton, B. A. (1986). The Frankenstein effect: Impact of introduced fishes on native fishes in North America. En R. H. Stroud (Ed.), *Fish culture in fisheries management* (pp. 415–426). American Fisheries Society.
27. Moyle, P. B., & Light, T. (1996). Biological invasions of fresh water: Empirical rules and assembly theory. *Biological Conservation*, 78(1–2), 149–161. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(96\)00024-9](https://doi.org/10.1016/0006-3207(96)00024-9)
28. Posada-García, J. A., & Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el noroccidente de Colombia. *Caldasia*, 25(1), 169–192.
29. R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
30. Rojas-Céspedes, M. G., Guevara, G., & Reinoso-Flórez, G. (2023). Chironomidae y su relación con variables fisicoquímicas en tres quebradas del río Combeima (Tolima, Colombia). *Rev. Asoc. Col. Cienc.(Col.)*, 35(1), 32–45. <https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i35.283>
31. Rojas-Sandino, L. D., Reinoso-Flórez, G., & Vásquez-Ramos, J. M. (2018). Distribución espacial y temporal de dípteros acuáticos en la cuenca del río Alvarado, Tolima, Colombia. *Biota Colomb.*, 19(1), 70–91. <https://doi.org/10.21068/c2018.v19n01a05>
32. Roldán, G. (2022). Los macroinvertebrados acuáticos. En G. Roldán Pérez & J. J. Ramírez Restrepo (Eds.), *Fundamentos de limnología neotropical* (pp. 543–571). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
33. Santiago-Vera, J., & Ramírez, A. (2023). Meiofauna in tropical montane streams: Biotic and abiotic factors regulating communities. *Acta biol. colomb.*, 28(2), 229–238. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n2.103379>
34. Serra-Greppi, I. C., & Molineri, C. (2021). Presence of rainbow trout reduced drift of aquatic insects in Yungas streams (Tucumán, Argentina). *Rev. Soc. Entomol. Argent.*, 80(1), 1–8. <https://doi.org/10.25085/rsea.800108>
35. Springer, M. (2010). Trichoptera. *Rev. Biol. Trop.*, 58, 151–198.
36. Vásquez-Ramos, J. M., & Reinoso-Flórez, G. (2012). Estructura de la fauna benthica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista. Colomb. Entomol.*, 38(2), 351–358. <https://doi.org/10.25100/socolen.v38i2.9018>
37. Vimos, D. J., Encalada, A. C., Suárez, E., & Prat, N. (2015). Effects of exotic trout on benthic communities in high-Andean tropical streams. *Freshw. Sci.*, 34(2), 770–783. <https://doi.org/10.1086/681540>