

**Composición y distribución de macroinvertebrados bentónicos a lo largo de un gradiente
del uso del suelo en una microcuenca del páramo de Santurbán**

Jonathan David Gómez Ramírez

Trabajo de Grado para Optar el título de Biólogo

Director

Yasmin Plata Díaz

Magister en Biología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A Dios, de quien es toda la sabiduría y conocimiento.

A mi madre, que siempre me ha brindado su amor y apoyo incondicional.

A mi familia y amigos, por apoyarme a lo largo de todo este proceso.

Agradecimientos

A Dios, quien me dio todos los recursos necesarios y que sin Él no hubiese sido posible alcanzar esta meta.

A mi madre y mi familia, por estar siempre a mi lado.

A mis amigos, por brindarme su apoyo.

A mi directora de trabajo de grado Yasmin Plata, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y brindarme su acompañamiento y apoyo.

Al profesor Hernando Ovalle, quien me brindo su apoyo a lo largo de todo el proyecto.

Al profesor Björn Reu y Sergio Marchant, quienes me brindaron su apoyo y me permitieron trabajar en las instalaciones del laboratorio.

A los profesores Edgar Ricardo Oviedo Ocaña y Daniela Cristina Rey Romero, de la Escuela de Ingeniería Civil, por la oportunidad para participar en este proyecto y su apoyo con la logística para acceder a la zona de trabajo.

Al grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental (GPH-UIS), por su ayuda en el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander y a los docentes que contribuyeron a mi formación como profesional. Y a todas las personas que formaron parte directa o indirectamente en mi formación profesional.

Tabla de Contenido

Introducción.....	11
Competencias.....	13
1. Objetivos.....	14
1.1 Objetivo General.....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. Marco referencial.....	15
2.1 Páramo de Santurbán.....	17
2.2 Macroinvertebrados bentónicos.....	18
3. Metodología.....	20
3.1 Área de estudio.....	20
3.2 Fase de laboratorio.....	24
3.3 Análisis de la información.....	25
4. Resultados.....	27
4.1 Variables físicas y químicas.....	27
4.2 Composición de la comunidad.....	34
4.3 Patrón de distribución de la comunidad.....	48
4.4 Diversidad.....	51
5. Discusión.....	54
5.1 Aspectos físicos y químicos del área de estudio.....	54
5.2 Composición y patrón de distribución.....	56
6. Conclusiones.....	61
Recomendaciones.....	62
Competencias desarrolladas durante la pasantía.....	63
Referencias Bibliográficas.....	64
Apéndices.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1. Puntos de muestreo y descripción del uso del suelo.....	23
Tabla 2. Número de especies observadas y estimadas en cada punto de muestro para los números de Hill q_0 , q_1 y q_2	51

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el área de estudio.....	22
Figura 2. Filtrado en la columna de tamices granulométricos de 850 y 250 μm	24
Figura 3. Valores de caudal registrados en cada punto y época de muestreo.....	27
Figura 4. Valores de precipitación media registrados en el año 2020 (Estación Berlín IDEAM, 2020).....	28
Figura 5. pH (a), conductividad eléctrica (b) y oxígeno disuelto (c) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).	29
Figura 6. Contenidos de sólidos totales (a) y sólidos disueltos (b) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).	30
Figura 7. Contenido de nitratos (a), nitritos (b), N Kjeldahl (c) y Nitrógeno total (d) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).	31
Figura 8. Contenido de fósforo reactivo soluble (a) y fósforo total (b) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).	32
Figura 9. Valores de DBO5 registrados en el área de estudio durante la época lluviosa y seca (n=6).....	32
Figura 10. Análisis de componentes principales (PCA), para las variables físicas, químicas e hidrogeomorfológicas en el área de estudio.	34
Figura 11. Densidad de macroinvertebrados bentónicos por área muestreada en cada punto y época.....	35
Figura 12. Densidad de macroinvertebrados bentónicos durante las dos épocas de muestreo.....	36
Figura 13. Porcentaje de abundancia de macroinvertebrados bentónicos a nivel de Orden en el estudio.....	36
Figura 14. Densidad del género Hyalella en cada punto y época de muestreo.	37
Figura 15. Densidad de familias del orden Diptera en cada punto y época de muestreo.....	38
Figura 16. Densidad de subfamilias de Chironomidae en cada punto y época de muestreo.....	39
Figura 17. Abundancia de géneros del orden Diptera en cada punto y época de muestreo.	40
Figura 18. Densidad de familias del orden Trichoptera en cada punto y época de muestreo.	41
Figura 19. Densidad de géneros del orden Trichoptera en cada punto y época de muestreo.....	42
Figura 20. Densidad de familias del orden Coleoptera en cada punto y época de muestreo.	43

Figura 21. Densidad de géneros del orden Coleoptera en cada punto y época de muestreo.	44
Figura 22. Densidad de géneros del orden Sphaeriida en cada punto y época de muestreo.	45
Figura 23. Densidad de los órdenes Lumbriculida, Haplotaxida, Tricladida, Tubificida y Rhynchobdellida en cada punto y época de muestreo.	46
Figura 24. Densidad de familias del orden Lumbriculida, Haplotaxida, Tricladida, Tubificida y Rhynchobdellida en cada punto y época de muestreo.	47
Figura 25. Densidad de familias del orden Odonata, Plecoptera y Ephemeroptera en cada punto y época de muestreo.	48
Figura 26. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS), para las variables físicas, químicas, hidrogeomorfológicas y de los macroinvertebrados bentónicos en el área de estudio. Las flechas representan los rasgos significativos ($p < 0.05$) (función envfit).	49
Figura 27. Anova de similitud (ANOSIM) para los usos del suelo (a) y épocas de muestreo (b).	50
Figura 28. Riqueza de especies (q_0) con respecto a las zonas intervenidas y de referencia.	52
Figura 29. Curvas de rarefacción basadas en el tamaño de la muestra (línea sólida) y extrapolación (línea punteada) sobre una muestra basada en 62 individuos para los números de Hill de orden $q=0$ (panel izquierdo), $q=1$ (panel centro) y $q=2$ (panel derecho).	53

Lista de Apéndices

Apéndice A. Lista taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos encontrados en la microcuenca del río Jordán en el páramo de Santurbán a lo largo de un gradiente del uso del suelo.....82

Resumen

Título: Composición y distribución de macroinvertebrados bentónicos a lo largo de un gradiente del uso del suelo en una microcuenca del páramo de Santurbán*

Autor: Jonathan David Gómez Ramírez**

Palabras Clave: Macroinvertebrados bentónicos, páramo, diversidad, usos del suelo.

Descripción: Las alteraciones en el uso del suelo en los páramos han transformado las características de los ambientes acuáticos en los últimos años. Los macroinvertebrados bentónicos son ampliamente usados para evaluar los efectos producidos en los ecosistemas dulceacuícolas, ya que estos impactos se ven reflejados en la composición y distribución de estos. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la variación del uso del suelo sobre la distribución y diversidad de macroinvertebrados bentónicos en una microcuenca del páramo de Santurbán. Para ello fueron seleccionados 5 puntos de muestreo con distintos usos del suelo (2 no intervenidos, 1 con cultivos, 1 en zona de pastos y 1 cultivo-pecuario), durante la época seca (febrero) y lluviosa (noviembre). El muestreo se realizó utilizando la red Surber, y paralelamente se tomaron variables fisicoquímicas y la caracterización ecohidromorfológica (hábitat y paisaje). Se colectaron en total 9095 individuos representados en 14 órdenes, 34 familias y 28 géneros que se lograron determinar. Los resultados demuestran que los puntos de referencia (punto 1 y punto 3) registraron una mayor densidad de organismos indicadores de aguas con bajos niveles de contaminación como *Anacroneturia*, *Helicopsyche*, *Nectopsyche*, *Smicridea*, *Heterelmis*, *Prionocyphon* y *Hexatoma*; mientras que, los tramos con intervención presentaron una mayor densidad de organismos indicadores de aguas contaminadas como *Americabaetis*, *Ferrissia*, *Pisidium*, Lumbriculidae, Planariidae y Haplotaxidae. Las densidades de los macroinvertebrados bentónicos más representativos estuvieron moduladas principalmente por los cambios en el uso del suelo. Los resultados sugieren que el efecto de la precipitación, las variables hidrogeomorfológicas, el aumento de la mineralización, nutrientes y una disminución del oxígeno disuelto, cumplen un papel fundamental sobre la biodiversidad observada. Por último, estos resultados evidencian que el aumento de la presión antrópica sobre el recurso hídrico de los páramos altera negativamente la diversidad de macroinvertebrados bentónicos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: Yasmin Plata Díaz. Magister en Biología.

Abstract

Title: Composition and distribution of benthic macroinvertebrates along a land use gradient in a micro-basin of the Santurbán paramo*

Author: Jonathan David Gómez Ramírez**

Key Words: Benthic macroinvertebrates, moorlands, diversity, land use.

Description: Alterations in land use in the moorlands have transformed the characteristics of aquatic environments in recent years. Benthic macroinvertebrates are widely used to evaluate the effects produced in freshwater ecosystems, since these impacts are reflected in their composition and distribution. The main objective of this research was to evaluate the variation of land use on the distribution and diversity of benthic macroinvertebrates in a micro-basin of the Santurbán paramo. 5 sampling points with different land uses were selected (2 not intervened, 1 with crops, 1 in the pasture zone and 1 crops-livestock), during the dry season (February) and rainy season (November). The sampling was carried out using the Surber Sampler, and at the same time physicochemical variables and the ecohydromorphological characterization (habitat and landscape) were taken. A total of 9095 individuals were collected, represented in 14 orders, 34 families and 28 genera that were determined. The results show that the points of reference (point 1 and point 3) registered a higher density of water indicator organisms with low levels of contamination how *Anacroneuria*, *Helicopsyche*, *Nectopsyche*, *Smicridea*, *Heterelmis*, *Prionocyphon* y *Hexatoma*, while the sections with intervention presented a higher density of water indicator organisms of contaminated waters how *Americabaetis*, *Ferrissia*, *Pisidium*, Lumbriculidae, Planariidae y Haplotaxidae. The densities of the most representative benthic macroinvertebrates were modulated by variations in land use. The results suggest that the effect of precipitation, hydrogeomorphological variables, the increased mineralization, nutrients and a decrease in dissolved oxygen, play a fundamental role in the observed biodiversity. Finally, these results show that the increase in anthropic pressure on the water resources of the moorlands negatively alters benthic macroinvertebrates diversity.

* Degree Work

** Science Faculty. Biology School. Director: Yasmin Plata Díaz. Master in Biology.

Introducción

Los páramos son ecosistemas únicos y estratégicos, que proveen una gran variedad de servicios ecosistémicos de gran importancia y son el nacimiento de un gran número de fuentes de agua dulce (Rangel-Ch, 2000; Hofstede et al., 2014). En América del Sur se encuentran distribuidos a lo largo de la cordillera de los Andes y solo Colombia alberga el 49% de la cobertura total a nivel mundial (Minambiente, 2016).

Uno de los páramos con mayor importancia a nivel nacional es el Complejo Jurisdicciones Santurbán-Berlín (CJSB), con una extensión aproximada de 44.272 hectáreas y una altura entre los 2.200 y 4.100 metros sobre el nivel del mar (ms.n.m), abarcando los departamentos de Santander y Norte de Santander. Posee una gran biodiversidad de especies de fauna y flora y representa una gran importancia ecológica y estratégica para la población por su potencial hídrico y los servicios ecosistémicos que brinda (Restrepo et al., 2008; CORPONOR, 2010; CDMB, 2015;).

El cambio climático y el creciente aumento de las actividades antrópicas en los páramos colombianos, ha deteriorado significativamente este ecosistema. La expansión agrícola ha reemplazado cerca del 16% de la vegetación nativa y los sistemas pecuarios y la minería artesanal se encuentran fuertemente arraigados en la población, provocando un impacto directo en el ecosistema, originando cambios en las características edáficas, cuerpos de agua (superficiales y subterráneos), disminución de la biodiversidad, reducción del cinturón paramuno y ampliación del efecto borde (Salamanca & Camargo, 2000; Hofstede et al., 2014; León et al., 2017; Vega, 2019).

Los macroinvertebrados bentónicos han sido empleados para evaluar el grado de alteración de un ecosistema, ya que estos impactos se ven reflejados en la composición y distribución de estos (Medina et al., 2008; Guevara, 2011). Los estudios que relacionen los efectos del uso del

suelo en la composición y distribución de macroinvertebrados bentónicos, son escasos en los páramos colombianos (León et al., 2017) y en el páramo de Santurbán solo se han realizado estudios de diversidad espacial y temporal de macroinvertebrados bentónicos con relación a las variables fisicoquímicas (Gavilán et al., 2000; Castellanos & Serrato, 2008).

La presente investigación fue desarrollada dentro del marco del proyecto “Análisis Participativo de la Influencia del Uso del Suelo en los Servicios Hidrológicos de Suministro y Regulación Ofertados por el Ecosistema de Páramo Seco. Caso: Berlín (Complejo Santurbán)”, cuyo objetivo principal es la comparación de variables hidrológicas y de calidad del agua en dos nacimientos con diferente tipo de intervención. El propósito del presente estudio fue evaluar el efecto del uso del suelo sobre la composición y distribución espacial y temporal de macroinvertebrados bentónicos y para ello se planteó la hipótesis que la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos será mayor en los sitios de referencia que en los sitios con presencia de cultivos. Para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos establecidos, el estudio comprendió varias etapas, entre las cuales se encontraba la cuantificación de la diversidad y riqueza de macroinvertebrados bentónicos hasta el nivel taxonómico más bajo posible, la identificación de los factores que pueden estar influenciando en la composición y distribución a lo largo del gradiente y la evaluación de los cambios espaciales y temporales de los macroinvertebrados bentónicos en relación con las variables fisicoquímicas de la microcuenca. Junto con este documento, se realizó la entrega de un catálogo de los macroinvertebrados bentónicos encontrados durante este estudio, describiendo datos ecológicos y fisiológicos.

Competencias

- Obtiene destreza en técnicas de campo y laboratorio para el estudio de ríos y análisis de macroinvertebrados bentónicos.
- Adquiere habilidades en el reconocimiento de características morfológicas y ecológicas de los macroinvertebrados bentónicos.
- Adquiere destrezas en la descripción de resultados relacionados con variables físicas y químicas y ambientales
- Maneja herramientas estadísticas para el análisis de datos en estudios limnológicos.
- Aplica los principios que determinan las interacciones entre organismos y su ambiente.
- Propone modelos explicativos de fenómenos biológicos, mediante el uso de herramientas estadísticas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del uso del suelo sobre la composición y distribución espacial y temporal de macroinvertebrados bentónicos en una microcuenca del páramo de Santurbán.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la composición y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos en una microcuenca con diferentes usos del suelo.
- Identificar los factores que pueden estar influenciando en la composición y distribución de los macroinvertebrados bentónicos a lo largo del gradiente del uso del suelo.
- Evaluar los cambios espaciales y temporales de los macroinvertebrados bentónicos en relación con las variables fisicoquímicas del agua en los diferentes tramos.

2. Marco referencial

El páramo es un ecosistema natural presente en las regiones tropicales de alta montaña encontrándose entre los 3.000 a 4.000 ms.n.m y dominado por vegetación abierta (Hofstede et al., 2014). En América abarcan un área aproximada de 35.000 km² a lo largo de la cordillera de los Andes comprendiendo los países de Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela; con complejos de páramo aislados en Panamá, Costa Rica y en la Sierra Nevada de Santa Marta, siendo el origen de los principales cuerpos de agua dulce en la región andina (Castaño-Uribe, 2002; Minambiente, 2002; Hofstede et al., 2014).

En Colombia el 1.3% del territorio nacional está representando por páramos, cubriendo un área aproximada de 2'906.137 ha, equivalente al 49% de los páramos a nivel mundial (Castaño-Uribe, 2002; Minambiente, 2002; Humboldt, 2013). De los 36 complejos de páramos que se encuentran en Colombia, el 54.5% se ubican sobre la Cordillera Oriental (Vázquez & Buitrago, 2011), encontrándose en particular el complejo de páramos de Santurbán, del cual hace parte el páramo de Berlín.

Las características abióticas como el relieve, suelo, hidrología y clima, y las bióticas (interacciones ecológicas) son muy particulares en este ecosistema, albergando elementos florísticos de gran interés (Guhl, 1982; Rangel-Ch, 2000; Keating, 2008), por lo que son considerados uno de los ecosistemas con la mayor diversidad de especies de plantas de alta montaña en el mundo con más de 5000 especies de plantas a nivel mundial (Hofstede et al., 2003; Llambí et al., 2012; Hofstede et al., 2014). Sus condiciones ambientales son muy variables, la temperatura media anual se encuentra entre los 2°C – 10°C y la precipitación anual varía entre los 600 mm (en páramos secos) y por encima de 4000 mm (en páramos húmedos), las intensidades de lluvias son bajas (lloviznas) y variables en espacio y tiempo. Además, su alta humedad relativa,

baja presión atmosférica, altos niveles de radiación solar y la ausencia de formaciones vegetales densas, crea condiciones particulares en este ecosistema (Sáenz, 2001; Hofstede et al., 2014; Serrano & Galárraga, 2015).

Los suelos de los páramos en su gran mayoría son de origen volcánico, de coloración pardo-oscuro o negra, con valores de pH bajos (3.9-5.4) y espesores superiores a un metro o de algunos centímetros. Tienen un alto porcentaje de retención de agua, porosidad y conductividad hidráulica (Díaz-Granados et al., 2005). La vegetación cumple un papel fundamental en la formación de los suelos al disminuir la erosión y acumular grandes cantidades de agua. Sumado a esto, las bajas temperaturas permiten que el proceso de degradación de ésta sea mucho más restringido, favoreciendo una alta acumulación de materia orgánica parcialmente descompuesta. (Pulido, 1998; Castaño-Urbe, 2002; Morales et al., 2007; Vázquez & Buitrago, 2011; Llambí et al., 2012).

El páramo se ha considerado uno de los ecosistemas más importantes debido a los servicios ecosistémicos que brinda. La precipitación se produce normalmente en forma de lluvia de baja intensidad y larga duración y por medio de la precipitación horizontal cuando la neblina hace contacto con la vegetación. Una de las funciones más importantes de los páramos es la regulación hidrológica, almacenando agua durante la temporada de lluvia para liberarla en la temporada seca, siendo explicada por la alta capacidad de almacenamiento en los suelos y la morfología de las cuencas. Las depresiones topográficas en la cuenca originan reservorios naturales (lagunas) que acumulan agua por largos periodos de tiempo aportando agua a los cauces de quebradas y ríos de forma constante (Malagón & Pulido, 2000; Buytaert et al., 2006; Llambí et al., 2012; Hofstede et al., 2014).

Las características de los suelos en los ecosistemas de páramo permiten que sea susceptible al desarrollo de diversas actividades antrópicas como la agricultura, ganadería, minería y turismo,

siendo los sistemas agrícolas y pecuarios las principales actividades económicas. Los cultivos más comunes son de papa, oca, olluco, hortalizas, cebolla y ajo y los sistemas pecuarios se encuentran fuertemente arraigados en la población, pero son muy poco eficientes. Los impactos más frecuentes asociados a estas actividades son la reducción de la cobertura vegetal, transformación del paisaje, pérdida de fauna y flora, erosión, compactación y la contaminación de los suelos y cuerpos de agua (Rangel-Ch, 2000; Salamanca & Camargo, 2000; Llambí et al., 2012).

2.1 Páramo de Santurbán

Conocido geográficamente como “Nudo de Santurbán”, se encuentra localizado en la cordillera oriental de Colombia en un gradiente altitudinal entre los 2.500 – 4.300 ms.n.m. (CDMB, 2012; CDMB, 2015; COLPARQUES, 2021). Santurbán está conectado con otros complejos de páramo como Almorzadero, Cocuy, Pisba y Tota–Bijagual–Mapacha y se ubica entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, abarcando aproximadamente 142.608 ha, bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) y la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS). El 72% del territorio se encuentra en Norte de Santander y el 28% en Santander. Considerado una estrella fluvial por sus complejos lagunares, abastece a más de 2’500.000 habitantes representados en 48 municipios (15 en Santander y 33 en el Norte de Santander) (CORPONOR, 2010; DBBSE, 2018). Además, aporta agua de forma constante a tres cuencas hidrográficas de gran importancia: Río Lebrija, Río Chicamocha y Río Arauca (CDMB, 2012).

Dentro del páramo de Santurbán se destacan algunas áreas como el Distrito de Manejo Integrado (DMI) Páramo de Berlín, con una extensión de 44.272 ha, correspondientes a los

municipios de Tona en Santander y Silos y Mutiscua, en Norte de Santander. La precipitación es bimodal, con temporada de lluvias entre abril-junio y septiembre-noviembre; y temporada seca entre julio-agosto y diciembre-febrero (Restrepo et al., 2008; CORPONOR, 2010; CDMB, 2015).

Los suelos del páramo de Berlín comprenden en su gran mayoría áreas de vegetación abierta, con amplios pajonales de gramíneas y herbáceas que caracterizan y dan forma al paisaje de páramo seco. Las principales actividades económicas son la agricultura (cultivos de papa, cebolla y frutales), actividades pecuarias (bovino, porcino y ovino), la minería y el turismo (Restrepo et al., 2008; CORPONOR, 2010; CDMB, 2015).

2.2 Macroinvertebrados bentónicos

Se definen como aquellos organismos que tienen un tamaño superior a 500 μm y se encuentran distribuidos a lo largo de la columna de agua (superficie, fondo, nadando activamente, adheridos a la vegetación acuática, troncos, rocas y materia orgánica en descomposición). Están representados por diversos filos de animales como los Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha. Estos cumplen un papel fundamental en la red trófica siendo los intermediarios entre los productores primarios y los consumidores, transformando la materia orgánica en energía (alimento) para peces, aves, otros insectos y mamíferos (Hanson et al., 2010; Ladrera, 2012; Roldán-Pérez, 2016). Estos grupos de macroinvertebrados bentónicos presentan una gran variedad de adaptaciones y diferencias en sus ciclos de vida. Algunos pasan todo o casi todo su ciclo de vida en el agua y otros tienen una etapa en ambientes terrestres. El tiempo de desarrollo de estos organismos depende de la especie, factores ambientales y la disponibilidad de alimentos (Thorp & Covich 2001; Álvarez, 2005; Hanson et al., 2010).

Los alimentos disponibles provienen del sistema terrestre (alóctono) o del sistema acuático (autóctono), permitiendo que existan diversos grupos funcionales basados en su comportamiento alimenticio. Dentro de esta clasificación se encuentran los fragmentadores, filtradores, raspadores, carnívoros, detritívoros y omnívoros que pueden ingerir diversos tipos de alimentos, modificando el comportamiento alimenticio a lo largo del ciclo de vida (Allan & Castillo, 2007; Hanson et al., 2010; Hamada et al., 2014).

Los macroinvertebrados bentónicos han sido usados ampliamente como indicadores de la calidad del agua desde los años cincuenta, debido a diversas características que los hacen excelentes indicadores como: son visibles a simple vista, tienen una amplia distribución, ciclos de vida largos, son sensibles a los cambios ambientales, fácil identificación, muestreo, y bajo costo económico (Álvarez, 2005; Meza-S et al., 2012; Roldán-Pérez, 2016; Ruhí et al., 2016).

En Sudamérica y Colombia se empezaron a estudiar en la década los años setenta (Roldán-Pérez, 2016). Los primeros estudios de macroinvertebrados bentónicos en Colombia no tuvieron mucho éxito ya que se usaron claves de identificación de las zonas templadas y fue necesario realizar material de identificación para el territorio colombiano, pero la información sobre la taxonomía, ecología y bioindicación aún es insuficiente y no es similar en todos los grupos (Roldán & Ramírez, 2008; Roldán-Pérez, 2016). Si bien en Colombia los macroinvertebrados bentónicos son cada vez más usados en estudios de calidad del agua (Posada et al., 2000; Álvarez, 2005; Arango et al., 2008; Chará et al., 2009; Rivera-Usme et al., 2013; Roldán-Pérez, 2016), aún es necesario ampliar su conocimiento en los ríos altoandinos y zonas de páramo. A pesar de poseer una gran cobertura de páramos en el territorio nacional, existe poca información de la diversidad y la manera en que el uso del suelo, el estado del hábitat y la contaminación del agua impactan en estas comunidades (Gavilán et al., 2000; Castellanos & Serrato, 2008; Posada-García et al., 2008;

Chará, 2009; Meza-S et al., 2012; Zuñiga et al., 2013; Alba & González, 2015; Londoño & Suarez, 2017; Ramírez et al., 2018; Meneses-Campo et al., 2019).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

La microcuenca de estudio hace parte de la cuenca del río Jordán en el páramo de Berlín y está ubicada entre los 07°06'10,3" latitud norte, 72°56'33,9" longitud oeste, y los 07°07'6,2" latitud norte, 72°56'26,8" longitud oeste y a una altitud entre los 3383 – 3529 ms.n.m.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Strahler (1964), corresponde a dos ríos de primer orden que recorren alrededor de 2051 metros y posteriormente se unen formando un río de orden 2 (Figura 1). Inicialmente se realizó una salida de reconocimiento, para la ubicación de los puntos de muestreo (los cuales fueron establecidos previamente dentro del marco del proyecto) y de las actividades antrópicas asociadas a cada punto. Se realizó una caminata a lo largo de toda el área de estudio, identificando el acceso a los puntos de muestreo, equipos necesarios, uso del suelo, seguridad y transporte del personal y equipos.

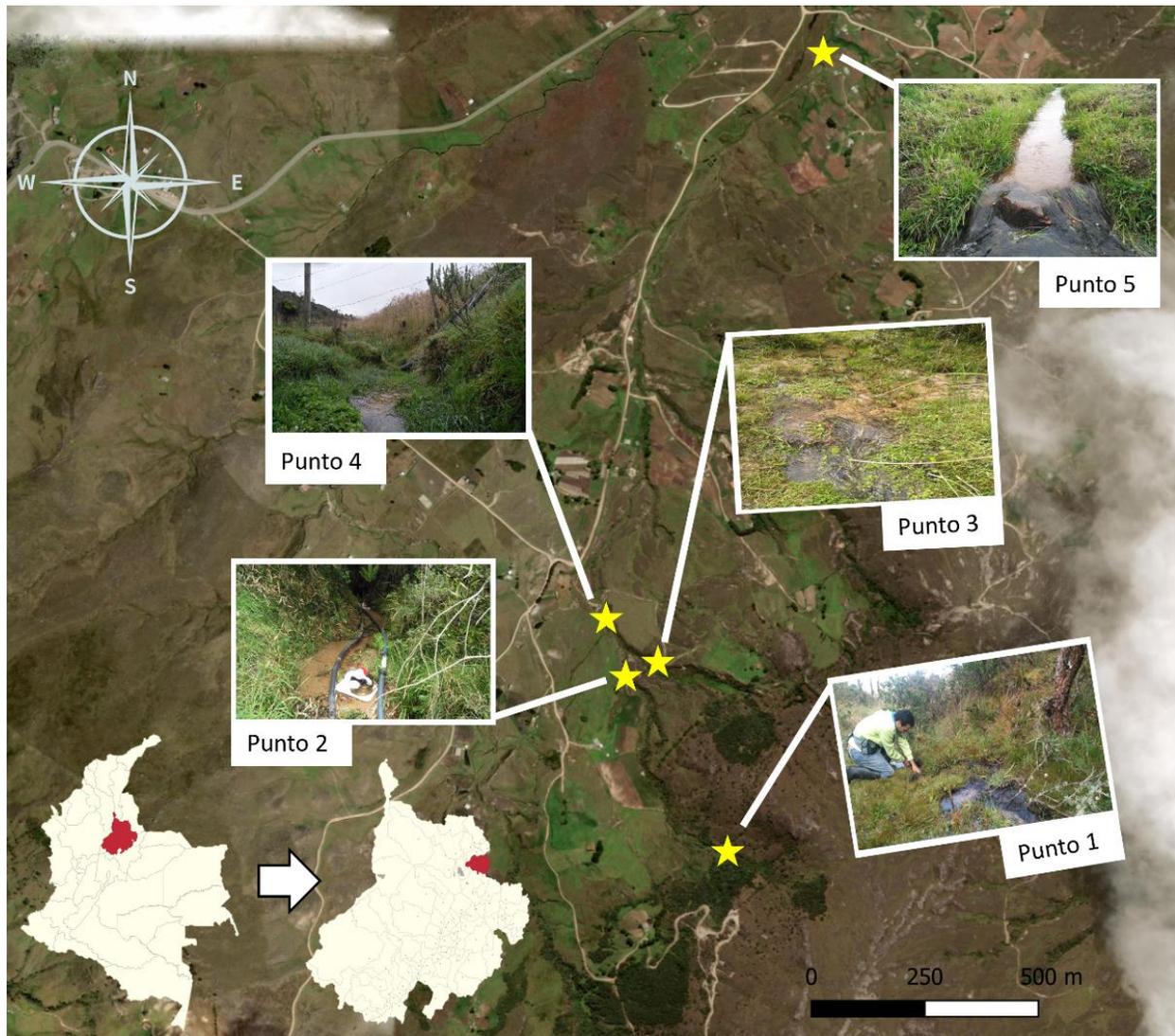
Se realizaron 2 salidas de campo. La primera se llevó a cabo el día 27 de febrero de 2020 y la segunda el día 05 de noviembre de 2020, teniendo en cuenta la época seca y lluviosa. En el área de estudio se escogieron 5 puntos distribuidos a lo largo del gradiente de uso del suelo (Tabla 1, Figura 1). En cada punto se delimitó un tramo de 20 metros, realizando una descripción hidrogeomorfológica del sitio, la cual incluyó la cuantificación visual de la composición del lecho, el porcentaje de materia orgánica (fina y gruesa) y el porcentaje de vegetación en el tramo, siguiendo las recomendaciones de Barbour et al., 1999 (EPA 841-B-99-002) y el IDEAM (2017). Asimismo, se realizó una clasificación de los puntos de muestreo (referencia e intervenidos) según

la presencia o ausencia de actividades antrópicas en el tramo correspondiente (Tabla 1). Los dos sitios de referencia corresponden a los puntos que no poseen ni cultivos ni zonas de pastoreo y presentan vegetación propia de páramo, mientras que el resto de los puntos se encuentran rodeados de matrices donde dominan las actividades agropecuarias.

Para conocer de manera general las condiciones ambientales de cada tramo y corroborar la anterior clasificación se cuantificaron variables fisicoquímicas in situ, así como mediciones de nutrientes. Con ayuda de un equipo portátil multiparamétrico Mettler Toledo (modelo S678-FK2), se tomaron las mediciones de las variables fisicoquímicas in situ como pH, temperatura (°C), oxígeno disuelto (OD) (mg/L) y conductividad eléctrica (CE) ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Paralelamente se calculó el caudal medio (Q) (L/s) con el método volumétrico y se tomaron muestras para análisis de sólidos totales (ST) y disueltos (SD) (mg/L), nitratos (NO_3) (mg $\text{NO}_3\text{-N}/\text{L}$), nitritos (NO_2) (mg NO_2/L), Nitrógeno orgánico total Kjeldahl (NKJ) (mg NKJ/L), Nitrógeno total (NT) (mg N/L), Fósforo reactivo soluble (PRS) (mg P- PO_4/L), Fósforo total (PT) (mg P/L) y Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) (mg O_2/L).

Figura 1.

Ubicación de los puntos de muestreo en el área de estudio.



Nota: Fuente propia.

Tabla 1.*Puntos de muestreo y descripción del uso del suelo.*

Punto de muestreo	Descripción de los usos del suelo	Uso del Suelo - Acrónimos	Nivel de impacto
P1	Nacimiento río 1. Área no intervenida con alto porcentaje de vegetación riparia.	NI-VR (no intervenido – vegetación riparia)	Referencia
P2	Aguas abajo del punto 1. Presencia de cultivos de cebolla y extracción de agua.	C (cultivos)	Intervenido
P3	Aguas abajo nacimiento río 2. Área no intervenida con alto porcentaje de vegetación riparia, con rastros de antiguo paso de bovinos.	PI-VR (poco intervenido – vegetación riparia)	Referencia
P4	Aguas abajo de la confluencia de los puntos 2 y 3. Vegetación riparia dominada por pastos, con posible entrada de aguas residuales de asentamientos.	ZC (zona de confluencia)	Intervenido
P5	Parte baja de la microcuenca o zona receptora. Vegetación riparia dominada por pastos., extracción de agua para riego., sistemas agrícolas y pecuarios.	CP (Cultivo – Pecuario)	Intervenido

Nota: Fuente propia

Para el muestreo de los macroinvertebrados bentónicos, se usó una red Surber modificada de 15 x 15 cm abarcando un área de 0.0225 m², debido a que el ancho del cauce en los nacimientos era inferior a 30 cm. En cada punto la red fue puesta en 3 sectores con diferente composición de sustrato y aspecto del flujo, con un esfuerzo de muestreo de 20 minutos en cada uno. El exceso de materia orgánica de los sedimentos colectados se eliminó mediante filtrado en una columna de dos tamices granulométricos de 850 y 250 μm (Figura 2). Posteriormente, la muestra fue depositada en frascos plásticos debidamente rotulados de 500 mL y preservada en alcohol al 70% para su análisis en el laboratorio (Darrigran et al., 2007; Ramírez, 2010b; UNMSN, 2014; IDEAM, 2017).

Figura 2.

Filtrado en la columna de tamices granulométricos de 850 y 250 μm .



Nota: Fuente propia.

3.2 Fase de laboratorio

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Biología de la Conservación (GIEFIVET), ubicado en la sede Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander. Fue necesario realizar un segundo tamizaje (850 y 250 μm) con el fin de retirar los restos de materia

orgánica y sedimentos de gran tamaño que permanecían. Con el uso de pinzas entomológicas y un estereoscopio de luz Carl Zeiss (Stemi 305) fueron separados los macroinvertebrados bentónicos de la materia orgánica fina, depositados en un recipiente de 200 mL y preservados en alcohol al 70% para su posterior identificación. La identificación de los macroinvertebrados bentónicos se realizó hasta el menor nivel taxonómico posible con la ayuda de claves taxonómicas (Klemm, 1995; Milligan, 1997; Roldán, 1988; Ruiz-Moreno et al., 2000a; Ruiz-Moreno et al., 2000b; Thorp & Covich, 2001; Marvaldi, 2003; Posada-García & Roldán, 2003; Bouchard, 2004; Manzo, 2005; Marvaldi & Lanteri, 2005; Oliveira et al., 2005; Springer, 2006; Borkent & Spinelli, 2007; Sundermann et al., 2007; Manzo & Archangelsky, 2008; Merritt et al., 2008; Domínguez & Fernández, 2009; Hanson et al., 2010; Oscoz et al., 2011; Segura et al., 2011; Prat et al., 2012; Aballar et al., 2014; Hamada et al., 2014; Lozano, 2014; González et al., 2015; Grzywacz et al., 2017; Laython, 2017; Linares et al., 2018). Una vez determinados, se depositaron y conservaron de acuerdo con el grupo taxonómico y punto de muestreo en frascos de 50 y 250 mL en alcohol al 70%. Los datos de campo, información taxonómica, diversidad y abundancia de organismos; se registraron en una matriz en formato Darwin Core y las muestras de los macroinvertebrados bentónicos fueron depositadas en la colección de la Escuela de Biología, de la Universidad Industrial de Santander.

3.3 Análisis de la información

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R (R core team, 2020). Para las variables fisicoquímicas se calcularon valores centrales y de dispersión agrupados por sitio y época de muestreo, representados por gráficos de boxplots con la librería “ggplot2”. Para conocer las

variables fisicoquímicas y hidrogeomorfológicas determinantes en el estudio se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA), con las librerías “FactoMineR” (Le et al., 2008) y “factoextra” (Kassambra & Mundt, 2020), previa transformación de los datos con Box-Cox mediante la librería “MASS” (Venables & Ripley, 2002).

Se calculó la densidad de macroinvertebrados bentónicos por área muestreada en cada punto y época (número de individuos/área muestreada). Para representar las variaciones de la abundancia entre puntos y épocas de muestreo se realizaron gráficas de barras con la librería “ggplot2” (Wickham, 2016). La diversidad de macroinvertebrados bentónicos y la eficiencia del muestreo, se analizó mediante los números de Hill, de orden 0 (riqueza de especies), orden 1 (diversidad de Shannon) y orden 2 (inv Simpson), usando la librería “iNEXT” (Hsieh, Ma & Chao, 2020). La diversidad estimada mediante números de Hill se usó con el fin de observar las variaciones a nivel espacial en la estructura del ensamble.

Mediante un análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) con matriz de distancia Bray Curtis, fue analizado el patrón de distribución espacial y temporal de las especies. La elección de las dimensiones se realizó teniendo en cuenta los resultados del stress final. Para establecer las especies y variables que contribuyeron significativamente ($p < 0.05$) a la diferenciación de los puntos de muestreo se usó la función *envfit* de la librería “vegan” (Oksanen et al., 2020), la cual mediante un test de permutación muestra las variables que se asocian significativamente con la ordenación.

Finalmente, para evaluar si existían diferencias en la abundancia de los grupos entre los diferentes usos del suelo (referencia e intervenido) y épocas de muestreo (seca y lluviosa) se realizó una anova de similitud (ANOSIM) mediante la función *anosim* del paquete “vegan”.

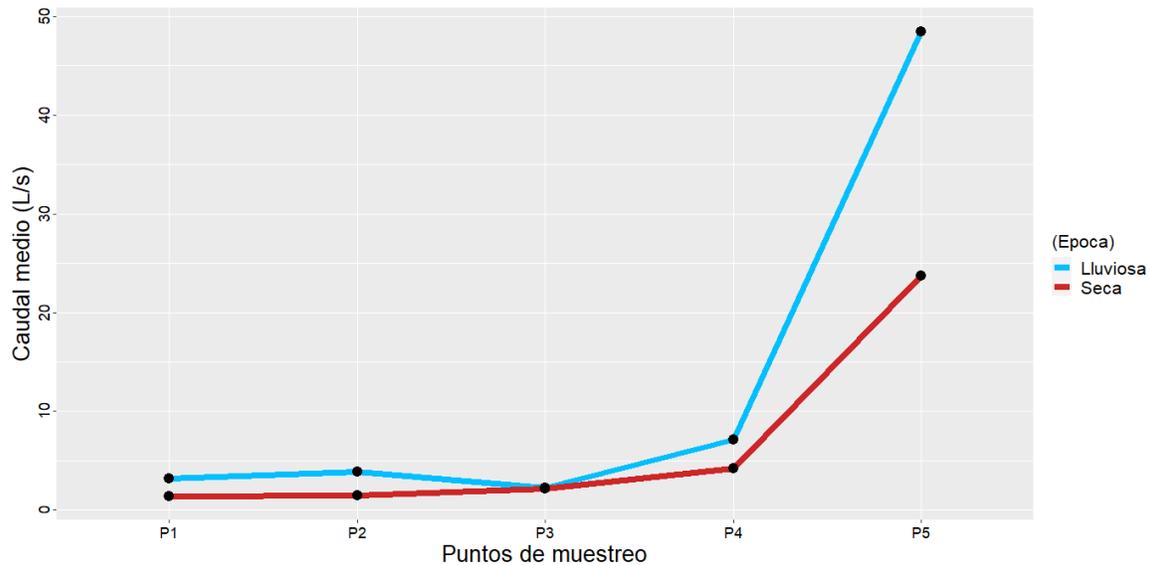
4. Resultados

4.1 Variables físicas y químicas

Los valores de caudal fluctuaron entre 5 y 48 L/s para la época seca y lluviosa, respectivamente. Durante los dos periodos, los cuatro primeros tramos presentaron valores de caudales inferiores a 10 L/s, mientras que en la zona receptora de la microcuenca (P5), se registraron los más altos (23 – 48 L/s) (Figura 3).

Figura 3.

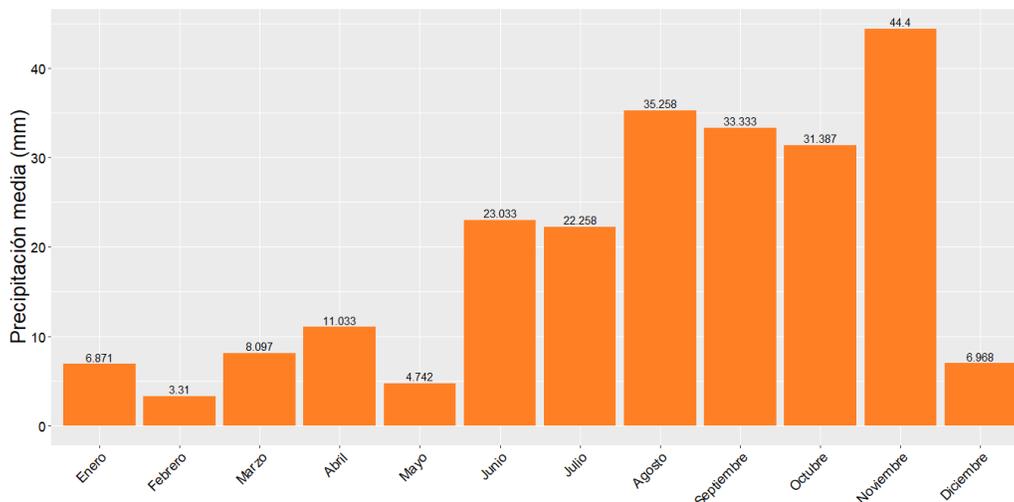
Valores de caudal registrados en cada punto y época de muestreo.



La precipitación media durante el año 2020 osciló entre 3.31 y 44.4 (mm), observándose un pico de precipitación entre los meses junio-noviembre, y el periodo de baja precipitación se presentó entre diciembre-mayo (Figura 4).

Figura 4.

Valores de precipitación media registrados en el año 2020 (Estación Berlín IDEAM, 2020).

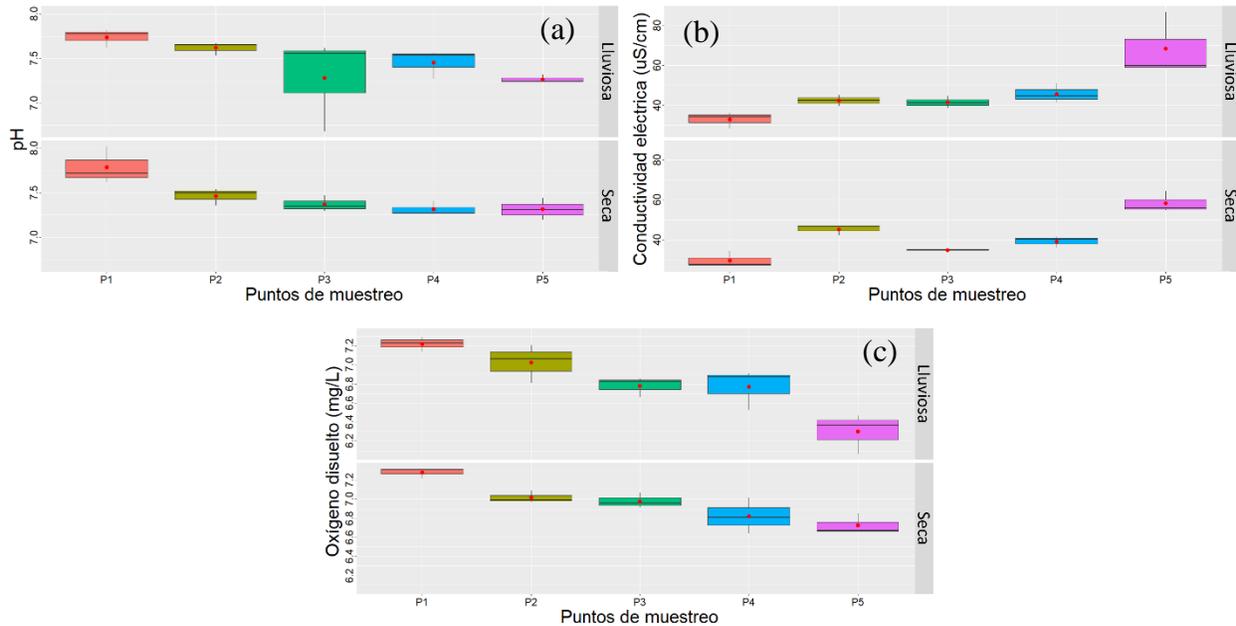


Los valores de pH fluctuaron entre 7.1 – 7.7, durante las dos épocas, siendo más elevados en el punto 1 (7.7) y más reducidos en los puntos 3 y 5 (7.1-7.2) (Figura 5). La conductividad eléctrica presentó valores entre 32,8 – 70,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante las dos épocas; los puntos 2, 3 y 4, registraron valores cercanos entre si (40.3 – 45.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Se destaca el área del nacimiento (P1) por presentar los valores más reducidos de conductividad en la microcuenca (32 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y la zona receptora (P5) por presentar los valores más altos (58 y 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figura 5).

El OD presentó valores entre 6.3 – 7.2 mg/L durante las dos épocas, con una disminución clara a lo largo de la microcuenca con valores de 7.2 mg/L en la zona del nacimiento (P1) y disminuyendo gradualmente con la pendiente hacia la zona baja (P5) con valores de 6.3 mg/L (Figura 5).

Figura 5.

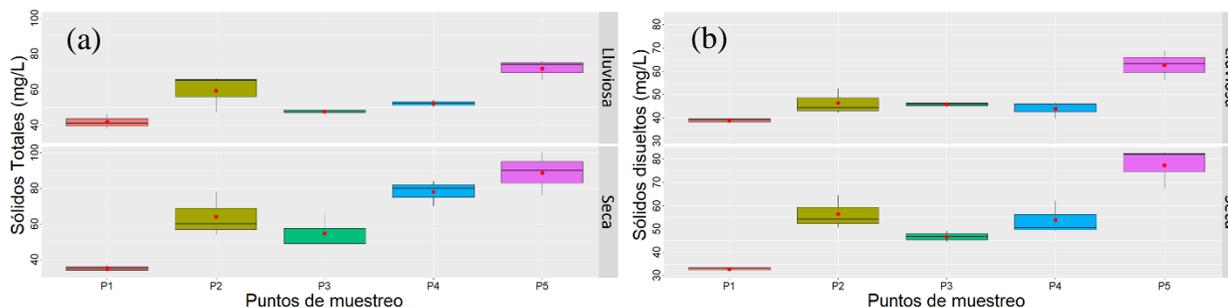
pH (a), conductividad eléctrica (b) y oxígeno disuelto (c) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).



Durante las dos épocas, la zona receptora de la microfrecuencia (P5) presentó la mayor cantidad de sólidos totales y disueltos (Figura 6).

Figura 6.

Contenidos de sólidos totales (a) y sólidos disueltos (b) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).



El contenido de NO_3 fluctuó entre 0 – 2.5 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$ durante las dos épocas, siendo menor en los puntos de referencia (P1 y P3) para ambos periodos (0 – 0.19 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$). Por otro lado, los puntos asociados con cultivos (2, 4 y 5), presentaron los valores más elevados (0.62 – 2.5 $\text{NO}_3\text{-N/L}$), siendo mayores en la zona receptora (P5) (Figura 7). Los NO_2 fluctuaron entre 0 – 0.009 mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$ en ambos periodos, con los valores más reducidos en la época seca (0 – 0.003 mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$) y más elevados en la lluviosa (0.003 – 0.009 mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$). La mayor concentración de NO_2 se registró en el punto con presencia de sistemas agropecuarios (P5) en ambos periodos (Figura 7).

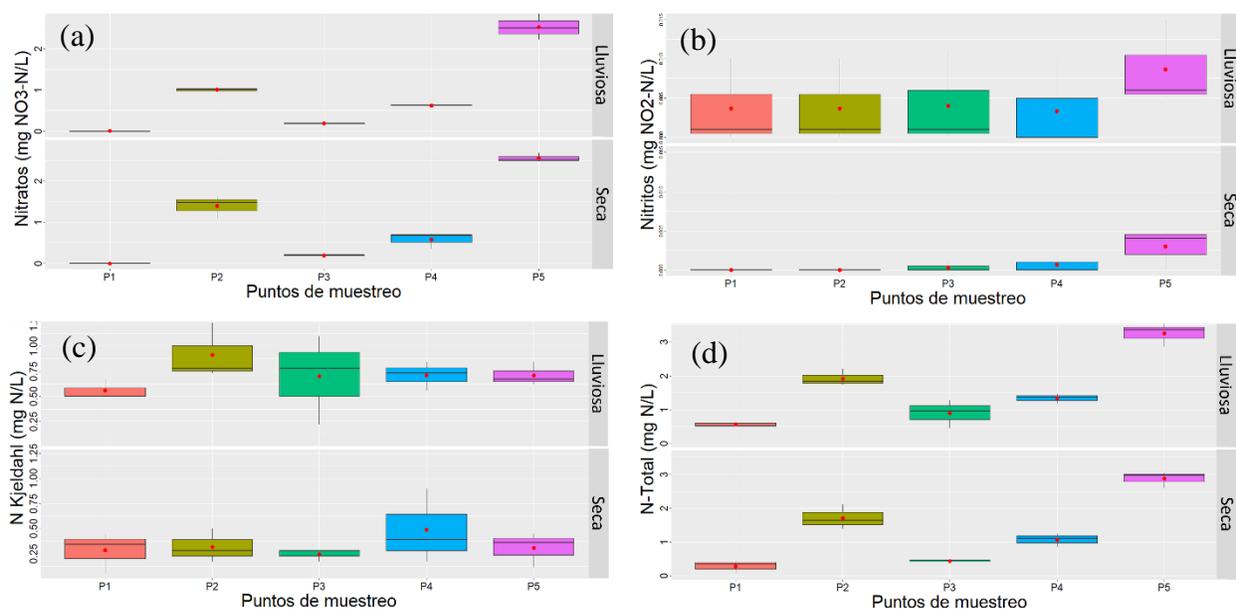
El NKJ fluctuó entre 0.24 – 0.91 mg N-NKJ/L durante las dos épocas, con los valores más reducidos en la época seca (0.24 - 0.48 mg N-NKJ/L) y más elevados en la época lluviosa (0.55 – 0.91 mg N-NKJ/L). Se destaca la zona del nacimiento (P1) con los valores más reducidos durante las dos épocas (Figura 7).

El NT fluctuó entre 0.4 – 3.2 mg N/L durante los dos periodos. Los puntos con presencia de cultivos (2, 4 y 5) presentaron los valores más altos durante las dos épocas (1,071 mg N/L y 3,249

mg N/L), siendo mayor en la zona receptora de la microcuenca (P5). Mientras que las zonas de referencia (P1 y P3) presentaron los valores más reducidos (0,44 – 0,897 mg N/L) (Figura 7).

Figura 7.

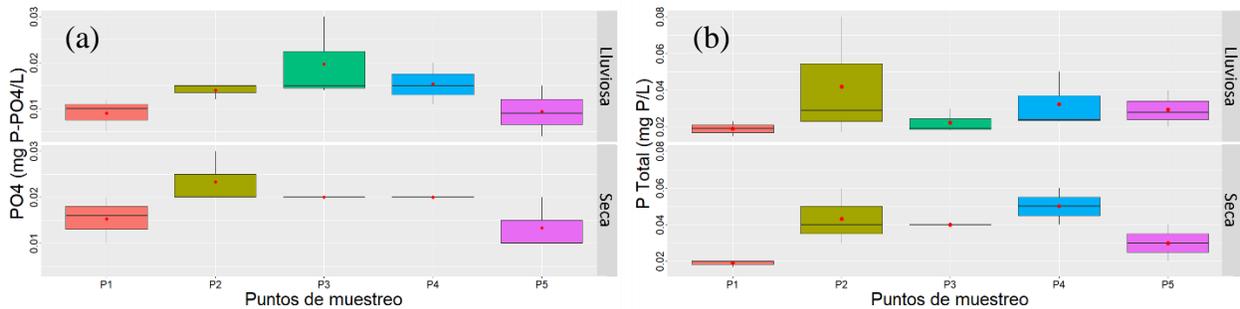
Contenido de nitratos (a), nitritos (b), N Kjeldahl (c) y Nitrógeno total (d) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).



Los valores de PRS fluctuaron entre 0.009 – 0.023 mg P-PO₄/L durante ambos periodos, registrando los valores más elevados en los puntos 2, 3 y 4 (0.014 – 0.023 mg P-PO₄/L) y más reducidos en los puntos 1 y 5 (0.009 – 0.015 mg P-PO₄/L) (Figura 8). El contenido de PT en la microcuenca fluctuó entre 0.019 – 0.050 mg P/L, registrando en los dos periodos los valores más altos en las áreas asociadas con cultivos (P2 y P4) (0.032 – 0.050 mg P/L) y los más reducidos en la zona del nacimiento (P1) (0.019 mg P/L) (Figura 8).

Figura 8.

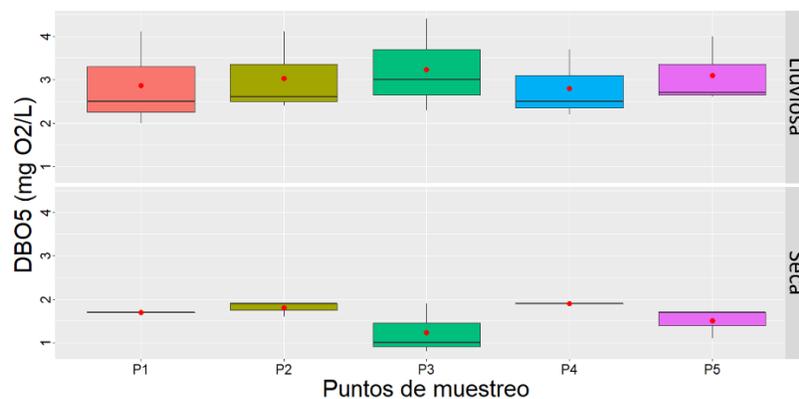
Contenido de fósforo reactivo soluble (a) y fósforo total (b) registrados en cada punto y época de muestreo (n=6).



La DBO5, fue mayor en la época lluviosa con valores entre 2.8 – 3.2 mg O₂/L, mientras que en la época seca se registraron los valores más bajos (1.2 – 1.9 O₂/L), particularmente en la zona con poca intervención (P3) (1.2 mg O₂/L) (Figura 9).

Figura 9.

Valores de DBO5 registrados en el área de estudio durante la época lluviosa y seca (n=6).



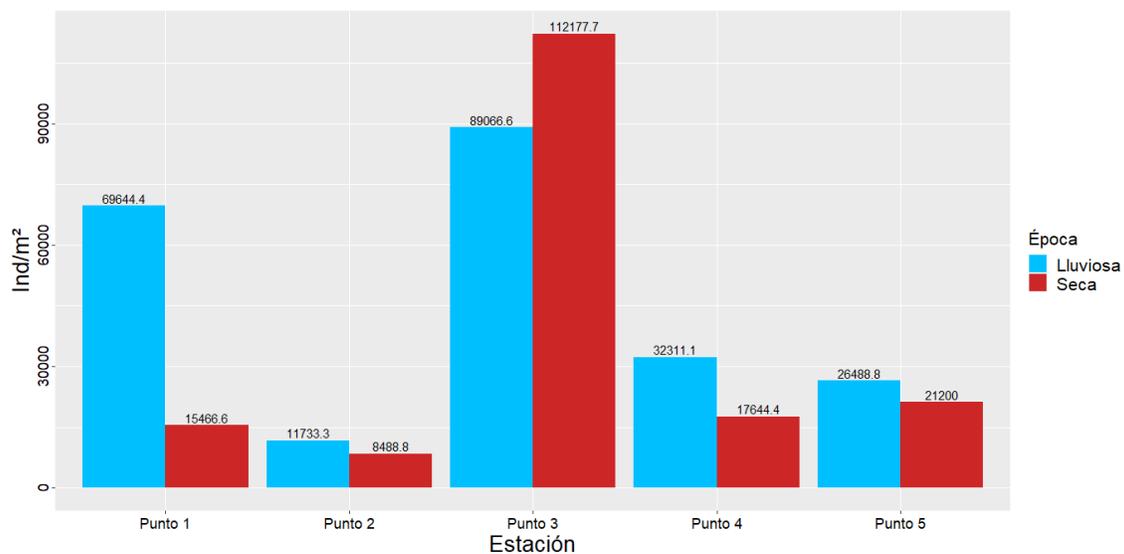
El análisis de componentes principales (PCA), explicó un 52.4% de la variabilidad de los datos en las 2 primeras tendencias de variación. El primer componente explicó un 38.1% del total de la varianza y está asociado positivamente con la mineralización, el contenido de sólidos y el nitrógeno inorgánico; y negativamente con el OD, gravas, pH y la materia orgánica fina (MOF). El segundo componente explicó un 14.3% de la varianza y está asociado positivamente con los contenidos de fósforos y cantos rodados (CR) y negativamente con la materia orgánica gruesa (MOG), el nitrógeno orgánico NKJ y la DBO5 (Figura 10).

En la primera tendencia de variación, se destaca la zona receptora (P5) por presentar el mayor contenido de nutrientes, caudal medio y conductividad eléctrica; mientras que, la zona del nacimiento (P1) presentó aguas menos mineralizadas, con mayor pH, OD, MOF y bajo contenido de nutrientes. Por otra parte, la segunda tendencia de variación se encuentra más relacionada con los contenidos de fósforo, registrándose mayores concentraciones en los puntos asociados a cultivos (P2 y P4), encontrándose más relacionado con los usos del suelo y las condiciones del paisaje (Figura 10).

del punto 1 (84488,7 ind/m²) con un 21.05%; el punto 4 (49777,6 ind/m²) con un 12,36% y el punto 5 (47688,8 ind/m²), con un 11.81%. Se destaca el punto 2 por registrar la menor densidad de individuos en todo el estudio (20222,3 ind/m²), representando solo el 5% (Figura 11).

Figura 11.

Densidad de macroinvertebrados bentónicos por área muestreada en cada punto y época.



A nivel temporal, la época lluviosa registró la mayor densidad de individuos (57%) en comparación a la seca (43%) (Figura 12). Los órdenes que presentaron mayor número de individuos fueron: Amphipoda (50.07%); Diptera (17.13%) y Trichoptera (14.58%); las abundancias de los órdenes restantes fueron inferiores a 6.5% (Figura 13).

Figura 12.

Densidad de macroinvertebrados bentónicos durante las dos épocas de muestreo.

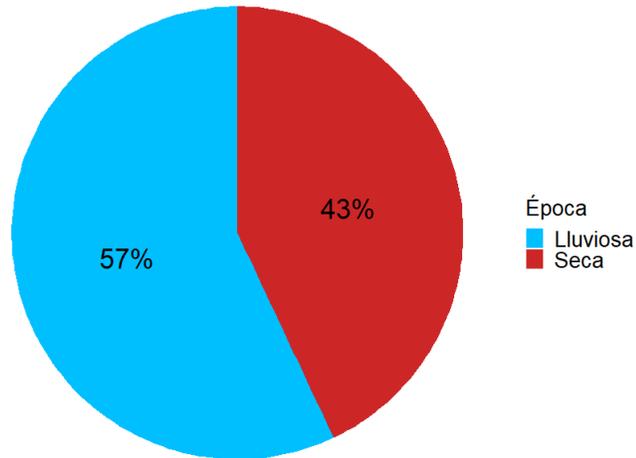
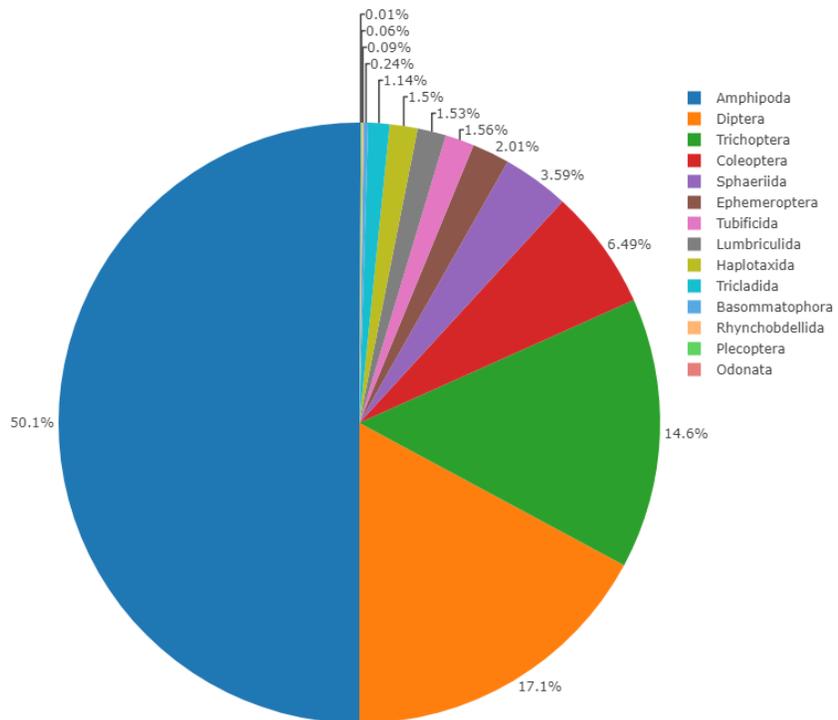


Figura 13.

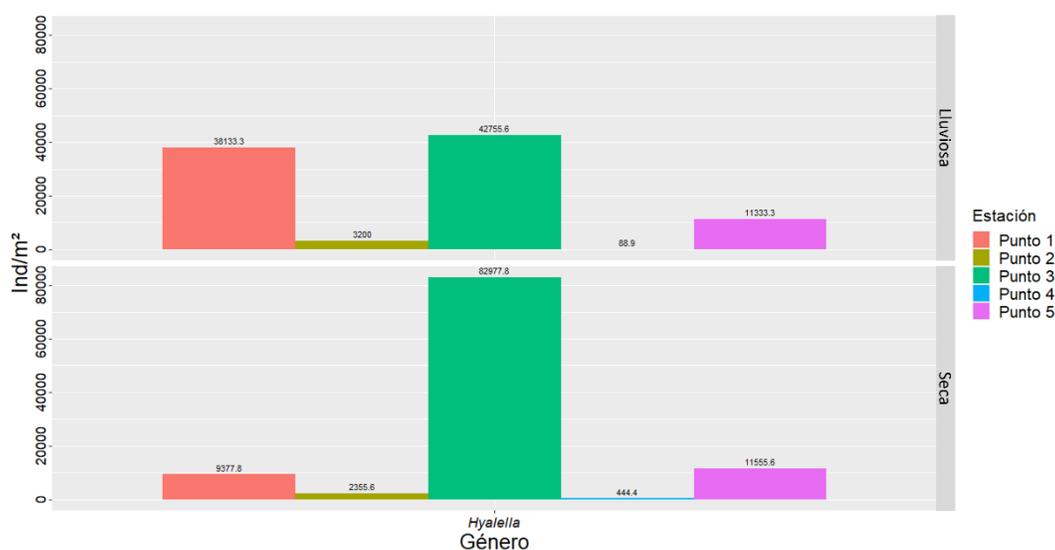
Porcentaje de abundancia de macroinvertebrados bentónicos a nivel de Orden en el estudio.



A pesar de que el orden Amphipoda registró la mayor densidad durante el estudio, únicamente registró un género (*Hyaella*). Durante las dos épocas los sitios de referencia (P1 y P3) registraron la mayor densidad de individuos. Por otro lado, los puntos intervenidos (P2, P4 y P5), presentaron las abundancias más reducidas durante el muestreo (Figura 14).

Figura 14.

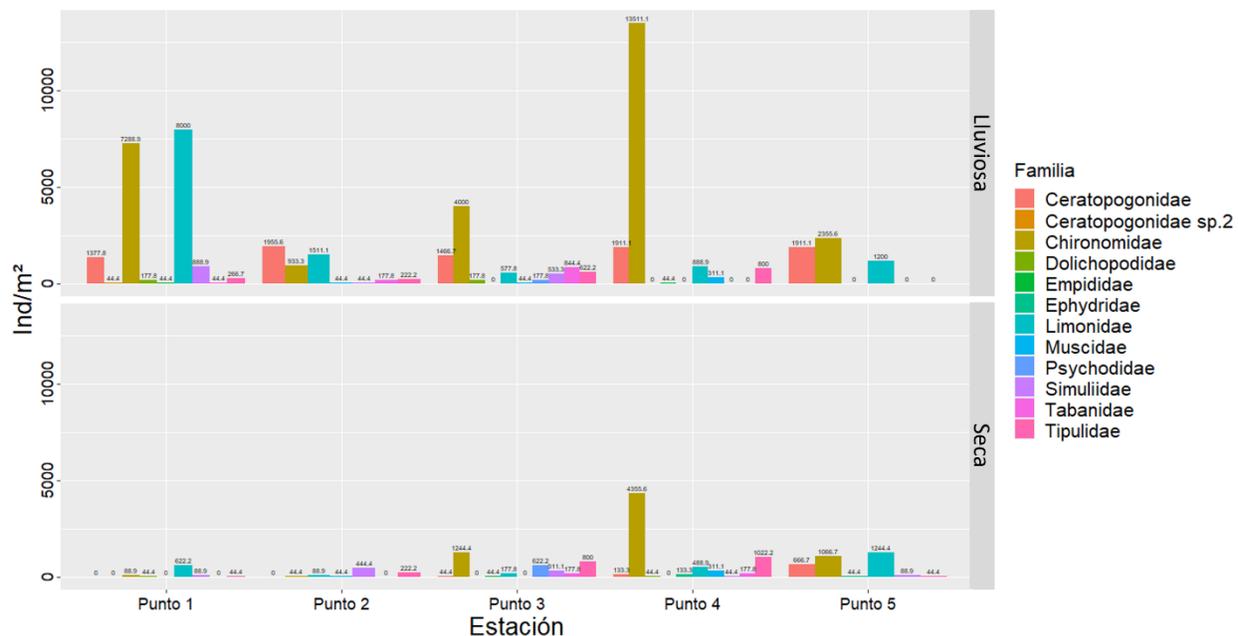
Densidad del género Hyalella en cada punto y época de muestreo.



El orden Diptera fue el más diverso durante el estudio, registrando 11 familias y 12 géneros, con una mayor densidad durante la época lluviosa. Las familias Chironomidae, Limonidae y Ceratopogonidae registraron la mayor densidad de individuos durante el estudio y Tabanidae, Tipulidae Simulidae, Muscidae, Ephydriidae, Dolichopodidae y Empididae presentaron una menor densidad. Dentro de la familia Ceratopogonidae, se presentó un morfotipo (Ceratopogonidae sp.2) registrado únicamente en el punto 1 (Figura 15).

Figura 15.

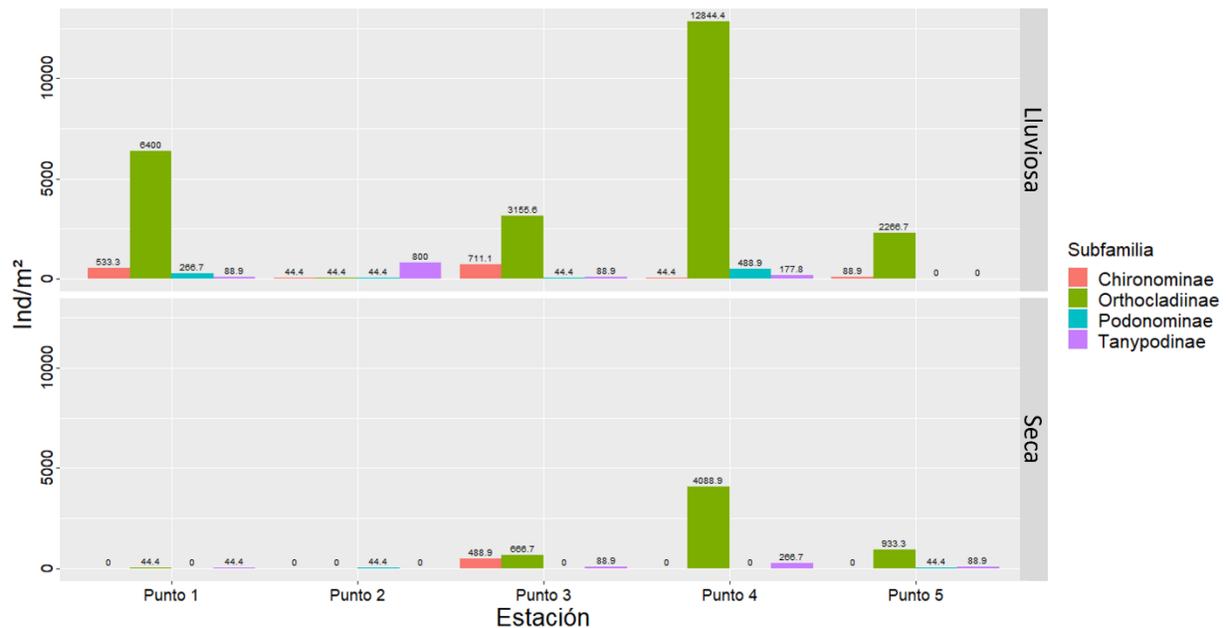
Densidad de familias del orden Diptera en cada punto y época de muestreo.



Dentro de la familia Chironomidae, se registraron 4 subfamilias (Chironominae, Orthocladiinae, Podonominae y Tanypodinae). Orthocladiinae registró la mayor densidad durante las dos épocas, siendo mayor en el P4. Chironominae, registró su mayor densidad en los puntos de referencia (P1 y P3) y Podonominae y Tanypodinae, presentaron la menor densidad durante todo el estudio (Figura 16).

Figura 16.

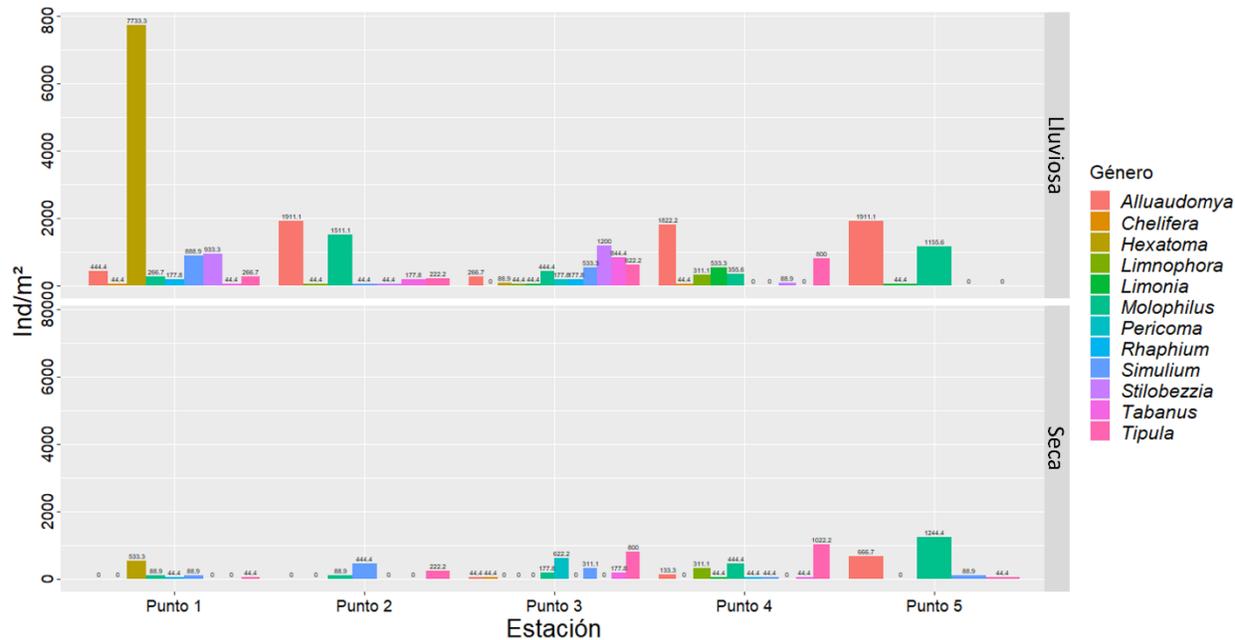
Densidad de subfamilias de Chironomidae en cada punto y época de muestreo.



Dentro del orden Diptera, el género *Hexatoma* registró la mayor densidad siendo más frecuente en la zona del nacimiento (P1) durante la época lluviosa. *Alluadomya*, *Molophilus*, *Simulium*, *Tabanus* y *Tipula*, presentaron una densidad significativa durante las dos épocas. *Chelifera*, *Limnophora*, *Limonia* y *Rhaphium* registraron una menor densidad de individuos, *Pericoma* solo fue registrado en el P3 y *Stilobezzia* solo se presentó durante la época lluviosa en los puntos de referencia (P1 y P3) (Figura 17).

Figura 17.

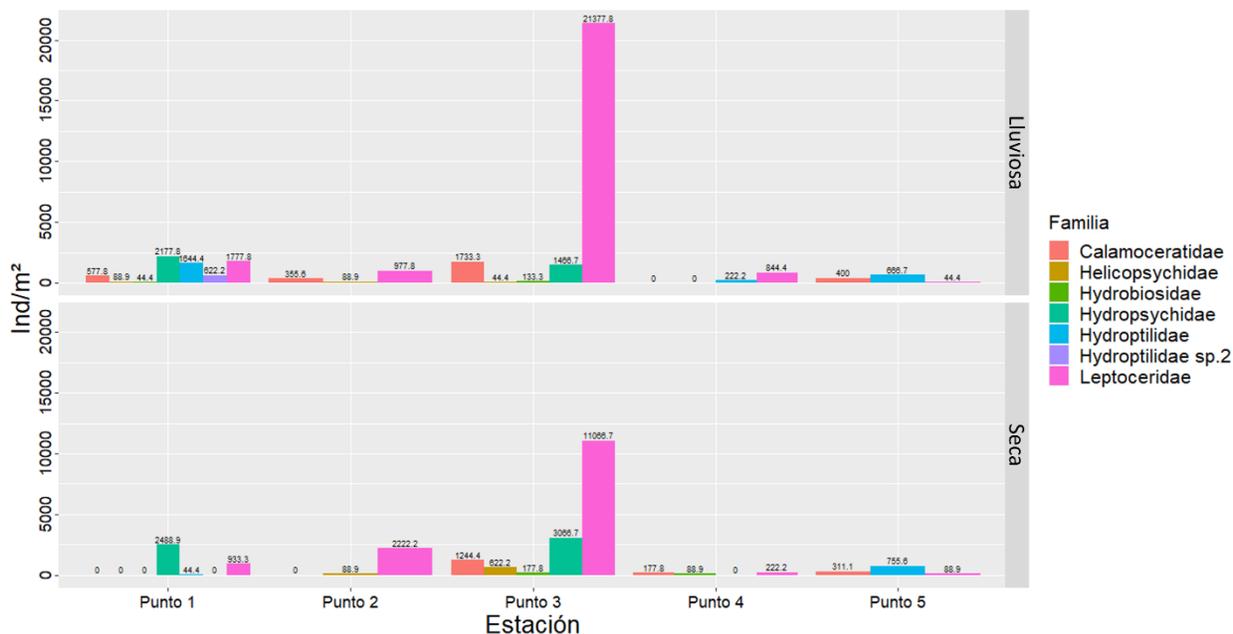
Abundancia de géneros del orden Diptera en cada punto y época de muestreo.



Trichoptera fue el segundo orden con mayor diversidad, registrando 6 familias y 7 géneros. Las familias con mayor densidad durante las dos épocas fueron Leptoceridae, Hydropsychidae, Calamoceratidae y Hydroptilidae. Helicopsychidae e Hydrobiosidae, registraron una menor densidad y dentro de la familia Hydroptilidae, se presentó un morfotipo (Hydroptilidae sp.2) registrado únicamente en el P1 (Figura 18).

Figura 18.

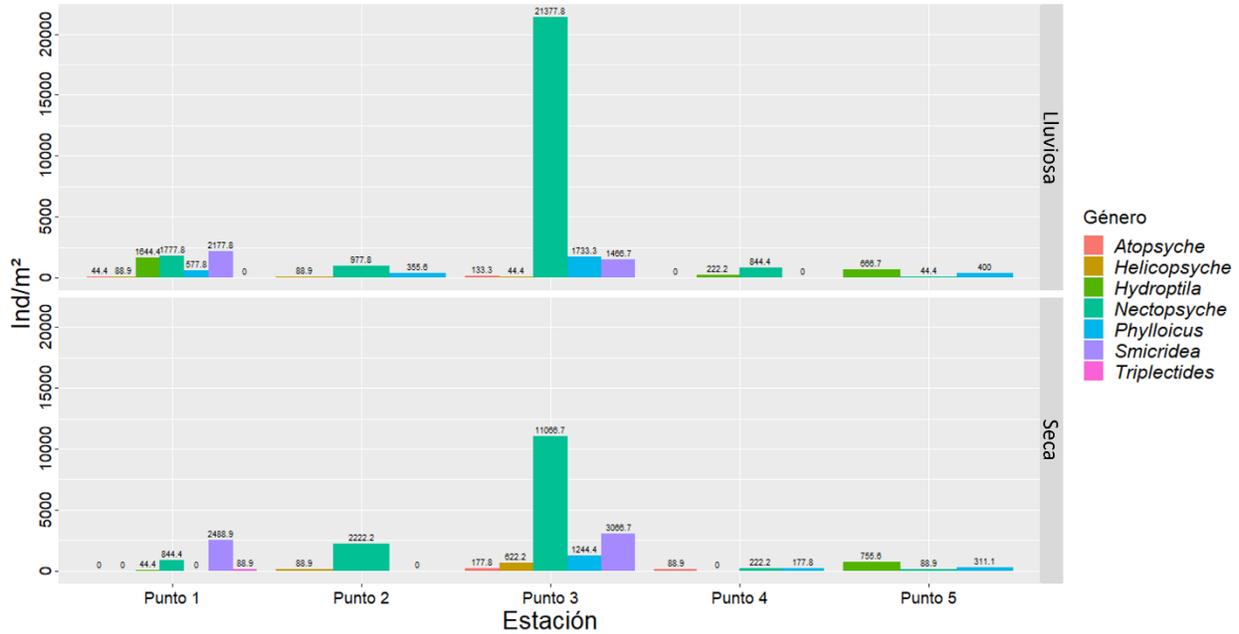
Densidad de familias del orden Trichoptera en cada punto y época de muestreo.



Durante las dos épocas el género *Nectopsyche* presentó la mayor densidad siendo más recurrente en el P3. *Smicridea* y *Phylloicus*, registraron densidades significativas presentándose con mayor frecuencia en las áreas de referencia (P1 y P3), mientras que, *Hydoptila*, *Atopsyche* y *Helicopsyche*, registraron las menores densidades. El género *Triplectides* solo se registró en el P1 durante la época seca, siendo el menos representativo dentro de este orden (Figura 19).

Figura 19.

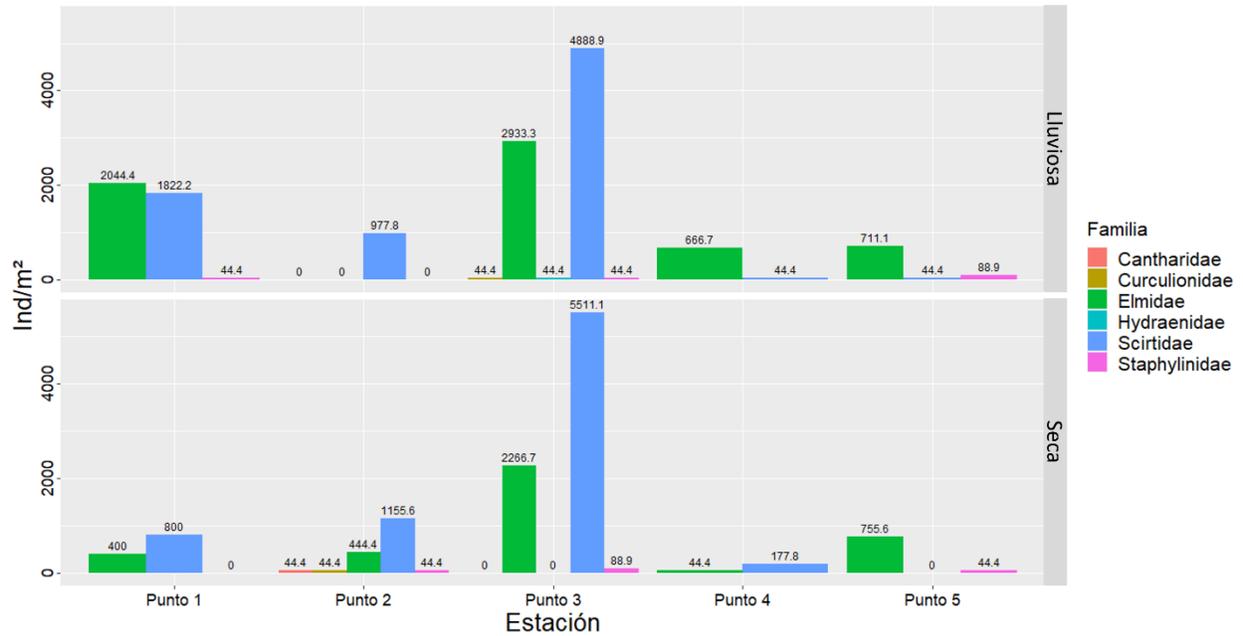
Densidad de géneros del orden Trichoptera en cada punto y época de muestreo.



El orden Coleoptera, registró 6 familias y 4 géneros, con una mayor densidad durante la época lluviosa. Las familias con las mayores densidades durante las dos épocas fueron Scirtidae y Elmidae siendo más frecuentes en el punto P3. Por otro lado, Staphylinidae y Curculionidae, registraron una densidad muy reducida y Hydraenidae y Cantharidae, únicamente fueron registrados en un punto y periodo de muestreo (Figura 20).

Figura 20.

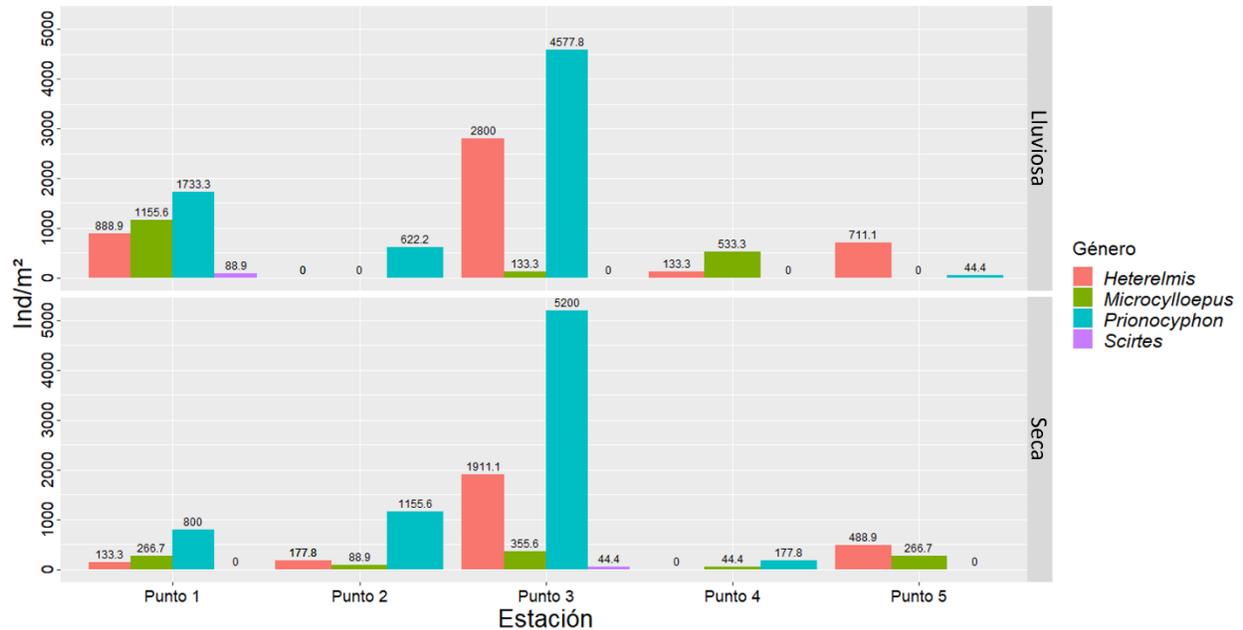
Densidad de familias del orden Coleoptera en cada punto y época de muestreo.



Los géneros con mayor densidad durante las dos épocas fueron *Prionocyphon*, *Heterelmis* y *Microcylloepus*; siendo *Prionocyphon* el más representativo durante el estudio. Por otro lado, *Scirtes*, reportó la menor densidad (Figura 21).

Figura 21.

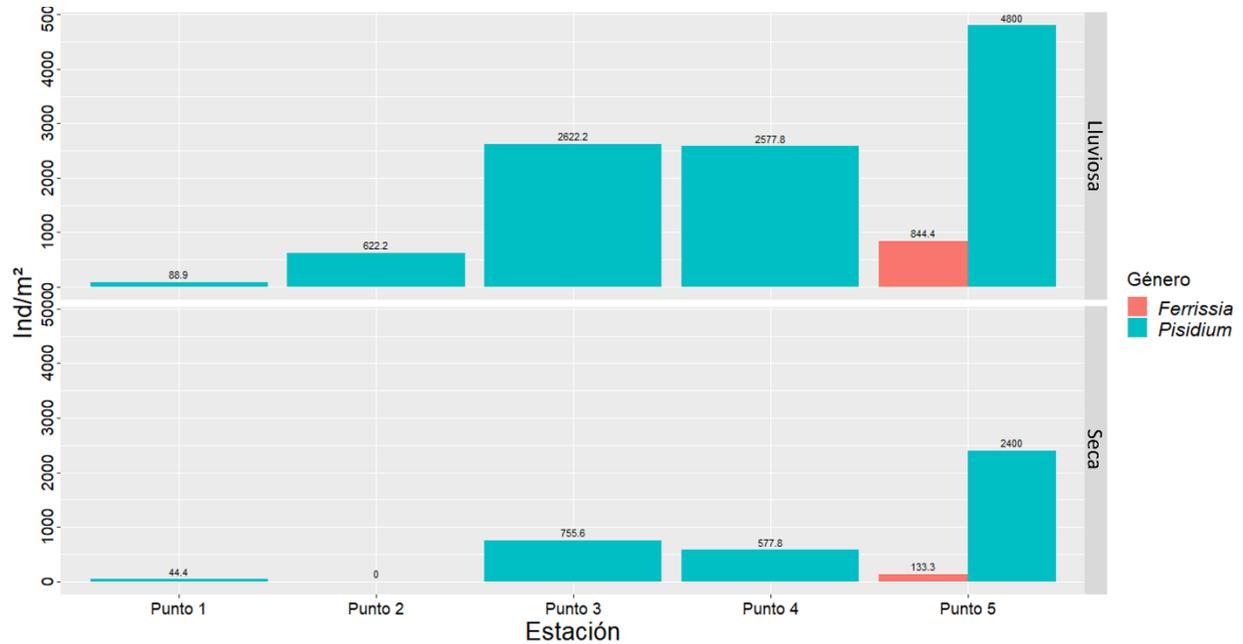
Densidad de géneros del orden Coleoptera en cada punto y época de muestreo.



El orden Sphaeriida, presentó 2 familias y 2 géneros (*Pisidium* y *Ferrisia*), con mayor densidad en la época lluviosa. El género *Pisidium* registró la menor densidad en la zona del nacimiento (P1) y al igual que *Ferrisia* fue más recurrente en la zona receptora (P5) (Figura 22).

Figura 22.

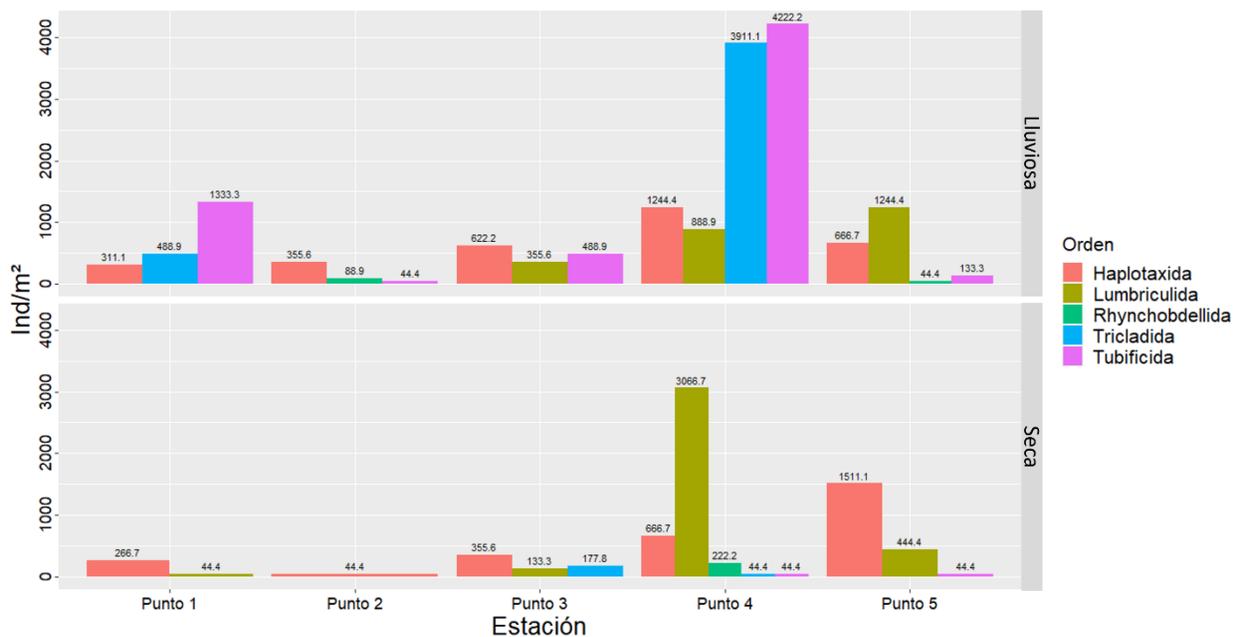
Densidad de géneros del orden Sphaeriida en cada punto y época de muestreo.



Los órdenes Tubificida, Tricladida, se registraron con mayor frecuencia durante la época lluviosa. Lumbriculida y Haplotaxida, se registraron con mayor frecuencia durante las dos épocas. Rhynchobdellida presentó la menor densidad durante las dos épocas. (Figura 23).

Figura 23.

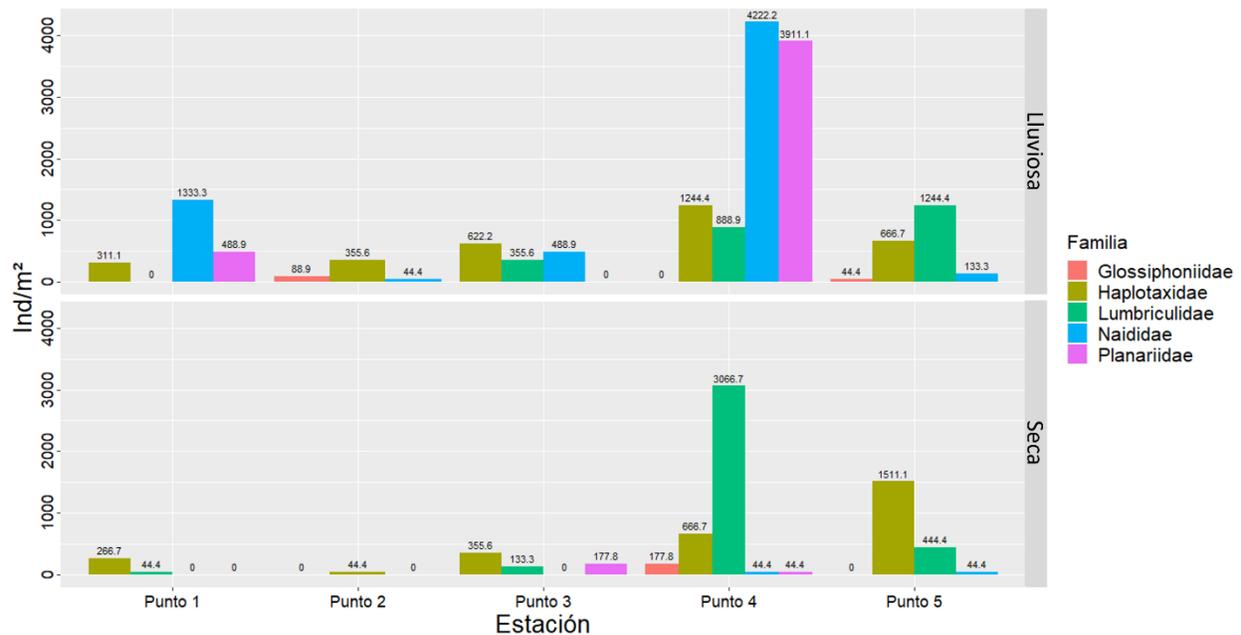
Densidad de los órdenes Lumbriculida, Haplotaxida, Tricladida, Tubificida y Rhynchobdellida en cada punto y época de muestreo.



De manera general los puntos 1, 2 y 3 registraron las menores densidades durante las dos épocas. Naididae y Planariidae fueron más recurrentes en el P4 durante la época lluviosa y Lumbriculidae registró una mayor densidad en los puntos intervenidos (P4 y P5) durante las dos épocas. Mientras que, Haplotaxidae, se registró en todos los puntos en ambos muestreos. La familia Glossiphoniidae, presentó las menores densidades durante las dos épocas (Figura 24).

Figura 24.

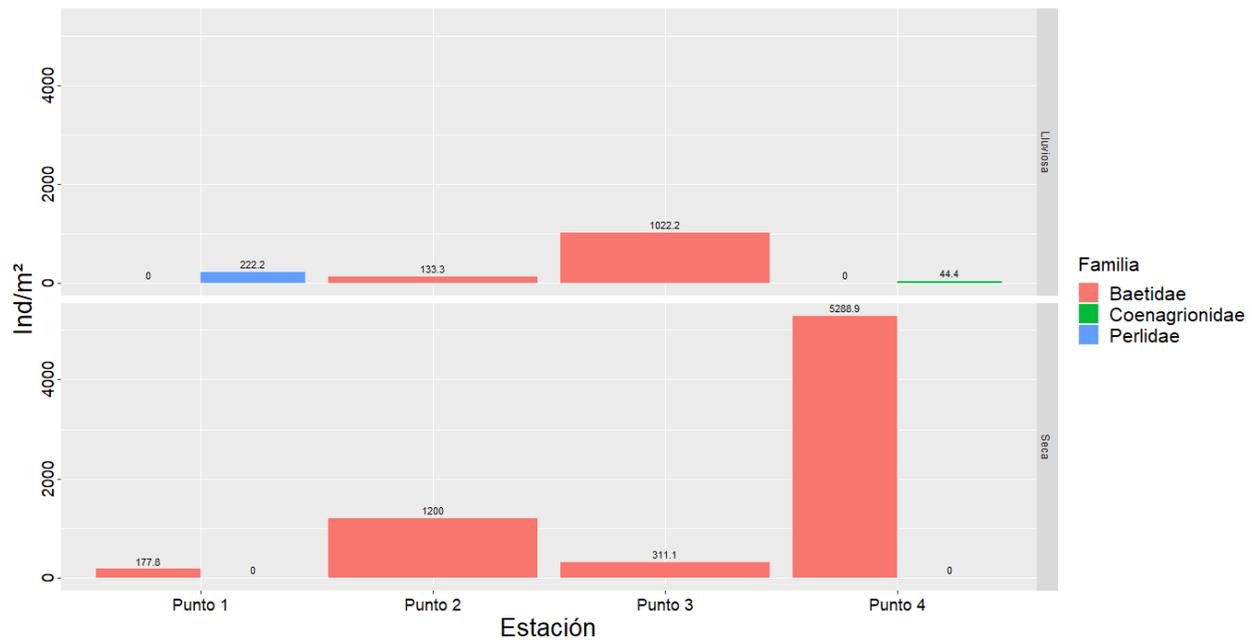
Densidad de familias del orden Lumbriculida, Haplotaxida, Tricladida, Tubificida y Rhynchobdellida en cada punto y época de muestreo.



El orden Plecoptera, registró solo el género (*Anacroneuria*/Perlidae) en la zona del nacimiento (P1) durante la época lluviosa con una densidad muy reducida (222.2 ind/m²). De igual forma el orden Odonata, presentó solo una familia (Coenagrionidae) registrándose únicamente en el P4 durante la época lluviosa. El género *Americabaetis* (Baetidae/Ephemeroptera) fue recurrente durante la época seca en los puntos intervenidos (P2 y P4) y durante la época lluviosa, solo se presentó en los puntos 2 y 3 (Figura 25).

Figura 25.

Densidad de familias del orden Odonata, Plecoptera y Ephemeroptera en cada punto y época de muestreo.



4.3 Patrón de distribución de la comunidad

La configuración espacial en los ejes del NMDS considera similares a las áreas de muestreo de referencia (P1 y P3) y las zonas con cultivos y ganadería (P4 y P5), ya que se encuentran cercanas en el espacio de ordenamiento.

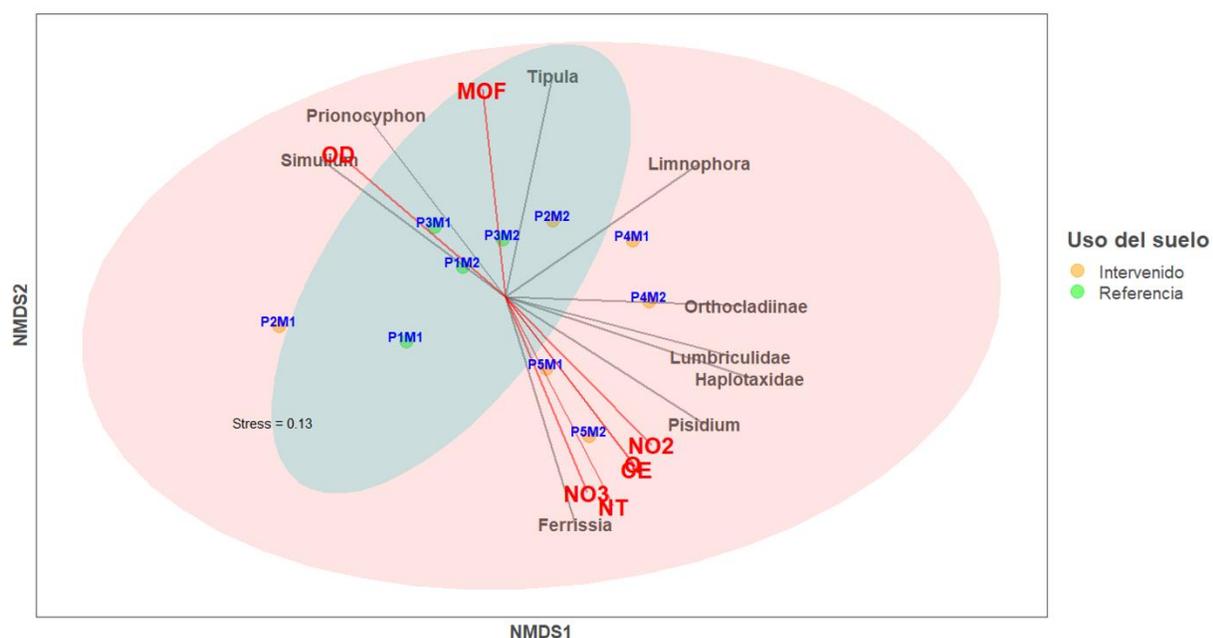
De las 34 familias y 28 géneros registrados durante el estudio, 9 taxa presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la distribución entre los diferentes puntos de muestro. *Simulium* y *Prionocyphon*, fueron altamente representativos en los puntos de referencia (1 y 3), mientras que, Lumbriculidae, Haplotaxidae, Orthocladiinae, *Limnophora*, *Pisidium* y *Ferrissia*,

fueron más recurrentes en los puntos intervenidos (4 y 5). Por otro lado, el género *Tipula* se encontró más relacionado a los puntos 2 y 3 (Figura 26).

De las 18 variables fisicoquímicas y ambientales registradas durante este estudio, solo 7 presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los diferentes puntos de muestreo y están representadas a manera de flechas en la figura 24. El oxígeno disuelto y la materia orgánica fina se encontraron más relacionadas a los puntos menos intervenidos (1 y 3), mientras que, la conductividad, el caudal, y el nitrógeno se encontraron asociados a los puntos con contaminación (4 y 5) (Figura 26).

Figura 26.

Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS), para las variables físicas, químicas, hidrogeomorfológicas y de los macroinvertebrados bentónicos en el área de estudio. Las flechas representan los rasgos significativos ($p < 0.05$) (función envfit).

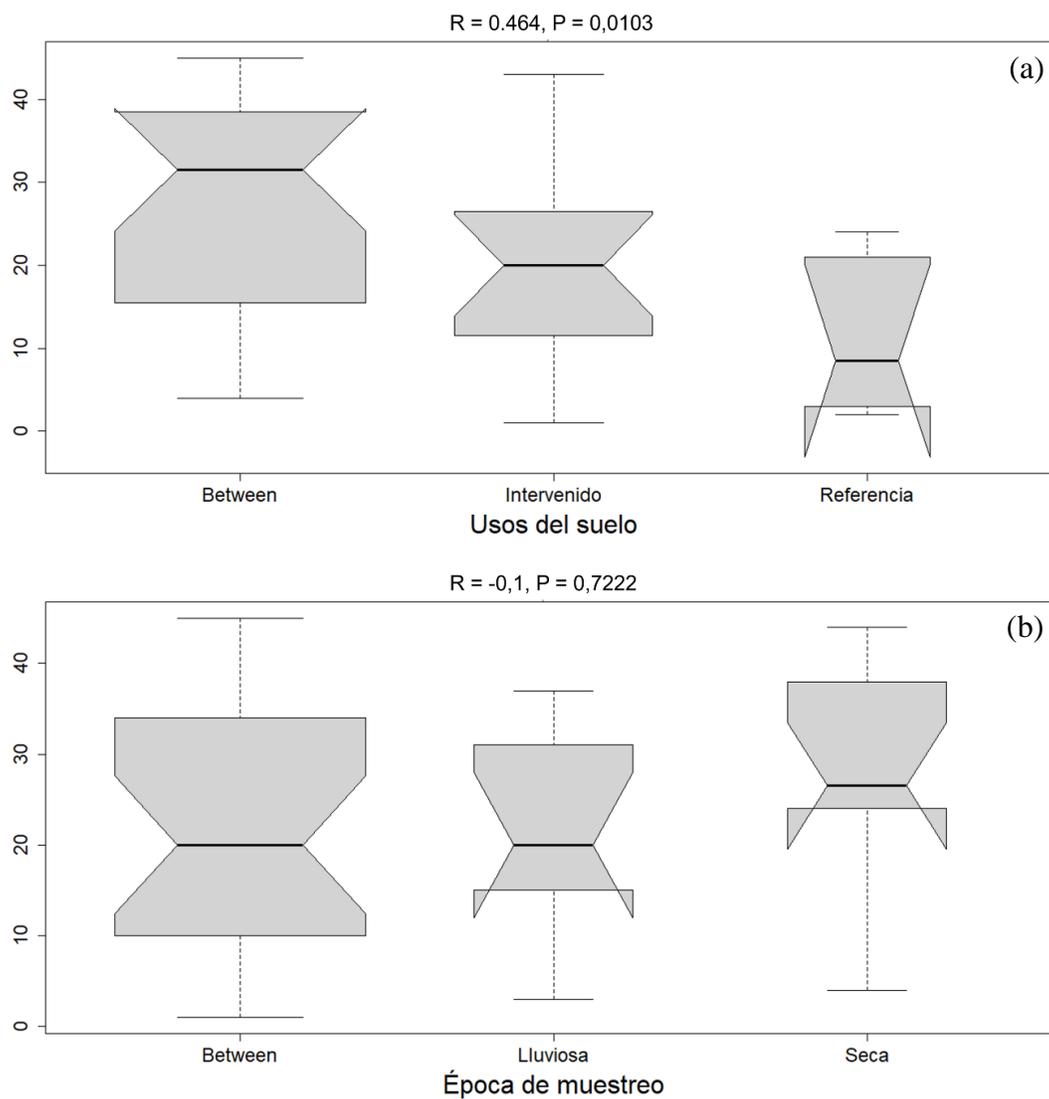


Nota: M1: Época seca; M2: Época lluviosa; P: Punto de muestreo.

De acuerdo con el ANOSIM, las diferencias observadas en la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos no se deben a las épocas de muestreo ($p=0.72$, $r= -0.1$), si no a los cambios en las intensidades en el uso del suelo (referencia vs intervenido) ($p=0.01$, $r= 0.46$) (Figura 27).

Figura 27.

Anova de similitud (ANOSIM) para los usos del suelo (a) y épocas de muestreo (b).



4.4 Diversidad

La diversidad de orden $q=0$ varió entre 36 y 24 especies, siendo mayor la diversidad en el punto 3 y menor en el punto 5, evidenciando un aumento en la riqueza de especies en los puntos de referencia (P1 y P3) y una disminución en los puntos intervenidos (P2, P4 y P5). Un patrón distinto se registró en la diversidad de orden $q=1$ y $q=2$ siendo los puntos asociados a contaminación (P2 y P4) con mayor diversidad y el punto 3 con una menor diversidad. En cuanto a la diversidad de orden $q=0$, los puntos 2 y 3 presentaron una mayor diferencia entre lo observado y esperado, el punto 4 en una menor proporción y los puntos 1 y 5 presentaron valores muy cercanos entre si (Tabla 2).

Tabla 2.

Número de especies observadas y estimadas en cada punto de muestro para los números de Hill q_0 , q_1 y q_2 .

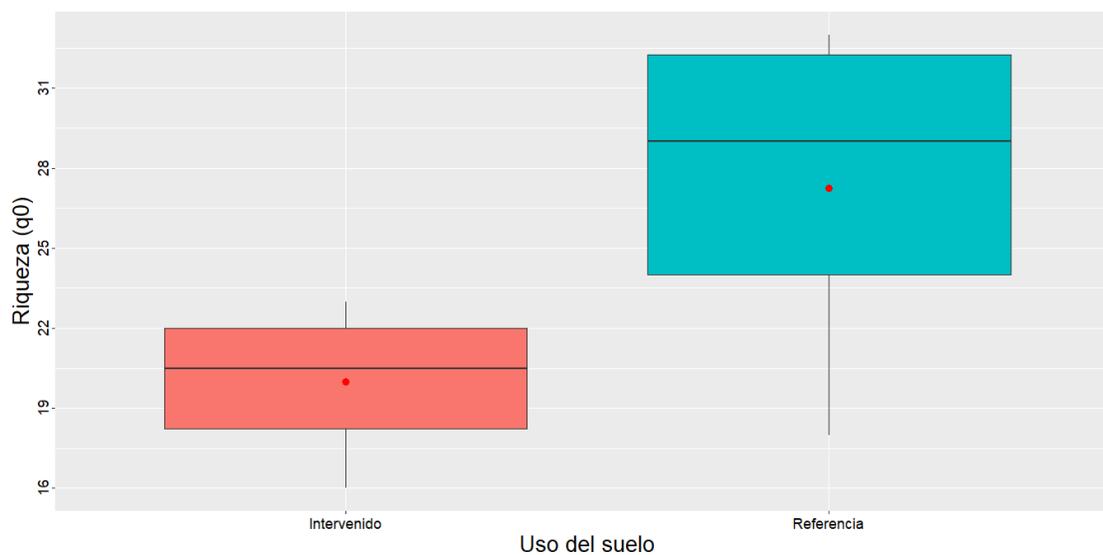
Punto de muestreo	Índice de diversidad	Observado	Estimado
Punto 1	Riqueza de especies (q_0)	35	40.99
	Diversidad de Shannon (q_1)	6.49	6.57
	Diversidad de Simpson (q_2)	3	3
Punto 2	Riqueza de especies (q_0)	28	41.47
	Diversidad de Shannon (q_1)	11.45	12
	Diversidad de Simpson (q_2)	7.52	7.63
Punto 3	Riqueza de especies (q_0)	36	60.49
	Diversidad de Shannon (q_1)	4.52	4.55
	Diversidad de Simpson (q_2)	2.37	2.37

	Riqueza de especies (q0)	31	43.23
Punto 4	Diversidad de Shannon (q1)	10.96	11.17
	Diversidad de Simpson (q2)	6.50	6.53
	Riqueza de especies (q0)	24	29.9
Punto 5	Diversidad de Shannon (q1)	6.57	6.67
	Diversidad de Simpson (q2)	3.72	3.73

En el caso de la riqueza de especies (q0), se observa una clara diferencia entre los puntos intervenidos y de referencia, evidenciando una menor riqueza de taxa en los puntos asociados a actividades agropecuarias (Figura 28).

Figura 28.

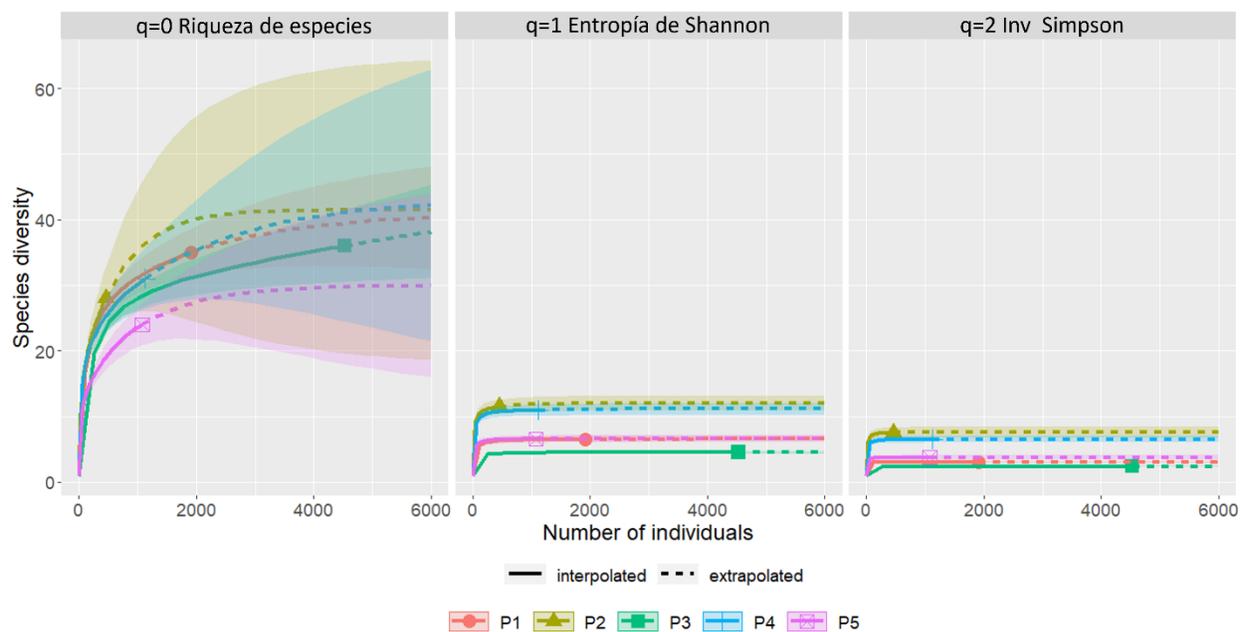
Riqueza de especies (q0) con respecto a las zonas intervenidas y de referencia.



Al examinar la diversidad estimada por extrapolación se observa el solapamiento de los valores de $q=0$, mientras que, en $q=1$ y $q=2$, los puntos 2 y 4 se diferencian de los puntos 1, 3 y 5. A lo largo del gradiente de estudio, no se observan diferencias significativas en la riqueza de especies, ya que todos los intervalos de confianza se superponen (Figura 29).

Figura 29.

Curvas de rarefacción basadas en el tamaño de la muestra (línea sólida) y extrapolación (línea punteada) sobre una muestra basada en 62 individuos para los números de Hill de orden $q=0$ (panel izquierdo), $q=1$ (panel centro) y $q=2$ (panel derecho).



5. Discusión

5.1 Aspectos físicos y químicos del área de estudio

Según la CDMB (2011), el periodo de alta precipitación en el páramo de Berlín se encuentra entre los meses de abril – junio y septiembre – noviembre, concordando con los valores de caudal durante el segundo muestreo, que presentaron un aumento significativo con respecto al primero.

El comportamiento de las variables fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas a lo largo de la microcuenca se encuentran altamente relacionadas con el periodo de lluvias y las actividades antrópicas. Al igual que lo planteado por diversos autores y lo registrado en este estudio, la mayor mineralización y contenidos de sólidos en los cuerpos de agua se encontraron asociados a los sistemas agrícolas y pecuarios (P2 y P5), siendo mayores en la zona receptora (P5), debido al arrastre de sales, minerales y nutrientes provenientes de los cultivos y puntos de muestreo adyacentes (Villamarín et al., 2014; Gómez et al., 2017; Benjumea-Hoyos, 2018; Loza del Carpio & Ccancapa Salcedo, 2020).

El NT, NO₃ y NO₂ registraron sus mayores contenidos en los puntos asociados a actividades agropecuarias (P2 y P5), debido al uso de fertilizantes nitrogenados, presencia de sistemas pecuarios, poca vegetación riparia, descomposición orgánica (reducción de nitratos a nitritos) y a los procesos erosivos que aportan una gran cantidad de estos compuestos a los cuerpos de agua (Simal-Lozano et al., 1984; De Miguel-Fernández & Vásquez-Taset, 2006; Alonso & Camargo, 2007; Villamarín, 2008; Torres & Durán, 2019; Gómez & Quintero, 2020).

Por otra parte, el OD y pH registraron los valores más altos en el nacimiento (P1) y fueron disminuyendo gradualmente a lo largo del gradiente debido a una mayor carga de nutrientes y al

uso de fertilizantes con componentes nitrogenados (nitratos, amonios y amidas) en los cultivos, que por procesos de nitrificación liberan iones de hidrogeno en el medio (Cal/EPA, 2013; Buyaert et al., 2006; Baldoncini, 2015; Botero-Álvarez et al., 2020). Estos resultados son semejantes a lo reportado en el estudio de Villamarín et al., (2014), en donde las concentraciones de OD eran menores en localidades con presencia de contaminación orgánica.

La concentración de fósforos (PT y PRS), podría estar relacionada con el uso de fertilizantes fosfatados, dinámica de los suelos (nutrientes provenientes de las pendientes circundantes) y con altos contenidos de materia orgánica en descomposición de origen animal y vegetal (Bobadilla & Rincón, 2008; Severiche et al., 2013; Arce et al., 2018; Benjumea-Hoyos et al., 2018).

La DBO5 fue similar en todos los puntos, pero con una clara diferencia en los dos periodos de estudio. Esta similitud puede asociarse a las bajas tasas de degradación de la materia orgánica en los ecosistemas de páramo y las diferencias entre las dos épocas pueden estar asociadas al aumento del material alóctono en el cuerpo de agua producto de las lluvias (Llambí, 2012).

El nacimiento (P1) registró los mayores porcentajes de gravas y vegetación ribereña, estableciendo una base firme para la fijación de organismos de vida sedentaria y favoreciendo el aumento de las concentraciones de oxígeno disuelto (Arango et al., 2008). La presencia de áreas con vegetación ribereña aumenta la diversidad y densidad de macroinvertebrados bentónicos, proporcionando una mayor cantidad de material alóctono (hojarasca, ramas, troncos) y actuando como barreras naturales reteniendo el arrastre de sedimentos, nutrientes y otros contaminantes provenientes de los suelos adyacentes (Alonso 2006; Londoño et al., 2017).

Los sustratos arenosos y la presencia de pastos se encontraron más asociados a los puntos intervenidos (P4 y P5), disminuyendo el ingreso del material vegetal alóctono y aumentando la

carga de sedimentos y nutrientes provenientes de las zonas aledañas, provocando una menor variedad de microhábitats y alimentos disponibles reduciendo la diversidad de macroinvertebrados bentónicos (Rivera, 2004; Acosta et al., 2009).

5.2 Composición y patrón de distribución

Los 62 taxones encontrados (entre familias y géneros) en la microcuenca del río Jordán del páramo de Santurbán, reflejan la alta diversidad de macroinvertebrados bentónicos que existe en la zona, similar a lo encontrado por Castellanos & Serrato (2008) en un estudio realizado en el nacimiento el Mortiño, en el páramo de Santurbán (entre los 3306 – 3120 ms.n.m.) reportando 63 taxones. Otro estudio fue realizado por Gavilán et al., (2000) a una altitud aproximada de 3140 ms.n.m en la microcuenca del río Jordán en el páramo de Berlín, reportando una riqueza de 26 morfoespecies.

Con respecto a los puntos de referencia (P1 y P3), se registraron géneros y familias, como *Anacroneuria* (Plecoptera), el cual se encuentra asociado a corrientes rápidas, altos niveles de oxígeno disuelto y cuerpos de agua limpios o con bajos niveles de contaminación (Tomanova & Tedesco, 2007; Gutiérrez-Fonseca, 2010). Ortega et al., (2010), se refieren a los individuos pertenecientes a este orden como los más exigentes en cuanto a calidad de agua dentro de los macroinvertebrados bentónicos.

Así como los pertenecientes al orden Trichoptera, que confirman una alta calidad ecológica en dichos tramos (Ríos, 2008; Alba & González, 2015), se destacan los géneros *Nectopsyche*,

Helicopsyche y *Smicridea*, habitando en cuerpos de agua limpios, bien oxigenados y con altos porcentajes de vegetación ribereña, aunque algunas especies de *Smicridea* pueden tolerar altos niveles de contaminación (Gavilán et al., 2000; Springer, 2006; Ríos, 2008; Domínguez & Fernández, 2009; García, 2016; Ramírez et al., 2018).

La alta densidad del género *Hexatoma* (Diptera) en la zona del nacimiento (P1), podría estar asociada con la presencia de bosque de ribera y aguas poco contaminadas (Pérez, 2015; Londoño et al., 2017; Ramírez et al., 2018). Dentro del orden Coleoptera los géneros *Heterelmis* (Elmidae) y *Prionocyphon* (Scirtidae), se asociaron a altos niveles de oxígeno disuelto y abundante vegetación marginal (Domínguez & Fernández, 2009; Laython, 2017), razón por la cual se reportaron con mayor frecuencia en los puntos de referencia (P1 y P3).

En los puntos asociados a contaminación (P2, P4 y P5), se registró una mayor densidad de taxa pertenecientes al orden Diptera, debido a que las especies se encuentran ampliamente distribuidas, abarcan una gran variedad de hábitats y toleran amplios rangos de contaminación (Domínguez & Fernández, 2009; Ladrela, 2012). La alta densidad de Orthoclaadiinae y *Limnophora* en los puntos asociados a contaminación (particularmente en el P4), sugiere su preferencia por ambientes con altos contenidos de nutrientes, materia orgánica en descomposición, cuerpos de agua con moderados niveles de contaminación y corriente moderada (Roldán, 1988; Bouchard, 2004; Oscoz et al., 2006; Pontón, 2012; Moller, 2013).

Así mismo se registraron géneros como *Americabaetis* (Ephemeroptera), siendo frecuentes en zonas de rápidos, sustratos rocosos, altos contenidos de materia orgánica y altas concentraciones de fosforo (Domínguez & Fernández, 2009; Flowers & De la Rosa, 2010; Rojas-Peña, 2021). Otros estudios en ríos altoandinos y de páramo, asociaron a la familia Baetidae a aguas contaminadas y

con mayor abundancia durante el periodo de baja precipitación (Ríos, 2008; Meneses-Campo et al., 2019). De igual manera la familia Coenagrionidae (Odonata), habita en ambientes con influencia de sistemas agropecuarios, sin bosque de ribera y es indicadora de aguas ligeramente contaminadas (Ramírez, 2010a; Ramírez et al., 2018).

La alta recurrencia de las familias como Planariidae, Lumbriculidae, Naididae, Haplotaxidae y Glossiphoniidae en los puntos asociados a contaminación, podría estar asociada a las características del tramo dominado por sedimentos alóctonos y la vegetación acuática (Rivera-Usme et al., 2013) y a su frecuencia en sitios con corriente moderada, altos niveles de contaminación orgánica y bajas concentraciones de oxígeno (Roldán, 1998; Tavares & Da Gama, 2008; Domínguez y Fernández, 2009; Encalada et al., 2011; Schdmit & Vargas, 2012; Londoño et al., 2017). Estos organismos son tolerantes a la contaminación orgánica e inorgánica siendo indicadores de aguas contaminadas (Oscos et al., 2011; Rivera-Usme et al., 2013). Aunque la familia Planariidae también puede encontrarse en ambientes con altos niveles de oxígeno disuelto (Roldán, 1998; Oscos et al., 2011), lo cual puede explicar su presencia en las zonas prístinas (P1 y P3).

La zona receptora de la microcuenca (P5), registró una alta densidad de géneros como *Pisidium* y *Ferrissia*, asociados a cuerpos de agua sin bosque de ribera y contaminación orgánica por las actividades agropecuarias (Posada et al., 2000; Roldán, 2003; Zuñiga et al., 2013; Ramírez et al., 2018).

Algunos géneros como *Hyalella* (Amphipoda), registraron un amplio rango de distribución durante este estudio, siendo más frecuente en los puntos de referencia (P1 y P3), prefiriendo

ambientes con vegetación ribereña, alta concentración de oxígeno disuelto, pH y materia orgánica fina (Villamarín, 2008; Acosta, 2009). Sin embargo, también pueden encontrarse en zonas con bajos niveles de oxígeno y altos niveles de conductividad (Miserendino & Pizzolon, 2000; Villamarín, 2008), lo que explica la densidad tan elevada en la zona receptora de la microcuenca (P5). Al igual que *Microcylloepus* (Elmidae), aunque registró una baja densidad, fue recurrente en todos los puntos de muestreo, lo cual puede asociarse a una amplia tolerancia habitando desde ambientes prístinos hasta ambientes con moderados niveles de contaminación orgánica (Laython, 2017; González-Córdoba et al., 2020).

Simulium se registró con mayor frecuencia en los sitios con altos niveles de oxígeno disuelto (P1, P2 y P3), concordando con los resultados obtenidos por Meneses-Campo et al., (2019) y lo expuesto por Domínguez y Fernández (2009). Otro género que registró una densidad significativa fue *Tipula*, siendo más recurrente en los puntos 2 y 3 y habitando en cuerpos de agua con materia orgánica en descomposición (Roldán 1988; Gavilán et al., 2000).

De acuerdo con el NMDS, el OD es un factor determinante en la composición de macroinvertebrados bentónicos afectando la estructura de estos y reflejando la capacidad que tienen estos organismos para tolerar ciertos rangos (Sierra, 2011).

Asimismo, la MOF es fundamental para el desarrollo de los macroinvertebrados bentónicos ya que es considerada como una de las principales fuentes de energía para estas comunidades (Salazar-Sánchez et al., 2014). Las modificaciones entre las fuentes de materia orgánica alóctonas y autóctonas están influenciadas por los cambios en el uso del suelo, alterando las condiciones naturales del cuerpo de agua y conllevando a la pérdida en la diversidad de macroinvertebrados bentónicos (Londoño et al., 2017). Organismos como *Simulium* y *Prionocyphon* se encontraron

asociados a los puntos de referencia (P1 y P3) con altos niveles de OD y MOF concordando con lo expuesto en la literatura (Roldán, 1998; Domínguez & Fernández, 2009; Thorp et al., 2018). Por otra parte, el aumento de los nutrientes y mineralización por causas naturales o antrópicas se encuentran asociados a una baja calidad en los ambientes acuáticos, determinando la presencia o ausencia de ciertos grupos de macroinvertebrados bentónicos (Harding et al., 1999). *Pisidium*, *Ferrissia*, Orthocladiinae, Haplotaxidae y Lumbriculidae se encontraron fuertemente asociados a estas condiciones en especial en los puntos con presencia de contaminación (Roldán, 2003; Domínguez y Fernández, 2009; Zuñiga et al., 2013; Londoño et al., 2017).

La alta riqueza de taxa en los puntos menos intervenidos (P1 y P3), coincide con lo reportado por diversos autores en ríos altoandinos (Custodio & Chanamé, 2016; Ramírez et al., 2018; Meneses-Campo et al., 2019; Carrasco et al., 2020). Durante este estudio se observaron diferencias significativas a nivel espacial (cambio en el uso del suelo) en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, debido a su capacidad para cambiar su distribución y estructura, al existir alguna perturbación en su hábitat natural (Vannote et al., 1980). El patrón a nivel espacial con relación a los macroinvertebrados bentónicos en la microcuenca del río Jordán, es sumamente dependiente de los cambios en el uso del suelo ya que presenta una alta variación en la composición de la riqueza de especies entre los puntos de referencia e intervenidos.

Con respecto a la diversidad de orden q_1 y q_2 (Shannon y Simpson), el patrón fue distinto, los puntos asociados a contaminación (P2 y P4) registraron los valores más altos, equivalente a lo reportado en los estudios de Meza-S et al., (2012) y Ramírez et al., (2018), asociándose a la alta dominancia de algunas especies que se encuentran adaptadas a las condiciones fisicoquímicas e hidrogeomorfológicas de cada sitio. Algunos autores plantean que los sitios con mayor alteración

ambiental, aumentan la diversidad de taxones o la complejidad funcional, existiendo diferencias marcadas entre las cabeceras y las zonas de corrientes medias o de confluencia (Arango et al., 2008; Meza-S et al., 2012).

La baja diversidad de orden q_0 , en la zona receptora (P5) se debe principalmente a que posee la mayor concentración de nutrientes, mineralización y contenidos de arenas, disminuyendo la diversidad de hábitats y propiciando la colonización de organismos adaptados a estas condiciones (Posada et al., 2000; Rivera, 2004; Castellanos & Serrato, 2008; Ramírez et al., 2018).

6. Conclusiones

- La riqueza de especies fue mayor en los puntos de referencia (P1 y P3) y los tramos con presencia de sistemas agrícolas y pecuarios (P2, P4 y P5) presentaron una menor diversidad de taxones.
- En los puntos de referencia (P1 y P3) la composición está dada por los cambios en la precipitación y las variables hidrogeomorfológicas, mientras que, en los puntos con intervención (P2, P4 y P5) el aumento de los nutrientes, mineralización, caudal y la disminución en el OD, juegan un rol fundamental en la estructura de los macroinvertebrados bentónicos.
- Las áreas prístinas de la microcuenca del río Jordán presentan condiciones ambientales más favorables para el desarrollo de diferentes grupos de macroinvertebrados

bentónicos como *Anacroneuria*, *Helicopsyche*, *Nectopsyche*, *Smicridea*, *Heterelmis*, *Prionocyphon* y *Hexatoma* que son indicadores de aguas con pocos niveles de contaminación.

- En los tramos intervenidos las condiciones ambientales favorecieron el desarrollo de poblaciones dominantes de oligoquetos, quironómidos y moluscos, grupos indicadores de contaminación en el cuerpo de agua.
- Los puntos de muestreo presentaron diferencias claras en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos a nivel espacial, relacionados con el uso del suelo, los resultados evidencian que el aumento de la presión antrópica sobre el recurso hídrico de los páramos altera negativamente la diversidad de macroinvertebrados bentónicos.

Recomendaciones

La riqueza de macroinvertebrados bentónicos podría ser usada como un buen indicador de calidad ecológica en los ríos de páramo.

Competencias desarrolladas durante la pasantía

La presente pasantía permitió adquirir habilidades en el reconocimiento de los macroinvertebrados bentónicos, destreza en técnicas de campo para el estudio de ríos, uso de equipos de laboratorio y el manejo de herramientas estadísticas para el análisis de estudios en el campo de la limnología, explicando las interacciones entre organismos, el ambiente y las alteraciones que puedan existir.

Referencias Bibliográficas

- Aballar, F., Chani-Posse, M., Ayón, M., Maldonado, M., & Centeno, N. (2014). An illustrated key to and diagnoses of the species of Staphylinidae (Coleoptera) associated with decaying carcasses in Argentina. *Zootaxa* 3860 (2): 101-124.
- Acosta, C. (2009). *Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete (Perú): Distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas*. (Tesis doctoral). Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Acosta, R., Ríos-Touma, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación en dos cuencas del Ecuador y Perú. *Limnética*, 28(1): 35-64.
- Agencia de Protección Ambiental de California (Cal/EPA). (2013). Folleto Informativo: pH. Folleto Informativo 3.1.4.0. California, Estados Unidos.
- Alba, A., & Gonzáles, G. (2015). *Macroinvertebrados habitando macrófitas en la laguna La Virginia páramo Sumapaz, Colombia*. (Trabajo de maestría). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Allan, J., & Castillo, M. (2007). *Stream Ecology: structure and function of running waters*. 2nd Edition. Springer, Netherland.
- Alonso, A. (2006). Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas* 15(2): 101-105.

- Alonso, A., & Camargo, J. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas* 16 (2): 98-110.
- Álvarez, L. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Arango, M., Álvarez, L., Arango, G., Torres, O., & Monsalve, A. (2008). Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, 9, 121-141.
- Arce, M., Quiroz, F. & Romero, L. (2018), Fitodepuración de ortofosfatos del agua del lago de los Reyes Aztecas, Ciudad de Mexico. *Polibotanica*, 46, 221-231.
- Baldoncini, A. (2015). *Efecto de la aplicación de fertilizantes sobre el pH de suelos serie Oncativo. (Tesis de grado)*. Universidad Nacional de Cordoba.
- Barbour, M., Gerritsen, J., Snyder, B., & Stribling, J. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadable rivers: Periphyton, benthic invertebrates and fish. Second Edition. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA 841-B-99-022.
- Benjumea-Hoyos, C., Suárez-Segura, M., & Villabona-González, S. (2018). Variación espacial y temporal de nutrientes y total de sólidos en suspensión en la cuenca de un río de alta montaña tropical. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 42(165): 353-363
- Bobadilla, C. & Rincón, S. (2008). *Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

- Borkent, A & Spinelli, G. (2007). Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). Vol. 4. Pensoft, Sofia-Moscow, 198 pp.
- Botero-Álvarez, C., Montoya-Moreno, Y., Aguirre-Ramírez, N., Vélez-Macias, F., & Hernández, E. (2020). Vegetación acuática y semiacuática en tres ríos altoandinos y su relación con la fisicoquímica del agua. *Revista Politécnica 16 (31): 138-150.*
- Bouchard, R. W. (2004). Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper Midwest. Identification Manual for Students, Citizen Monitors, and Aquatic Resource Professionals. Waters Resources, University of Minnesota, St. Paul, MN.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2006). Hidrología del páramo andino: Propiedades, importancia y vulnerabilidad.
- Carrasco, C., Rayme, C., Pilar, R., & Ayala, Y. (2020). Macroinvertebrados acuáticos en arroyos asociados con bofedales altoandinos, Ayacucho, Perú. *Revista de Biología Tropical 68 (2): S116-S131.*
- Castaño-Urbe, C. (2002). Colombia altoandina y la significancia ambiental del bioma páramos en el contexto de los Andes tropicales: Una aproximación a los efectos futuros por el cambio climático global (Global Climatic Tensor). *Congreso Mundial de Páramos, Memorias Tomo I, 24-49.*
- Castellanos, P., & Serrato, C. (2008). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander. *rev. acad. colomb. cienc, 32 (122), 79 – 86.*

- Chará, J., Zúñiga, L., Giraldo, G., Pedraza, M., Astudillo, L., & Ramírez C. 2009. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. Centro de Investigación y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genético (CIEBREG). Pereira, Colombia.
- COLPARQUES. (10 de marzo 2021). Páramo de Santurbán Reserva Natural Regional. Obtenido de: <http://www.colparques.net/SANTURBAN>.
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (2010). CORPONOR. Páramos: Santurbán, Almorzadero y DMI Berlín. Obtenido de: <https://corponor.gov.co/dev/index.php/es/estaticos/60-estaticos/660-areas-naturales-estrategicas>
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2011). CDMB. Entorno local del páramo. Componente físico.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2012). CDMB. Estudio Páramo Santurbán.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2015). CDMB. El páramo de Santurbán.
- Custodio, M., & Chanamé, F. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. *Scientia Agropecuaria* 7 (1): 33 – 44.
- Darrigran, G., Vilches, A., Legarralde, T., & Damborenea, C. (2007). Guía para el estudio de macroinvertebrados. I.- Métodos de colecta y técnicas de fijación.

- De Miguel-Fernández, C. & Vásquez-Taset, Y. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*. 22(3): 1-9
- Díaz-Granados, M., Navarrete, J., & Suárez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. Facultad de ingeniería, Universidad de los Andes. *Revista de Ingeniería* 22: 64-75
- Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. (2018). DBBSE. Páramo Jurisdicciones – Santurbán – Berlín (PJSB).
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 656 pp.
- Encalada, A.C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N. & Prat, N. 2011. Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). Quito, Ecuador 83 pp.
- Flowers, R., & De la Rosa, C. (2010). Capítulo 4. Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 63-93.
- García, R. (2016). *Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) y su uso como indicadores biológicos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- García, Y. (2016). *Los Ephemeroptera de la colección de insectos acuáticos de la Universidad Pedagógica Nacional: una sistematización de los factores ecológicos y composición taxonómica*. (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.

- Gavilán, R. A., Donato, J. C., Serrato, C., Cáceres, M. Y., Plata, Y., & Navarro G. (2000). Las comunidades bentónicas y perifíticas como base para la evaluación de los sistemas hídricos lóticos del área de jurisdicción de la CDMB.
- Gómez, A., Valderrama, L., & Rivera-Rondón, C. (2017). Composición de macrófitas en ríos andinos: composición y relación con factores ambientales. *Acta biol, Colomb*, 22(1): 45-58.
- Gómez, V., & Quintero, J. (2020). *Análisis del efecto de las actividades agrícolas sobre la calidad del agua superficial en el páramo de Berlín (Santander-Colombia) en época seca*. Universidad Industrial de Santander.
- González, M., Zuñiga, M & Manzo, V. (2015). Riqueza genérica y distribución de Elmidae (Insecta: Coleoptera, Byrrhoidea) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 16: 50-74.
- González- Córdoba, M., Zuñiga, M., Giraldo, L., Ramírez, Y., & Chará, J. (2020). Sensibilidad de Elmidae (Insecta: Coleoptera) a la perturbación del hábitat y la calidad fisicoquímica del agua en ambientes lóticos de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical*, 68 (2): 601-622.
- Grzywacz, A., Hall, M., Pape, T., & Szpila, K. (2017). Muscidae (Diptera) of forensic importance—an identification key to third instar larvae of the western Palaearctic region and a catalogue of the muscid carrion community. *International Journal of Legal Medicine*, 131 (3): 855-566.
- Guevara M. M. (2011). Insectos acuáticos y calidad del agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 59, 635 - 654.

- Guhl, E. (1982). Los páramos circundantes de la Sabana de Bogotá. Jardín Botánico “José Celestino Mutis”, 127 pp.
- Gutiérrez-Fonseca, P. (2010). Capítulo 6. Plecoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 139-148.
- Hanson, P., Springer, M., Ramirez, A., & De la Rosa, C. (2010). Introduction to aquatic macroinvertebrate groups. *Revista de biología tropical* 58,3.
- Hamada, N., Nessimian, J. L., & Querino, R. B. (2014). Insetos Aquaticos na Amazonia Brasileira: Taxonomia, Biologia e Ecología. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia.
- Harding, J., Roger, G., Young, J., Hayes, K., Stark, J. (1999). Changes in agricultural intensity and river health along a river continuum. *Freshwater Biology*, 42, 345-357.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). Los páramos del mundo. Quito: UICN, Global Peatland Initiative, Ecociencia.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vázquez, A., & Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- Hsieh, T., Ma, K. & Chao, A. (2020). iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. R package version 2.0.20. <http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software-download/>.
- Instituto Alexander von Humboldt. (2013). Cartografía 2013 de los Páramos de Colombia: Diversidad, territorio e historia. Obtenido de: <http://www.humboldt.org.co/es/actualidad/item/109-nueva-cartografia-de-los-paramos-de-colombia-diversidad-territorio-e-historia>.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017). Protocolo del monitoreo del agua. Bogotá, D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). Datos de precipitación, estación Berlín.
- Kassambara, A. & Mundt, F. (2020). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Keating, P. (2008): “The floristic composition and biogeographical significance of a megadiverse páramo site in the Ecuadorian Andes”. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 135, pp. 554-570.
- Klemm, D. (1995). Identification Guide to the Freshwater Leeches (Annelida: Hirudinea) of Florida and Other Southern States. Bioassessment and Ecotoxicology Branch Ecological Monitoring Research Division Environmental Monitoring Systems Laboratory U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.
- Ladrela, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Páginas de Información Ambiental. N° 39.
- Laython, M. (2017). Los Coleópteros Acuáticos (Coleoptera: Insecta) en Colombia, Distribución y Taxonomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Le, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1-18.
- León, J. A. G., Acosta, P. P. B., & Paredes, J. F. M. (2017). Distribución de macroinvertebrados del suelo en el Parque Natural Regional Páramo Paja Blanca, Nariño, Colombia. *Revista UNIMAR*, 35 (1).

- Linares, E. L., Lasso, C. A., Vera-Ardila, M. L. & Morales-Betancourt, M. A. 2018. XVII. Moluscos dulceacuícolas de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 326 pp.
- Llambí, L., Soto Werschitz, A., Célleri, R., De Bièvre, B., Ochoa-Tocachi, B., & Borja, P. (2012). Ecología, Hidrología y Suelos del Páramo.
- Londoño, Y., Moreno D., & Suarez, O. (2017). *Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad de agua en tres quebradas de alta montaña de Antioquia Colombia*. (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.
- Loza del Carpio, A., & Ccancapa Salcedo, Y. (2020). Mercurio en un arroto altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú). *Rev. Int. Contam. Ambie*, 36 (1): 33-44.
- Lozano, J. (2014). *Estudio de la distribución espacial de Coleópteros acuáticos en la cuenca del río Alvarado (Tolima, Colombia)*. Universidad del Tolima.
- Malagón, D., & Pulido, C. (2000). Suelos del páramo colombiano. En: Rangel-Ch. Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C.
- Manzo, V. (2005). Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40 (3): 201-208.
- Manzo, V., & Archangelsky, M. (2008). A key to the known larvae of South American Elmidae (Coleoptera: Byrrhoidea), with a description of the mature larva of *Macrelmis saltensis* Manzo. *Journal of Limnology*, 44 (1): 63-74.

- Marvaldi, A. (2003). Clave para larvas de las subfamilias sudamericanas de gorgojos (Coleoptera, Curculionoidea). *Revista Chilena de Historia Natural*, 76: 603-612.
- Marvaldi, A., & Lanteri, A. (2005). Clave de taxones superiores de gorgojos sudamericanos basada en caracteres de los adultos (Coleoptera, Curculionoidea). *Revista Chilena de Historia Natural*, 78: 65-87.
- Medina, C., Hora, M., Asencio, I., Pereda, W., & Aguilar, R. (2008). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad, Perú. *Sciéndo*, 13 (2).
- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M., & Jaramillo-Londoño, A. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL y ABI. *Acta Biológica Colombiana* 24(2): 299-310.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. M. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. 4th edition. Journal of the North American Benthological Society.
- Meza-S, A., Rubio-M., & Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34(2): 443-456.
- Milligan, M. (1997). Identification manual for the aquatic Oligochaeta of Florida. Volume I. Center for Systematics and Taxonomy. Sarasota, Florida.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombia (Minambiente). (2016, marzo 28). YouTube. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=ZiVLYsyqtUM>.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Minambiente. *Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de Alta Montaña: Páramos*.

- Miserendino, M., & Pizzolon, L. (2000). Macroinvertebrates of a fluvial system in Patagonia: altitudinal zonation and functional structure. *Archiv Hydrobiol* 150(1): 55-83.
- Moller, H. (2013). Chironomidae Larvae. Biology and Ecology of the Aquatic Orthoclaadiinae.
- Morales M., Otero J., Van der Hammen T., Torres A., Cadena C., Pedraza C., Rodríguez N., Franco C., Betancourth J.C., Olaya E., Posada E. y Cárdenas L. (2007). Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 p.
- Oksanen, J., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P., O'Hara, R., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, M., Szoecs, E., & Wagner, H. (2020). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Oliveira, A., Hamada, N., & Nessimian, J. (2005). Chaves de identificação de larvas para famílias e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 49 (2): 181-204.
- Oscoz, J., Campos, F., & Escala, M. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnética*, 25(3): 683-692.
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011). Identification Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain. Springer.
- Ortega, H., Chocano, L., Palma, C., & Samanez, I. (2010). Biota acuática en la Amazonia Peruana: diversidad y usos como indicadores ambientales en el Bajo Urubamba (Cusco – Ucayali). *Rev. peru. biol.* 17(1): 029- 035.

- Pérez, J. (2015). *Macroinvertebrados bentónicos y su relación con el estado del bosque de ribera y las condiciones fisicoquímicas en una zona de la cuenca alta del río Tunjuelo*. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Posada-García, J., Abril-Ramirez, G., & Parra-Sánchez, L. (2008). Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos del páramo de Frontino (Antioquia, Colombia). *Caldasia* 30(2): 441-445.
- Posada-García, J., & Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia. *Caldasia*, 25 (1): 169-192.
- Posada, J., Roldán, G., & Ramírez, J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 48(1): 59-70.
- Pontón, J. (2012). *El rol de los macroinvertebrados acuáticos en la descomposición de hojarasca en los ríos altoandinos tropicales*. (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito.
- Prat, N., Acosta, R., Villamarín, C., & Rieradevall, M. (2012). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos alto andinos de Ecuador Y Perú. Clave para la determinación de los principales morfotipos larvarios. Grupo de Investigacion F.E.M. Departamento de Ecología. Universidad de Barcelona.
- Pulido, C. 1988. Génesis y evolución de los suelos de los páramos de Sumapaz, Chingaza y Guerrero. En: Suelos Ecuatoriales, Vol. XVII, No. 2, págs. 160-170. Bogotá, D. C., Colombia.

- Rangel-Ch, J. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. Colombia Diversidad biótica III. La región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ramírez, A. (2010a). Capítulo 5. Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 97-136.
- Ramírez, A. (2010b). Capítulo 2. Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 41-50.
- Ramírez, Y., Giraldo, L., Zuñiga, M., Ramos, B., & Chará, J. (2018). Influencia de la ganadería en los macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia. *Rev. Biol. Trop*, 66(3): 1244-1257.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Restrepo, J., Escobar, E., & Gualdrón, J. (2008). Plan integral de manejo del distrito de manejo integrado de los recursos naturales “Páramo de Berlín”.
- Ríos, B. (2008). *Comunidades de macroinvertebrados en un río altoandino: importancia del microhábitat, dinámica de la deriva, papel de la materia orgánica y relevancia de la ovoposición*. (Tesis doctoral). Universidad de Barcelona.
- Rivera, R. (2004). Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los Andes Venezolanos. (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes, Mérida.

- Rivera-Usme, J. J., Pinilla-Agudelo, G. A., & Rangel-Ch, J. O. (2013). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia* 35(2): 389- 408.
- Rojas-Peña, J., Vásquez-Ramos, J., Salinas Jiménez, L., Osorio Ramirez, D., & Ca-ro-Caro, C. (2021). Effects of physical and chemical factors on Ephemeroptera (Insecta) assemblages in an urban river of the eastern Colombian Llanos. *Pap. Avulsos. Zool*, 61: e20213107.
- Roldán, G. (1988). Guía para el Estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia. Colciencias. Universidad de Antioquia. Medellín. 217 pp.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del Método BMWP/Col. Colección Ciencia y Tecnología. Antioquia: Universidad de Antioquia. 170 p.
- Roldán, G. & Ramírez, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Colección Ciencia y Tecnología. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155): 254-274.
- Ruiz-Moreno, J., Ospina-Torres, R., & Riss, W. (2000a). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. II. Subfamilia Chironominae. *Caldasia*, 22 (1): 15-33.
- Ruiz-Moreno, J., Ospina-Torres, R., & Riss, W. (2000b). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. III. Subfamilias Tanypodinae, Podonominae Y Diamesinae. *Caldasia*, 22 (1): 34-60.

- Ruhí, A., Fairchild, G. W., Spieles, D. J., Becerra-Jurado, G. y Moreno-Mateos, D. (2016). Invertebrates in Created and Restored Wetlands. *Invertebrates in Freshwater Wetlands* pp. 525-564. Springer International Publishing.
- Sáenz, A. (2001). Modelo computacional de hidrología de Páramos. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Salamanca, B., & Camargo, G. (2000). Protocolo distrital de restauración ecológica. Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Bogotá: Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Salazar-Sánchez, M., Valencia-Rojas, M., & Figueroa-Casas, A. (2014). Transporte de materia orgánica particulada en una corriente altoandina: Quebrada Arrayanales (Cauca-Colombia). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 12 (2): 160-169.
- Sierra, C. (2011). Calidad del Agua. Evaluación y diagnóstico. Universidad de Medellín, 457 p
- Simal-Lozano, J., Lage, M. & Iglesias, L. (1984). Los nitritos y nitratos en las aguas: su origen, propiedades y toxicología. Boletín informativo del COF de La Coruña. 23-30.
- Segura, M., Valente-Neto; & Fonseca-Gessner. (2011). Elmidae (Coleoptera, Byrrhoidea) larvae in the state of São Paulo, Brazil: Identification key, new records and distribution. *Zoo Keys*, 151: 53-74.
- Serrano, D., & Galárraga, R. (2015). El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. *Estudios Geográficos*. 76, 278. 369-393.

- Severiche, C., Luna, J., & González, H. (2013). Evaluación analítica para determinación del fósforo total en aguas por el método del ácido ascórbico. *Ingenium*, 7(17), 37-41.
- Schdmit, U., & Vargas, O. (2012). Comunidades vegetales de las transiciones terrestre - acuáticas del páramo de Chingaza, Colombia. *Biología Tropical*, 60(1): 35-64.
- Springer, M. (2006). Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 54 (1): 273-286.
- Strahler, A. (1964) Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: Chow, V., Ed., *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill, New York, 439-476.
- Sundermann, A., Lohse, S., Beck, L., & Haase, P. (2007). Key to the larval stages of aquatic true flies (Diptera), based on the operational taxa list for running waters in Germany. *Journal of Limnology*, 43 (1): 67-74.
- Tavares, R., & Da Gama, R. (2008). Tubificidae (Annelida: Oligochaeta) as an indicator of water quality in an urban stream in southeast Brazil. *Acta Limnol. Bras*, 20(3): 221-226.
- Thorp, J., Covich, A. (2001). An overview of freshwater habitats, pp. 19-41 In: Thorp, J.H.; Covich, A.P. (eds.). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* New York: Academic Press.
- Thorp, J., Hamada, N., & Rogers, C. (2018). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. 4th Edition. Volume 3. Keys to Neotropical Hexapoda.
- Tomanova, S., & Tedesco, P. (2007). Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de *Anacroneuria* spp. (Plecoptera: Perlidae) en América del Sur. *Revista de Biología Tropical*, 55(1): 67-81.

- Torres, J., & Durán, J. (2019). *Efecto de la agricultura sobre la calidad del agua en la microcuenca del páramo. Caso: Páramo de Berlín (Santander, Colombia)*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces)*. Museo de Historia Natural. Departamentos de Limnología e Ictiología. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Vannote, R., Minshall, W., Cummins, K., Sedell, J., & Cushing, C. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal Fisheries and aquatic sciences* 37: 130-137.
- Vázquez, A., Buitrago, A. C. (2011). *El gran libro de los páramos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Proyecto Páramo Andino. Bogotá, D. C. Colombia. 208 pp.
- Venables, W. & Ripley, B. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York.
- Vega, C. (2019). *¿Cómo afecta la actividad agrícola a las zonas de páramo?* Radio Nacional de Colombia (RTVC).
- Villamarín, C. (2008). *Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos*. (Tesis de doctorado). Universidad de Barcelona.

- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Lat. Am. J. Aquat. Res*, 42(5): 1072-1086.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Zuñiga, M., Chará, J., Giraldo, L., Chará-Serna, A & Pedraza, G. (2013). Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la región andina colombiana, con énfasis en la entomofauna. *Dugesiana* 20(2): 263 -277.

Apéndices

Apéndice A.

Lista taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos encontrados en la microcuenca del río Jordán en el páramo de Santurbán a lo largo de un gradiente del uso del suelo.

Phyla	Orden	Familia	Subfamilia	Género	
Arthropoda	Ephemeroptera	Baetidae	No aplica	<i>Americabaetis</i>	
	Odonata	Coenagrionidae	No aplica	No aplica	
	Plecoptera	Perlidae	Acroneuriini	<i>Anacroneuria</i>	
	Trichoptera	Calamoceratidae	Calamoceratidae	Calamoceratinae	<i>Phylloicus</i>
			Helicopsycheidae	No aplica	<i>Helicopsyche</i>
			Hydropsychidae	Smicrideinae	<i>Smicridea</i>
			Hydrobiosidae	Hydrobiosinae	<i>Atopsyche</i>
			Hydroptilidae	Hydroptilinae	<i>Hydroptila</i>
			Hydroptilidae sp. 2	No aplica	No aplica
			Leptoceridae	Triplectidinae	<i>Triplectides</i>
				Leptocerinae	<i>Nectopsyche</i>
	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae	No aplica	No aplica
			Elmidae	Elminae	<i>Microcylloepus</i>
					<i>Heterelmis</i>
			Hydraenidae	No aplica	No aplica
			Hydrophilidae	No aplica	No aplica
			Scirtidae	No aplica	<i>Scirtes</i>
					<i>Prionocyphon</i>
			Scirtidae sp. 2	No aplica	No aplica
	Staphylinidae	No aplica	No aplica		
	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae	Ceratopogoninae	<i>Stilobezzia</i>
			No aplica	<i>Alluaudomya</i>	
		Ceratopogonidae sp. 2	No aplica	No aplica	
		Chironomidae	No aplica	Tanypodinae	No aplica
				Orthoclaadiinae	No aplica
				Podonominae	No aplica
				Chironominae	No aplica
		Dolichopodidae	Rhaphiinae	<i>Rhaphium</i>	
		Ephydridae	No aplica	No aplica	
		Empididae	No aplica	<i>Chelifera</i>	
Muscidae		Muscidae	No aplica		
		Coenosiinae	<i>Limnophora</i>		

		Psychodidae	Psychodinae	<i>Pericoma</i>
		Simuliidae	Simulinae	<i>Simulium</i>
		Tabanidae	Tabaninae	<i>Tabanus</i>
		Tipulidae	Tipulinae	<i>Tipula</i>
		Limonidae	Limnophilinae	<i>Hexatoma</i>
			Chioneinae	<i>Molophilus</i>
			Limoniinae	<i>Limonia</i>
	Amphipoda	Hyaellidae	No aplica	<i>Hyaella</i>
Platyhelminthes	Tricladida	Planariidae	No aplica	No aplica
Annelida	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	No aplica	No aplica
	Rhynchobdellida sp. 2	No aplica	No aplica	No aplica
	Haplotaxida	Haplotaxidae	No aplica	No aplica
	Lumbriculida	Lumbriculidae	No aplica	No aplica
	Tubificida	Naididae	No aplica	No aplica
Mollusca	Sphaeriida	Sphaeriidae	No aplica	<i>Pisidium</i>
	Basommatophora	Ancylidae	No aplica	<i>Ferrissia</i>