



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## AREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

### TÍTULO DE BIÓLOGO

**“Influencia del uso del suelo y la calidad de hojarasca en la composición, organización estructural y funcional de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de materia orgánica”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Autora:** Reyes Castillo, Valeria Alexandra.

**Director:** Iñiguez Armijos, Carlos Alberto, Ing.

LOJA – ECUADOR

2016



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2016

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ingeniero

Carlos Alberto Iñiguez Armijos

### **DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Influencia del uso del suelo y la calidad de hojarasca en la composición, organización estructural y funcional de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de materia orgánica” realizado por: Reyes Castillo Valeria Alexandra, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, octubre de 2016

f).....

CI: 1103660633

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

“Yo, Valeria Alexandra Reyes Castillo declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Influencia del uso del suelo y la calidad de hojarasca en la composición, organización estructural y funcional de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de materia orgánica, siendo el Ing. Carlos Alberto Iñiguez Armijos, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Reyes Castillo Valeria Alexandra

CI. 1105672438

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo de fin de titulación a las personas más importantes en mi vida, mi madre María Alexandra mi hermano Pablo Rolando y a mis queridos abuelitos: Pablo Augusto y María Enith, gracias a ustedes por todo el apoyo que me brindaron y por la confianza que pusieron en mí para poder culminar esta nueva meta en mi vida, trabajo que lo hice con todo el esfuerzo y dedicación. Los quiero mucho.

**Valeria**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por cada una de las bendiciones que me ha brindado, y por permitirme lograr esta nueva meta en mi vida.

Al Ing. Carlos Iñiguez, por todo el tiempo que ha dedicado para la realización de este trabajo de fin de titulación y por todas las enseñanzas que compartió conmigo.

A mis compañeros de laboratorio: Juanito, Israel y Diego mi más sincero agradecimiento por toda la ayuda para poder continuar con la finalización de este proyecto

A mis grandes amigos de la carrera que tuve la oportunidad de compartir 5 años junto a ellos, gracias por su bonita amistad en cada momento.

A mis profesores, gracias por las enseñanzas vertidas para formarme profesionalmente.

A Javier R. gracias por todo el apoyo que me brindaste en todo este tiempo.

Y a cada una de las personas que estuvieron apoyándome y brindándome su ayuda desinteresadamente para poder alcanzar una meta más en mi vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	1
CAPÍTULO I.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO II.....	6
2.1 Área de estudio.....	7
2.1.2 Diseño experimental. ....	9
2.1.3 Identificación taxonómica de macroinvertebrados y rasgos biológicos.....	10
2.2 Análisis de datos. ....	11
CAPÍTULO III.....	13
3.1 Resultados.....	14
3.1.1 Composición de la comunidad de macroinvertebrados. ....	14
3.1.2 Organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados. ....	15
3.1.3 Organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados.....	17
3.1.4 Rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados.....	19
3.2 Discusión.....	27
3.2.1 Composición y estructura de macroinvertebrados.....	27
3.2.2 Organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados.....	29
3.2.3 Rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados.....	30
CONCLUSIONES .....	31
RECOMENDACIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXOS.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Ubicación del área de estudio .....	8
Fig. 2: Promedio de: riqueza (A), abundancia (B), diversidad de Shannon (C) y equidad (D). .....	16
Fig. 3: Abundancia relativa de los grupos funcionales de alimentación.....	18
Fig. 4: Frecuencia de la modalidad del ciclo reproductivo .....	20
Fig. 5: Frecuencia de la modalidad del tipo de hábitat .....	20
Fig. 6: Frecuencia de la modalidad del tipo de locomoción .....	21
Fig. 7: Frecuencia de la modalidad del tipo de reproducción.....	22
Fig. 8: Frecuencia de la modalidad del tipo de respiración.....	23
Fig. 9: Frecuencia de la modalidad del estado acuático.....	24
Fig. 10: Frecuencia de la modalidad de la forma de resistencia .....	25
Fig. 11: Frecuencia de las modalidades del tamaño .....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Usos de suelo de las cuencas estudiadas y características físico-químicas de los respectivos ríos.....	9
Tabla 2: Rasgos biológicos de macroinvertebrados.....	10
Tabla 3: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a la composición de la comunidad de macroinvertebrados .....	14
Tabla 4: Porcentaje de disimilitud en la composición de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca.....	15
Tabla 5: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a la organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados .....	16
Tabla 6: Porcentaje de disimilitud en la organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca.....	17
Tabla 7: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a la organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados .....	18
Tabla 8: Porcentaje de disimilitud en la organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca.....	19
Tabla 9: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a los rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados .....	26
Tabla 10: Porcentaje de disimilitud en la organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca.....	27

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Sitios de estudio por cada uso de suelo.....	40
Anexo 2: Bolsa de malla gruesa con hojarasca.....	40
Anexo 3: Rasgo biológico de la modalidad del tipo de alimento .....	41

## RESUMEN

El cambio de uso del suelo y las especies vegetales invasoras en las riberas condicionan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. El presente trabajo analizó los efectos del uso del suelo y el tipo de hojarasca sobre la comunidad de macroinvertebrados asociada a la descomposición de hojarasca en quebradas andinas del sur del Ecuador. Se estudiaron nueve quebradas cuyas riberas están cubiertas por usos de suelo diferentes. Los macroinvertebrados fueron colectados de bolsas de malla gruesa con hojarasca de tres especies vegetales comunes de las riberas. Se determinaron varias métricas relacionadas a la estructura, organización y rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados, que fueron comparadas aplicando un perMANOVA entre usos del suelo y tipos de hojarasca. El uso del suelo tuvo un mayor efecto sobre la composición, estructura, organización y los rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados que el tipo de hojarasca. La modificación de las riberas está alterando la condición ecológica de los ecosistemas fluviales andinos, promoviendo la pérdida de diversidad y la alteración de la estructura y funcionalidad de la comunidad de macroinvertebrados.

**Palabras claves:** uso de suelo, ribera, macroinvertebrados, hojarasca, ríos andinos.

## **ABSTRACT**

Land use change and exotic plant species in riparian zones determine the structure and functioning of freshwater ecosystems. The present study analyzed the effects of land use and leaf-litter type on the assemblages of macroinvertebrate community associated to leaf breakdown in Andean streams of South Ecuador. Nine streams with riparian zones covered by three different land uses were studied. Macroinvertebrates were collected from coarse-mesh bags enclosing leaf litter of three plant species commonly found along the riparian zones. Several metrics related to composition, structural and organizational assemblages, and biological traits of the macroinvertebrate community were determined. Then, metrics were compared between land use and leaf-litter type by applying a perMANOVA. Land use had a greater effect on macroinvertebrate composition, structure, organization, and biological traits than leaf-litter type. Therefore, the conversion of riparian zones is altering the ecological condition of Andean stream ecosystems, which in turn, is promoting the loss of biodiversity and altering the taxonomic and functional characteristics of the macroinvertebrate community.

**Keywords:** land use, riparian zones, macroinvertebrates, leaf-litter, Andean streams

## CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos proporcionan importantes servicios ecosistémicos para la sociedad (Silva-Junior, Moulton, Boëchat, & Gücker, 2014) ya que conforman una amplia red de factores bióticos y abióticos, que interactúan entre sí y cumplen funciones importantes para el sistema (Sabater, Charles-Donato, Giorgi, & Elozegi, 2009). Dentro de los factores bióticos que habitan estos ecosistemas están los macroinvertebrados acuáticos, que forman parte de los grupos más diversos (Castellanos & Serrato, 2008) y se han adaptado mejor a los ecosistemas fluviales, ocupando la mayoría de arroyos y ríos a nivel global (Sabater et al., 2009). Estos organismos cumplen funciones importantes en los ecosistemas acuáticos como la descomposición de materia orgánica ya que cortan y mastican trozos de material foliar hasta llegar a su eliminación en la mayoría de los casos (Ramírez & Guitiérrez, 2014), también juegan un papel importante en la red trófica al controlar la cantidad y distribución de sus presas, además son fuente alimenticia para diferentes consumidores (terrestres y acuáticos), y contribuyen al reciclaje de nutrientes (Guinard, Ríos, & Bernal-Vega, 2013). Por lo tanto, son considerados un grupo modelo para evaluar la calidad y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos a nivel mundial (Iñiguez et al., 2016). A pesar de ello, la estructura y funcionalidad de estos sistemas se han visto mayormente afectadas por causas naturales y actividades antropogénicas (Alonso & Camargo, 2005; Suárez et al., 2002).

El cambio del uso de suelo relacionado con la eliminación o degradación del bosque de ribera por actividades humanas, es una de las principales amenazas para el ecosistema acuático (FAO, 2002). Los bosques ribereños cumplen un rol importante dentro del ecosistema acuático, ya que condiciona las fluctuaciones de temperatura y la disponibilidad de luz que entra al río (Pozo, Elozegi, Díez, & Molinero, 2009), actúan como zonas de amortiguamiento, debido a que retiene sedimentos, nutrientes y otros contaminantes hacia el sistema fluvial (Gergel, Turner, Miller, Melack, & Stanley, 2002; Palma, Figueroa, & Ruiz, 2009) y controlan el ingreso de materia orgánica, así como la dinámica de los organismos que interactúan en el ecosistema acuático y terrestre (Sabater et al., 2009).

Generalmente, los cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos están fuertemente condicionados por la vegetación riparia y los usos de suelo (Allan, 2004). En las últimas décadas la funcionalidad de estos ecosistemas, se ha visto afectada por impactos negativos en los bosques de ribera que han sido transformados en diferentes usos de suelo, por ejemplo la conversión de bosques a pastizales (Sponseller, Benfield, & Valett, 2001) Esto se evidencia claramente en la región sur del Ecuador donde el área de vegetación nativa se redujo aproximadamente cerca de un 49% en el periodo de 1989-2008 (Tapia-Armijos, Homeier, Espinosa, Leuschner, & de la Cruz, 2015). Es así que los cambios

más grandes y destructivos se han evidenciado en los ecosistemas andinos, debido a los efectos negativos relacionados con el aumento de las concentraciones de temperatura y nutrientes, cambio del pH, aumento de las aportaciones de sedimentos a las corrientes (Iñiguez et al., 2016), y alteraciones de las características del sustrato y la morfología del cauce (Sponseller et al., 2001). Además la conversión de la vegetación de ribera produce una reducción en la entrada de materia orgánica al río con impactos negativos, en la diversidad de los organismos acuáticos, y simultáneamente alteraciones en el procesamiento de la materia orgánica debido a la pérdida de especies clave para cumplir con este proceso ecosistémico (Iñiguez et al., 2016).

La entrada de materia orgánica es un proceso clave para los organismos que se encuentran en este ecosistema (Sánchez, Crespo, Chávez, & García, 2008), ya que aporta hasta el 99% de la energía que entra a los ríos (Eyes, Rodríguez, & Gutiérrez, 2012). La cantidad y el tipo de material orgánico que va a entrar y estar disponible para los organismos varían de un río a otro debido a la calidad nutricional (contenidos de N, P lignina y fenoles) (Díaz, 2009) y a factores físicos tales como el tipo de bosque, clima (Graca, 2001) temperatura, humedad, y, las características propias del suelo (Bautista & Delgado, 2006). Cuando la materia orgánica ingresa al río, el proceso de descomposición en moléculas más sencillas es realizado por la comunidad fúngica en una primera etapa, debido a que secretan enzimas que les permite penetrar la cutícula de la hojarasca o el exterior de las raíces y descomponer material vegetal complejo como celulosa y lignina (Covich et al., 2004). Este proceso es beneficioso para otro grupo de microorganismos como los macroinvertebrados los cuales han desarrollado diferente tipo de adaptaciones para poder aprovechar de mejor manera los recursos disponibles que presenta el medio (Graca, 2001).

A pesar de la importancia de estos organismos en la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, la mayoría de estudios sobre la biota de ríos se han enfocado en utilizarlos como herramienta para el diagnóstico de la calidad ambiental del agua (Greathouse & Pringle, 2006; Guinard et al., 2013; Meza, Rubio, Días, & Walteros, 2012), sin tomar en cuenta el papel funcional (descomposición, niveles tróficos) y otros aspectos ecológicos de estos organismos en los ecosistemas acuáticos. Por tanto la presente investigación se enfocó en evaluar los efectos del uso del suelo de ribera en 9 quebradas ubicadas dentro de la hoya de Loja sobre la composición, la organización estructural y funcional de la comunidad de macroinvertebrados asociada a la descomposición de hojarasca de especies nativas e introducidas. La hipótesis planteada fue que la variación esperada en la composición, y la organización estructural y funcional de la comunidad de macroinvertebrados asociada a la

descomposición de materia orgánica es un efecto del uso de suelo de la ribera y no del tipo de hojarasca. Esta información nos permitirá aumentar el conocimiento sobre el rol de la comunidad de macroinvertebrados en el procesamiento de materia orgánica en ríos de montaña afectados por diferentes usos de suelo, aportando información para la conservación y manejo de las cuencas hidrográficas de zonas afectadas por un rápido cambio del uso del suelo.

**CAPÍTULO II**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

## 2.1 Área de estudio.

El presente trabajo de investigación, se desarrolló en 9 quebradas de la hoya de Loja, de los Andes del sur del Ecuador (Figura 1), con una superficie de 276,2 Km<sup>2</sup>, el rango altitudinal oscila entre 2.020 a 3.250 m.s.n.m. (Iñiguez-Armijos, Leiva, Frede, Hampel, & Breuer, 2014). Las 9 quebradas son de segundo orden y fueron divididas en tres categorías de usos de suelo con tres cuencas mayormente cubiertas por bosque nativo (Bo), tres cuencas dominadas por pastizales (Pa) y tres cuencas que presentaban una proporción similar de bosque y pastizal (BP). Además cada una de las quebradas presenta diferentes parámetros físico-químicos los cuales variaron entre cada uso de suelo (Tabla 1). Los bosques de las cuencas mayormente cubierta por vegetación nativa, han sido clasificados como bosques de hoja perenne montano (Homeier, Werner, Gradstein, Breckle, & Richter, 2008; Tapia-Armijos et al., 2015). Las riberas presentan vegetación con dosel denso (72-78%) y están dominadas por árboles del género *Croton*, *Hedyosmum*, *Clusia*, *Morella*, y *Juglans* (Iñiguez et al., 2016). Sin embargo estos bosques han sido rápidamente deforestados y remplazados por otras coberturas desde la década de 1960 (Torracchi, Tapia, Escudero, & de la Cruz, 2000). Debido a esto las cuencas dominadas por pastizales presentan en sus riberas un dosel abierto (31-34%), y la presencia de árboles plantados de *Alnus acuminata* (Kunth, 1817) y, ocasionalmente, árboles de los géneros *Inga* y *Eucalyptus* (Iñiguez et al., 2016).

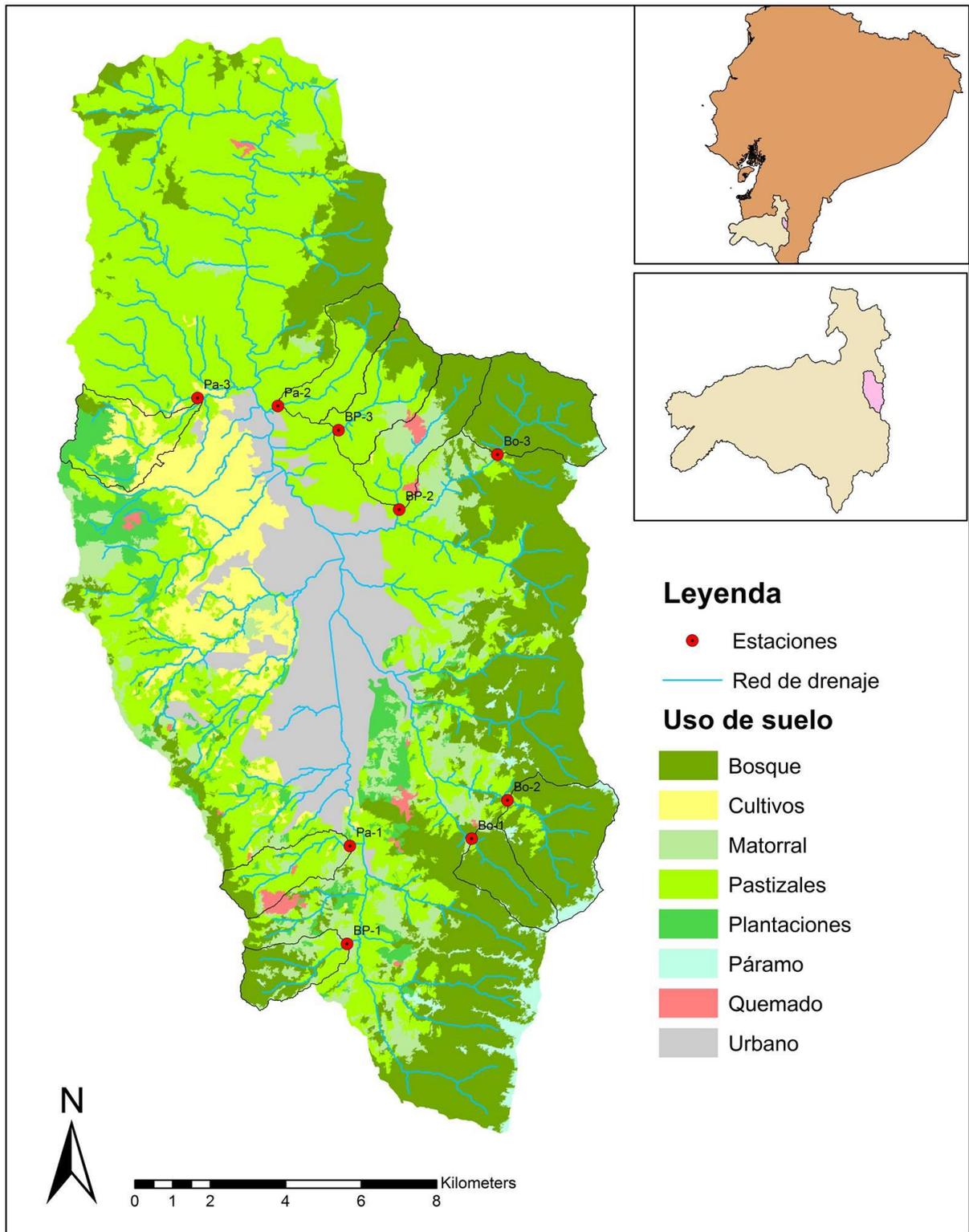


Fig. 1: Ubicación del área de estudio y de las estaciones de muestreo distribuidas entre los diferentes usos de suelo. Cuencas mayormente cubiertas por bosque (Bo), cuencas con una proporción similar de bosque y pastizal (BP) y cuencas dominadas por pastizales (Pa).

Tabla 1: Usos de suelo de las cuencas estudiadas y características físico-químicas de los respectivos ríos.

Variable	Bo-1	Bo-2	Bo-3	BP-1	BP-2	BP-3	Pa-1	Pa-2	Pa-3
Área (km <sup>2</sup> )	3,8	7,8	7,4	3,8	5,9	5,5	4,0	5,0	4,0
Vegetación nativa (%)	97,8	91,7	97,8	70,5	51,6	41,3	34,6	45,7	25,8
Pastizal (%)	2,2	8,3	2,2	20,2	39,7	52,9	48,4	42,2	59,1
Cultivos (%)	0	0	0	1,2	0,9	1,5	7,7	6,0	11,4
Urbano (%)	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0
Otros (%)	0	0	0	8,1	7,9	4,2	8,8	6,0	3,7
Ancho (m)	3,2	6,0	4,3	2,0	2,7	2,3	1,7	2,7	2,6
Profundidad (m)	17,3	28,8	29,4	10,9	18,9	13,4	9,8	10,9	17,1
Velocidad (m s <sup>-1</sup> )	0,6	0,9	0,7	0,5	0,8	0,3	0,5	0,5	0,4
pH	7,5	7,5	8,1	8,0	7,9	8,0	8,3	8,1	7,8
Temperatura (°C)	14,2	13,7	13,8	14,8	16,4	16,3	17,0	16,6	17,4
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	2,0	1,1	2,4	0,8	0,9	1,0	2,8	1,9	2,0
Fosfato (mg L <sup>-1</sup> )	0,6	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2
O <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	8,2	7,8	7,9	7,7	7,4	8,3	7,8	7,9	7,7
Conductividad (μS cm <sup>-1</sup> )	13,3	11,6	29,2	55,7	32,8	129,5	106,3	91,1	192

### 2.1.2 Diseño experimental.

Cabe señalar que el diseño experimental fue establecido con anterioridad por Luna (2016), en el cual se estudió la descomposición de hojarasca en las quebradas seleccionadas usando la técnica de bolsas de hojarasca. Esta técnica consistió en utilizar bolsas de malla gruesa con una apertura de malla de 10mm con un tamaño de 16x17 cm, que fueron llenadas con hojarasca (Bärlocher 2005).

La primera etapa del experimento consistió en la colección de hojas recién caídas de tres especies vegetales arbóreas. Las especies seleccionadas fueron *Croton rimbachii* que es una especie nativa de la vegetación de ribera del área de estudio y que se encuentra comúnmente en las riberas de las cuencas de "bosque". La segunda especie es *Alnus acuminata*, una especie proveniente de los Andes colombianos y que se ha usado frecuentemente en reforestación de cuencas hidrográficas en varios países Andinos por lo que se encuentra frecuentemente en las riberas de las cuencas de pastizal y bosque-pastizal. Finalmente *Eucalyptus globulus*, una especie introducida y que crece abundantemente en las riberas de las cuencas de pastizal y menos frecuentemente en las cuencas de bosque-pastizal (Iñiguez-Armijos comunicación personal).

Posteriormente, el material colectado se llevó al laboratorio para secarlo al aire libre durante 5 días, y posteriormente se pesó 4 g de hojarasca de cada especie, luego fueron ubicados en cada bolsa de malla gruesa y etiquetados.

Finalmente, en cada una de las quebradas se determinaron 4 tramos separados a una distancia 10 veces mayor a la de su ancho. En cada tramo se colocaron 3 varillas de hierro que contenían las bolsas de malla gruesa las cuales fueron ubicadas en zonas de flujo turbulento. En cada uno de estos tramos se colocaron dos bolsas de malla gruesa de cada una de las especies de hojarasca. En total 72 bolsas de hojarasca fueron incubadas por un periodo de 30 días. Posteriormente fueron retiradas, colocadas individualmente en bolsas ziploc y transportadas al laboratorio para su respectivo análisis.

### 2.1.3 Identificación taxonómica de macroinvertebrados y rasgos biológicos.

A nivel del laboratorio se manipuló las bolsas de malla gruesa y se las enjuagó con agua para retirar el material que no pertenecía a la hojarasca como pedazos de madera u otro tipo de vegetación. Luego con ayuda de un tamiz (500  $\mu$ m) se retiró todos los macroinvertebrados y se los colocó en frascos de etanol al 90% con su respectiva etiqueta para ser identificados posteriormente. Los macroinvertebrados fueron identificados al nivel taxonómico de género basado en Roldán (2003).

Adicionalmente, a cada macroinvertebrado identificado se le asignó un grupo funcional de alimentación (GFA) y sus rasgos biológicos fueron determinados de acuerdo a (Cummins, Merritt, & Andrade, 2005; Tomanova, Goitia, & Helešic, 2006). En total se usó 9 rasgos biológicos para los macroinvertebrados (Tabla 2).

Tabla 2: Rasgos biológicos de macroinvertebrados

<b>Tamaño (cm)</b>	
	<0.25cm
	0.25-0.5cm
	0.5-1cm
	1-2cm
	2-4cm
<b>Estado acuático</b>	
	Larva
	Pupa
	Adulto
<b>Ciclo reproductivo</b>	
	<1
	1
	>1
<b>Reproducción</b>	
	Huevos aislados libre
	Huevos aislados cementado
	Nidadas cementadas
	Nidadas libres

	Nidadas en vegetación
<b>Forma de resistencia</b>	Huevos, estatoblastos Capullos Refugio contra desecación Diapausa o latencia Ninguna
<b>Respiración</b>	Tegumento Branquias Plaston Espiráculo(aérea) Vesícula hidrostática (aérea) Sifón respiratorio
<b>Hábitat</b>	Rocas Arena Sedimento Hojarasca
<b>Locomoción</b>	Nadador completo Caminador Sésil
<b>Alimento</b>	Detritus Macrofitas Macroinvertebrados Microorganismos

Fuente: Tomado de (Di Sabatino et al., 2014)

Modificado por: Autor

## 2.2 Análisis de datos.

Las diferencias en la composición de macroinvertebrados entre cada uso de suelo y tipo de hojarasca se analizó con un análisis de varianza multivariado basado en permutaciones (perMANOVA por sus siglas en inglés) (Anderson, 2001). El diseño incluyó dos factores uso del suelo (3 niveles: Bosque, Bosque-Pastizal, Pastizal), y tipo de hojarasca (3 niveles: Croton, Aliso, Eucalipto).

El perMANOVA se calculó en base a la distancia Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957). Adicionalmente se realizó un perMANOVA por pares para determinar el grado de similitud de las comunidades de macroinvertebrados entre los diferentes usos de suelo y tipos de hojarasca.

De manera similar, se utilizó un perMANOVA de dos factores (uso de suelo y tipo de hojarasca) para conocer las diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados, con la diferencia que para el diseño incluimos la riqueza de taxones, abundancia total, diversidad de Shannon e índice de Pielou.

Un perMANOVA de dos factores se utilizó para determinar las diferencias entre la organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de materia orgánica, en una primera etapa se obtuvo la abundancia de cada uno de ellos transformándolos a porcentajes, y se llevó a cabo en una matriz de similitud.

Adicionalmente, con la matriz de rasgos biológicos se obtuvo la frecuencia de cada uno de ellos y se llevó a cabo en un perMANOVA por pares para explicar el grado de similitud de los rasgos biológicos entre uso de suelo y tipo de hojarasca. Para todas las pruebas estadísticas se utilizaron 999 permutaciones. Todos los análisis se realizaron con los paquetes "vegan" y "biodiversityR" (Oksanen et al., 2016) del entorno de programación R (The R Core Team, 2016).

**CAPÍTULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1 Resultados.

#### 3.1.1 Composición de la comunidad de macroinvertebrados.

Un total de 3.733 individuos, pertenecientes a 9 órdenes, 30 familias y 42 géneros se determinaron en los 9 sitios de estudio. Cuatro taxones no fueron identificados hasta género, tres de estos taxones se llegó a subfamilia (taxa-1= Chironominae, taxa-2= Orthocladinae, taxa-3= Tanypodinae) y un taxón se llegó hasta familia (taxa-1= Naididae).

El mayor número de individuos de macroinvertebrados asociados a la hojarasca se encontró en las quebradas de bosque, donde los taxones más abundantes fueron: *Atanatica*, Orthocladinae, y *Anacroneuria*. Seguidamente en las quebradas de bosque-pastizal, los taxones con mayor abundancia fueron: Orthocladinae, *Atanatica* y Naididae; y en las quebradas de pastizal los taxones con mayor abundancia fueron: Orthocladinae, Naididae, y *Heterelmis*.

Adicionalmente se identificó taxones exclusivos en las quebradas de bosque: *Atopsyche*, *Baetis*, *Helicopsyche*, *Helobdella*, *Limonicola*, *Polycentropus*, y *Smicridea*. Seguido de bosque-pastizal: *Dugesia*, *Hexatoma*, *Stenus* y *Tabanus*; y de pastizal *Corydalus*, *Oecetis*, *Probezia*, y *Rhantus*.

En cuanto a la composición de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de materia orgánica, el perMANOVA únicamente mostró diferencias significativas entre usos de suelo y no entre tipos de hojarasca, tampoco hubo una interacción significativa entre ambos factores (Tabla 3).

Tabla 3: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a la composición de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de diferentes tipos de hojarasca en ríos con diferentes usos de suelo en sus riberas. Se indican los grados de libertad (GL), la suma de cuadrados (SC), la media de cuadrados (MC), el estadístico F, y los valores de p (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Uso de suelo	2	1.39	0.695	3.133	<b>0.001</b>
Hojarasca	2	0.43	0.213	0.958	0.496
Uso de suelo: Hojarasca	4	0.49	0.122	0.550	0.976
Residuos	18	3.99	0.222		
Total	26	6.30			

El perMANOVA por pares indicó que la composición de macroinvertebrados en quebradas de bosque difiere con la composición encontrada en las quebradas de pastizal y bosque-pastizal en un 85% y 84% respectivamente; mientras que entre los ríos de estos dos últimos usos de suelo no existe una disimilitud significativa en la composición de macroinvertebrados (Tabla 4).

Tabla 4: Porcentaje de disimilitud en la composición de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca. Los valores de p (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	% Disimilitud	<i>p</i>
Bosque & Pastizal	85	<b>0.001</b>
Bosque & Bosque-Pastizal	84	<b>0.008</b>
Pastizal & Bosque-Pastizal	66	0.548
Aliso-Croton	65	0.534
Aliso-Eucalipto	71	0.496
Croton-Eucalipto	67	0.408

### 3.1.2 Organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados.

La riqueza de taxones asociados a la descomposición de materia orgánica fue mayor en las quebradas de bosque en relación a las quebradas de bosque-pastizal y de pastizal (Figura 2A). En relación al tipo de hojarasca, se puede observar que la hojarasca de croton alberga un mayor número de taxones en las quebradas de todos los usos de suelo (Figura 2A). Un patrón similar se evidenció en cuanto a la abundancia, con mayor número de individuos en las quebradas de bosque, seguida por las quebradas de bosque-pastizal y de pastizal. En cuanto al tipo de hojarasca Croton y Aliso albergan un mayor número de individuos (Figura 2B).

El índice de Shannon mostró que hay una mayor diversidad en las quebradas de pastizal seguido por las quebradas de bosque-pastizal y de bosque, entre los tipos de hojarasca, no se puede observar un patrón claro (Figura 2C).

En las quebradas de bosque-pastizal y pastizal se puede observar una mayor equidad debido a que, comparten similar número de individuos, similar patrón se puede observar entre tipos de hojarasca en esos usos de suelo (Figura 2D). En las quebradas de bosque hay una mayor equidad en la hojarasca de eucalipto.

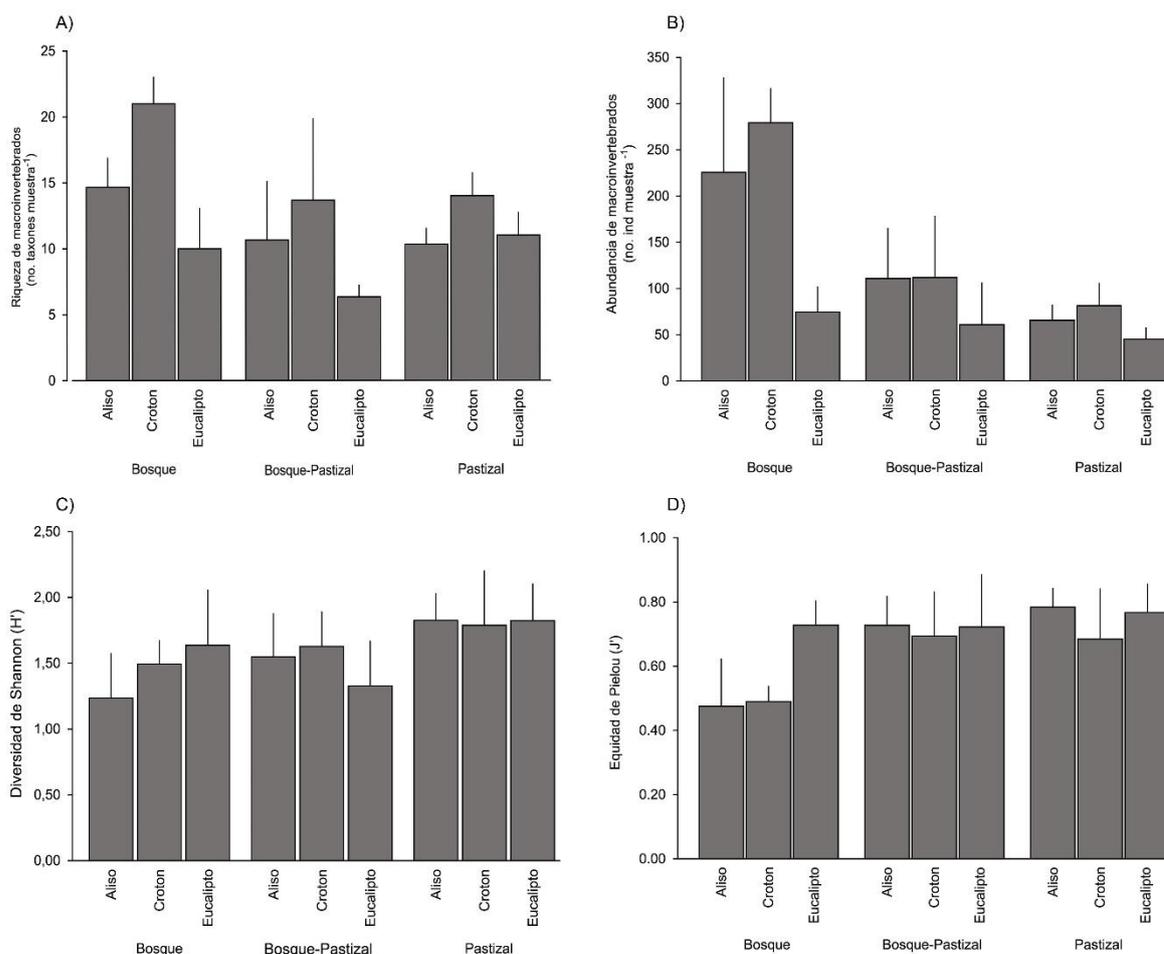


Fig. 2: Promedio ( $\pm$ DE) riqueza (A), abundancia (B), diversidad de Shannon (C) y equidad (D) de taxones de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de diferentes tipos de hojarasca en ríos con diferentes usos de suelo en sus riberas.

En relación a la organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados el análisis perMANOVA mostró diferencias significativas en la riqueza, abundancia, diversidad de Shannon y equidad de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y no entre tipos de hojarasca, tampoco hubo una interacción significativa entre ambos factores (Tabla 5).

Tabla 5: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a la organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de diferentes tipos de hojarasca en ríos con diferentes usos de suelo en sus riberas. Se indican los grados de libertad (GL), la suma de cuadrados (SC), la media de cuadrados (MC), el estadístico F, y los valores de p (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Uso de suelo	2	0.74	0.369	3.058	<b>0.031</b>
Hojarasca	2	0.44	0.221	1.830	0.146
Uso de suelo: Hojarasca	4	0.16	0.039	0.327	0.949
Residuos	18	2.17	0.121		

Total	26	3.51
-------	----	------

La organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados en quebradas de bosque difirió significativamente en un 46% con la encontrada en las quebradas de pastizal, mientras que con las quebradas de bosque-pastizal no se encontraron diferencias significativas (Tabla 6). Entre las quebradas de pastizal y bosque-pastizal, la organización estructural difirió significativamente en un 42% (Tabla 6).

Tabla 6: Porcentaje de disimilitud en la organización estructural de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca. Los valores de *p* (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	% Disimilitud	<i>P</i>
Bosque & Pastizal	46	<b>0.023</b>
Bosque & Bosque-Pastizal	33	0.315
Pastizal & Bosque-Pastizal	42	<b>0.005</b>
Aliso-Croton	37	0.855
Aliso-Eucalipto	41	<b>0.037</b>
Croton-Eucalipto	37	0.172

### 3.1.3 Organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados.

Los trozadores (Tr) presentaron una menor abundancia relativa en las quebradas de bosque, y mayor en las quebradas de bosque-pastizal y pastizal. En cuanto al tipo de hojarasca, las especies croton y aliso albergan una mayor cantidad de Tr en comparación con la hojarasca de eucalipto (Figura 3).

De manera similar los predadores (Pr), presentaron una menor abundancia relativa en bosque, mientras que en las quebradas de bosque-pastizal y de pastizal fue mayor (Figura 3). En cuanto al tipo de hojarasca se puede observar que la hojarasca de eucalipto albergó una mayor cantidad de Pr (Figura 3). En esta misma línea encontramos a los macroinvertebrados raspadores (Ra), con baja abundancia relativa en las quebradas de bosque, mientras que en las quebradas de bosque-pastizal y de pastizal fue mayor (Figura 3). En cuanto al tipo de hojarasca se puede observar que la hojarasca de aliso albergó mayor cantidad de Ra (Figura 3).

La abundancia relativa del grupo colector-recolector (CR), fue menor en las quebradas de bosque en relación a las quebradas de bosque-pastizal y de pastizal (Figura 3). En cuanto al tipo de hojarasca, la hojarasca de croton y eucalipto albergaron mayor cantidad de CR (Figura 3).

Un patrón contrario señaló la abundancia relativa de macroinvertebrados del grupo colector-filtrador (CF), con valores altos en las quebradas de bosque, al comparar con las quebradas de bosque-pastizal y pastizal, donde se detectó la abundancia relativa más baja de CF (Figura 3). En cuanto al tipo de hojarasca se puede observar que la hojarasca de aliso albergó mayor cantidad de CF en las quebradas de bosque, mientras que en las quebradas de bosque-pastizal y pastizal fue croton (Figura 3).

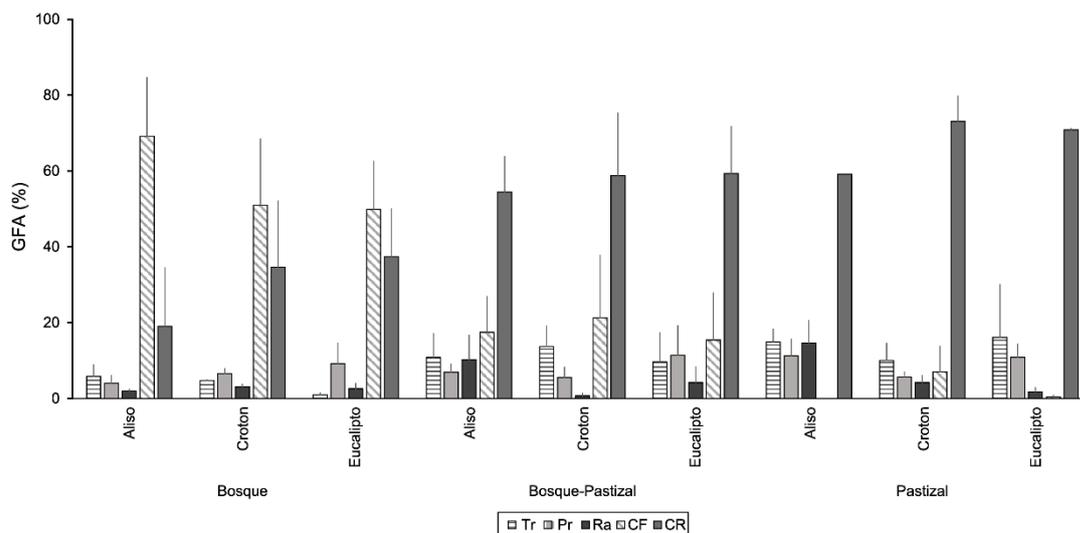


Fig. 3: Abundancia relativa ( $\pm$ DE) de los grupos funcionales de alimentación de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de diferentes tipos de hojarasca en ríos con diferentes usos de suelo en sus riberas. Tr= Trozador, Pr= Predador, Ra= Raspador, CF Colector-Filtrador, CR Colector-Recolector.

La organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados mostró diferencias significativas entre usos de suelo, sin embargo entre los tipos de hojarasca y su interacción de estos factores no se encontraron diferencias (Tabla 7).

Tabla 7: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a la organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de diferentes tipos de hojarasca en ríos con diferentes usos de suelo en sus riberas. Se indican los grados de libertad (GL), la suma de cuadrados (SC), la media de cuadrados (MC), el estadístico F, y los valores de p (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	P
Uso de suelo	2	81.3	40.7	7.96	<b>0.002</b>
Hojarasca	2	8.1	4.1	0.80	0.512
Uso de suelo: Hojarasca	4	7.3	1.8	0.36	0.961
Residuos	18	91.9	5.1		
Total	26	188.6			

La organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados en quebradas de bosque difiere con la de las quebradas de pastizal y de bosque-pastizal en un 39% y 31% respectivamente; mientras que entre las quebradas de pastizal y de bosque-pastizal se encontró una diferencia significativa correspondiente al 27% (Tabla 8).

Tabla 8: Porcentaje de disimilitud en la organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca. Los valores de p (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	% Disimilitud	P
Bosque & Pastizal	39	<b>0.007</b>
Bosque & Bosque-Pastizal	31	<b>0.014</b>
Pastizal & Bosque-Pastizal	27	<b>0.006</b>
Aliso-Croton	29	0.561
Aliso-Eucalipto	32	0.669
Croton-Eucalipto	28	0.672

### 3.1.4 Rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados.

En las quebradas de bosque se observa una mayor frecuencia de individuos con ciclo reproductivo de un año, seguido en menor grado por el ciclo reproductivo menor a un año (Figura 4). A diferencia, en las quebradas de bosque-pastizal el ciclo reproductivo mayor a un año fueron los más frecuentes, seguido por macroinvertebrados con un ciclo reproductivo de un año (Figura 4). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados con un ciclo reproductivo menor y mayor a un año fueron los más frecuentes (Figura 4). En cuanto al tipo de hojarasca, aliso y croton fueron las hojarascas que tuvieron una mayor frecuencia de macroinvertebrados con diferentes ciclos reproductivos, aunque un patrón claro no fue evidente (Figura 4).

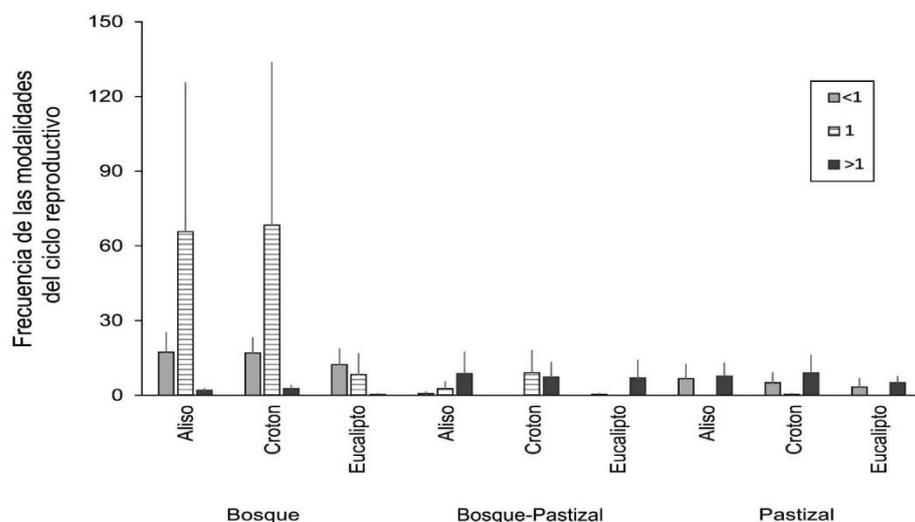


Fig. 4: Frecuencia de la modalidad del ciclo reproductivo

En las quebradas de bosque se observa una mayor frecuencia de macroinvertebrados cuya preferencia es el sedimento, seguido de roca y arena (Figura 5). Así mismo en las quebradas de bosque-pastizal los macroinvertebrados presentan una mayor frecuencia por el sedimento seguido por el tipo de hábitat arena (Figura 5). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados con un tipo de hábitat de arena fueron los más frecuentes, seguido por rocas (Figura 5). En cuanto al tipo de hojarasca, aliso y croton fueron las hojarascas que tuvieron una mayor frecuencia de macroinvertebrados con diferentes tipos de hábitat, aunque un patrón claro no fue evidente (Figura 5).

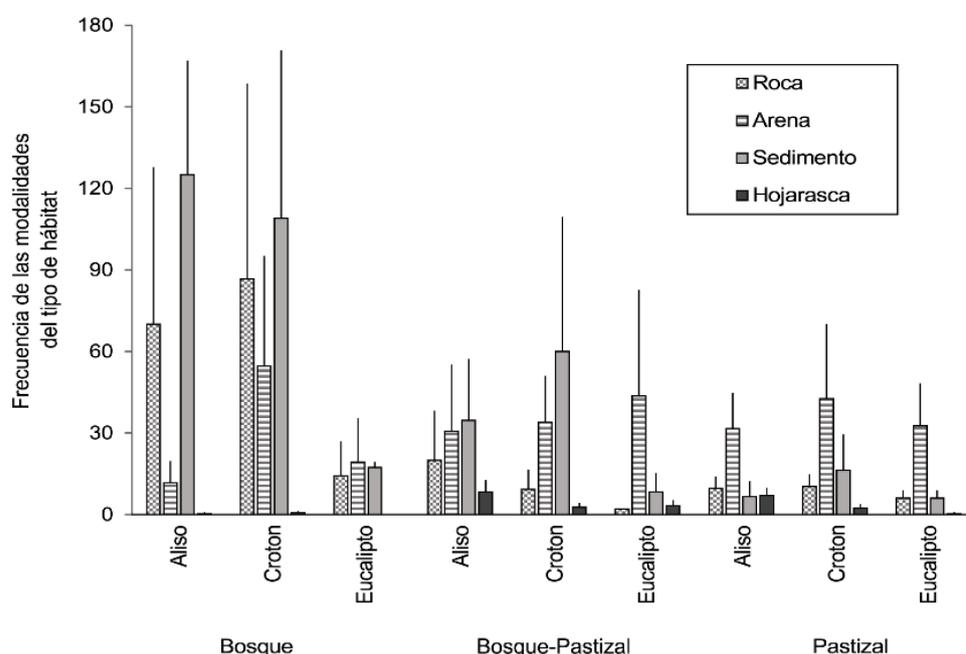


Fig. 5: Frecuencia de la modalidad del tipo de hábitat.

En las quebradas de bosque se observa una mayor frecuencia de macroinvertebrados nadadores completos (NC), seguidos por caminadores (Ca) (Figura 6). En las quebradas de bosque-pastizal los macroinvertebrados presentan una mayor frecuencia por los caminadores (Ca), seguidos por los nadadores completos (NC) (Figura 6). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados presentaron una mayor frecuencia de caminadores (Ca), seguido de una baja frecuencia de nadadores completos (NC) (Figura 6). En cuanto al tipo de hojarasca, eucalipto presentó una mayor frecuencia por los caminadores (Figura 5).

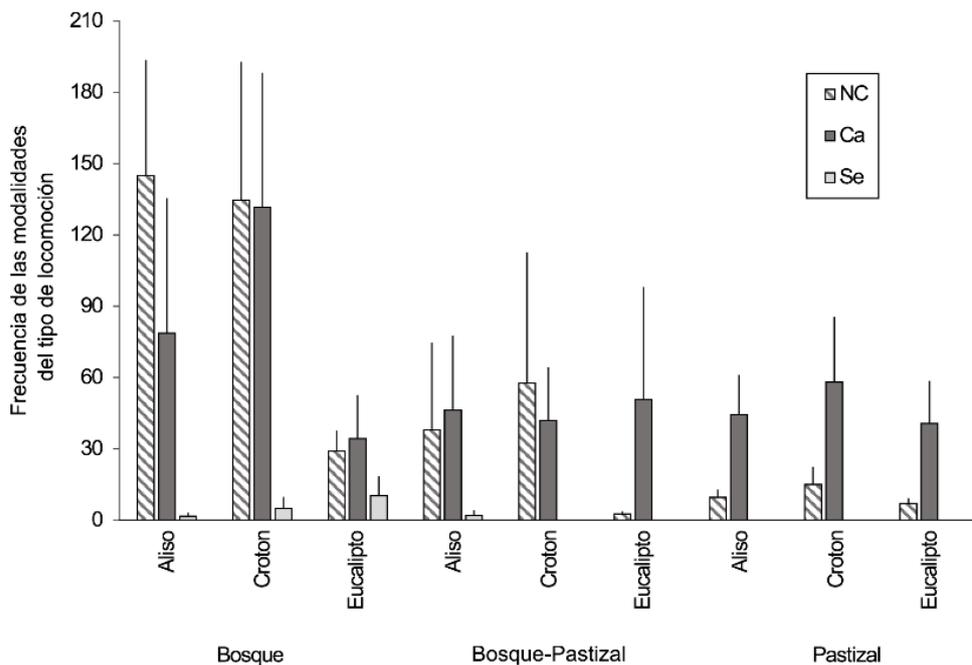


Fig. 6: Frecuencia de la modalidad del tipo de locomoción. NC (nadar completo), Ca (caminador), Se (sésil).

En las quebradas de bosque se observa una mayor frecuencia de macroinvertebrados cuyo tipo de reproducción es de huevos aislados libres (HAL), seguida por macroinvertebrados de nidadas fijas cementadas (NCF) (Figura 7). Las quebradas de bosque-pastizal los macroinvertebrados con un tipo de reproducción de nidadas fijas cementadas (NCF) fueron los más frecuentes, seguido por macroinvertebrados con un tipo de reproducción de huevos aislados libres (HAL) (Figura 7). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados con un tipo de reproducción de nidadas fijas cementadas (NCF) fueron los más frecuentes (Figura 7). En cuanto al tipo de hojarasca, aliso y croton fueron las hojarascas que tuvieron una mayor frecuencia de macroinvertebrados en el uso de suelo bosque con diferentes tipos de reproducción (Figura 7).

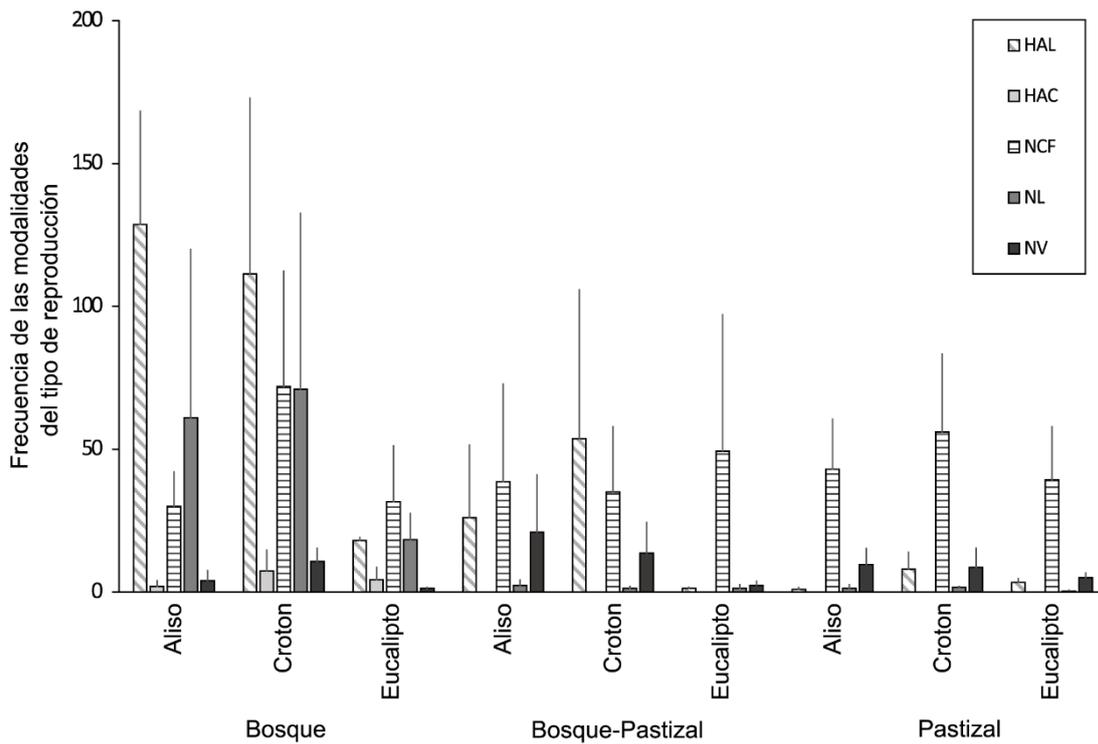


Fig. 7: Frecuencia de la modalidad del tipo de reproducción HAL (huevos aislados libres), HAC (huevos aislados cementados), NCF (nidadas cementadas fijas), NL (nidadas libres), NV (nidadas en vegetación).

En las quebradas de bosque se observa una mayor frecuencia de macroinvertebrados cuyo tipo de respiración es por branquias, seguida por macroinvertebrados con un tipo de respiración por tegumento (Figura 8). Las quebradas de bosque-pastizal los macroinvertebrados con un tipo de respiración por tegumento fueron los más frecuentes, seguido por macroinvertebrados con un tipo de respiración por branquias (Figura 8). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados con un tipo de respiración por tegumento fueron los más frecuentes, seguido por el tipo de respiración por branquias (Figura 8). En cuanto al tipo de hojarasca, aliso y croton fueron las hojarasca que tuvieron una mayor frecuencia de macroinvertebrados con diferentes tipos de respiración en bosque (Figura 8).

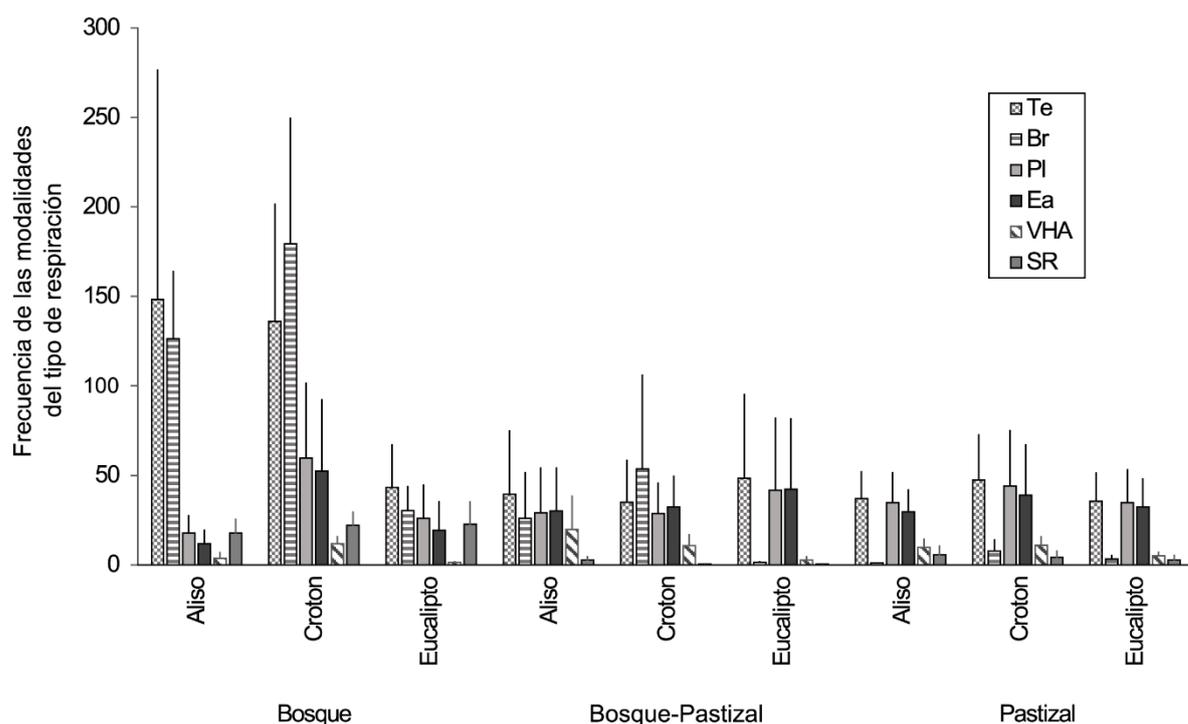


Fig. 8: Frecuencia de la modalidad del tipo de respiración Te (tegumento), Br (branquias), PI (plastron), Ea (espiráculo aérea), VHA (vesícula hidrostática), SR (sifón respiratorio).

En las quebradas de bosque se observa una alta frecuencia de macroinvertebrados cuyo estado acuático es de larvas, seguida por macroinvertebrados con un estado acuático de pupas aunque con una frecuencia relativamente baja (Figura 9). En las quebradas de bosque-pastizal los macroinvertebrados con un estado acuático de larvas fueron los más frecuentes, seguido por macroinvertebrados con un estado acuático de adultos aunque relativamente con frecuencias bajas (Figura 9). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados con un tipo de estado acuático de larvas fueron los más frecuentes (Figura 9). En cuanto al tipo de hojarasca, aliso y croton fueron las hojarascas que tuvieron una mayor frecuencia de macroinvertebrados con el tipo de estado acuático de larvas (Figura 9).

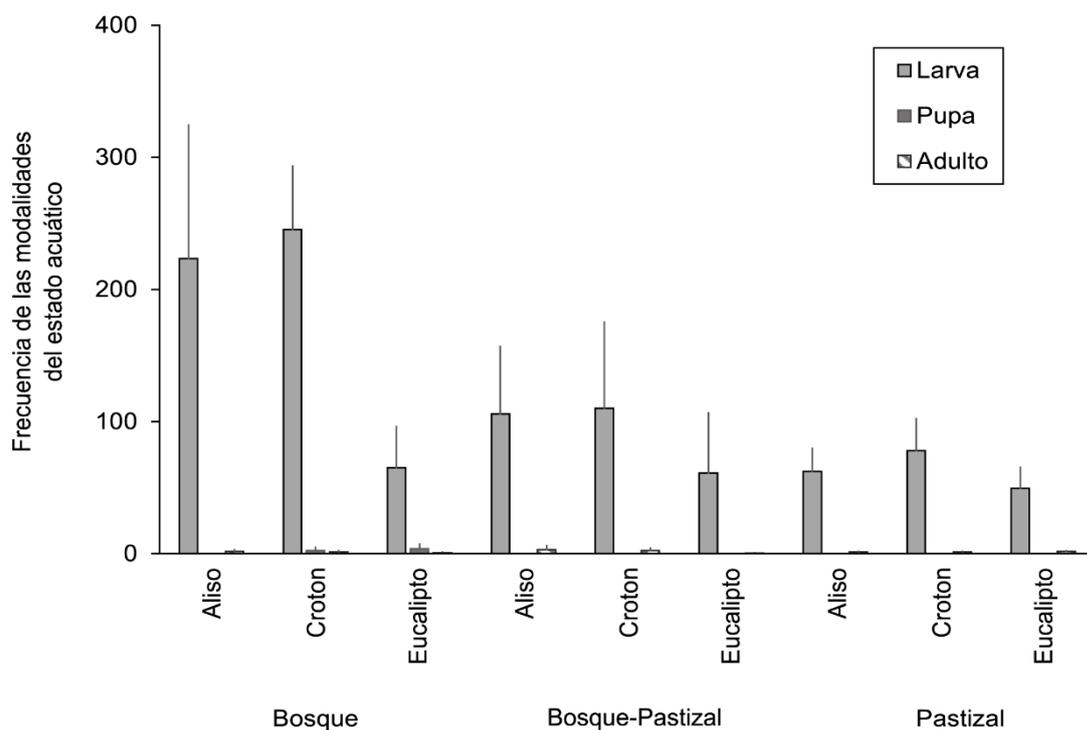


Fig. 9: Frecuencia de la modalidad del estado acuático.

En las quebradas de bosque se observa una alta frecuencia de macroinvertebrados cuya forma de resistencia es el refugio contra la desecación (RCD), seguida por macroinvertebrados con ninguna forma de resistencia (Figura 10). En las quebradas de bosque-pastizal los macroinvertebrados con ninguna forma de resistencia fueron los más frecuentes, seguido por macroinvertebrados con la forma de resistencia de refugio contra la desecación (Figura 10). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados con ningún tipo de resistencia fueron los más frecuentes, seguido de la forma de resistencia de latencia (Figura 10). En cuanto al tipo de hojarasca, aliso y croton fueron las hojarascas que tuvieron una mayor frecuencia de macroinvertebrados con la forma de resistencia (Figura 10).

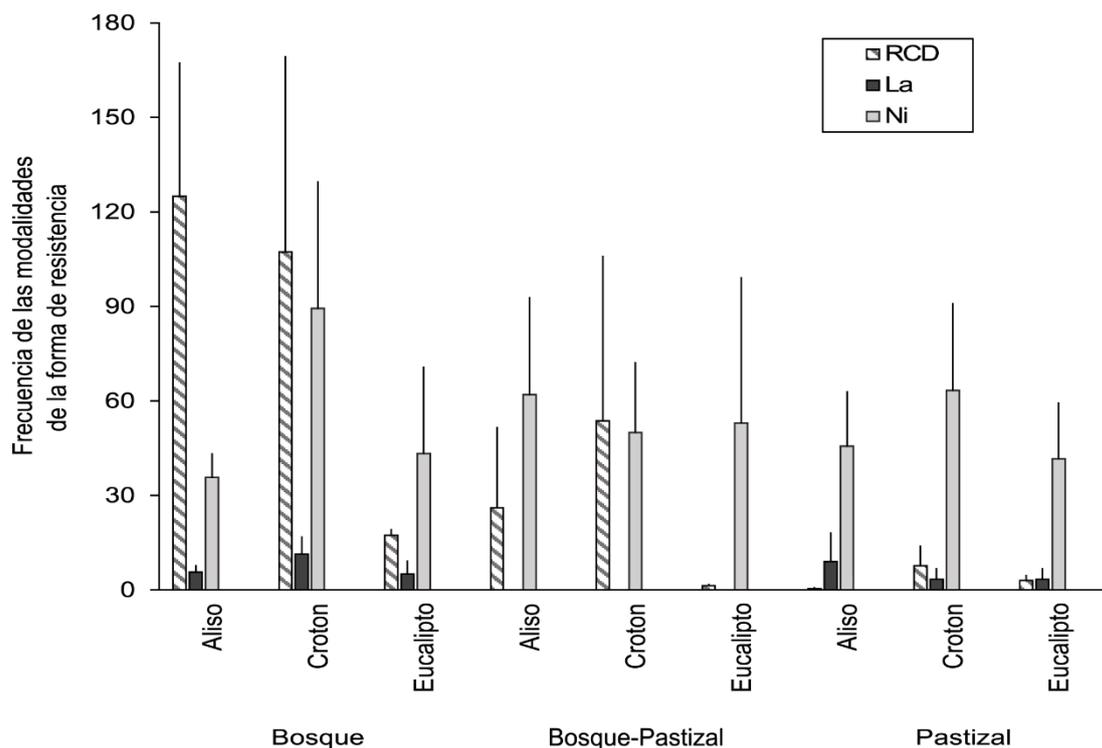


Fig. 10: Frecuencia de la modalidad de la forma de resistencia RCD (refugio contra desecación), La (latencia) Ni (ninguna).

En las quebradas de bosque se observa una alta frecuencia de macroinvertebrados cuyo tamaño es de 0.5-1.0cm, seguida por macroinvertebrados con un tamaño de 0.25--0,5cm (Figura 11). En las quebradas de bosque-pastizal los macroinvertebrados con un tamaño de 0.25-0.5cm fueron los más frecuentes, seguido por macroinvertebrados con un tamaño de 0.5-1.0cm (Figura 11). En las quebradas de pastizal, los macroinvertebrados con un tamaño de 0.25-0.5cm fueron los más frecuentes, seguido de individuos con un tamaño <0.25cm (Figura 11). En cuanto al tipo de hojarasca, aliso y croton fueron las hojarascas que tuvieron una mayor frecuencia de macroinvertebrados con el tamaño aunque un patrón claro no fue evidente (Figura 11).

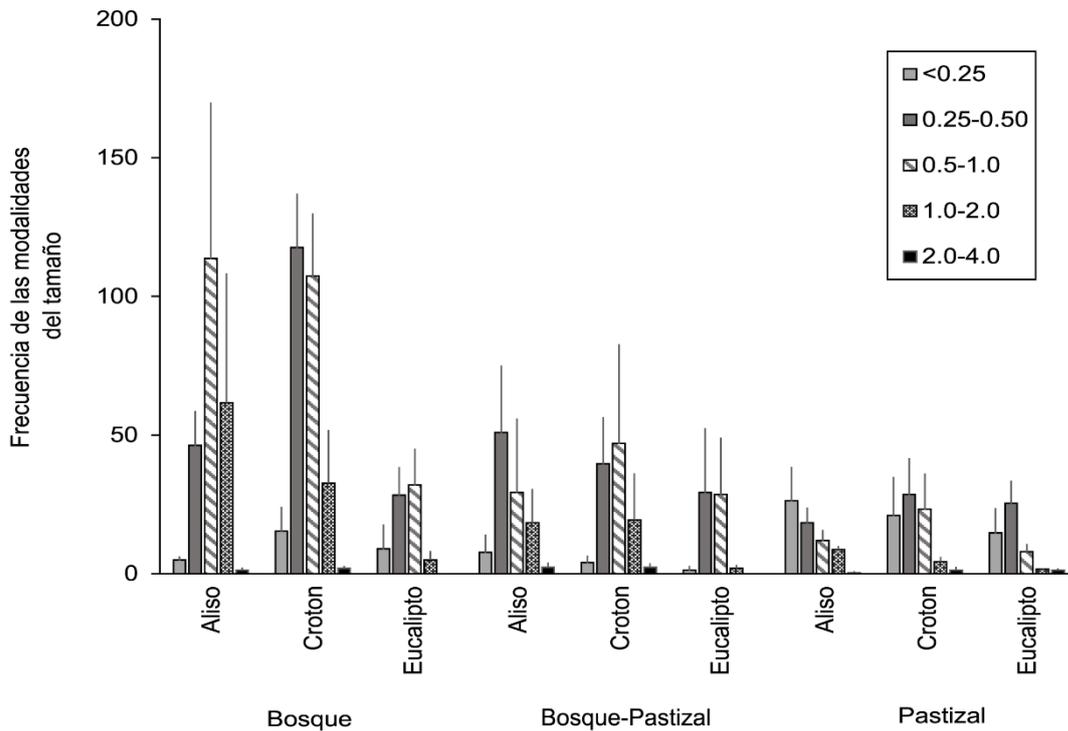


Fig. 11: Frecuencia de las modalidades del tamaño (cm)

En relación al rasgo biológico del tipo de alimento, los análisis mostraron que este rasgo no produce cambios significativos en relación al tipo de uso de suelo y hojarasca (Anexo 1).

El análisis perMANOVA aplicado a los rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de materia orgánica mostró diferencias significativas entre usos de suelo y no entre tipos de hojarasca, tampoco hubo una interacción significativa entre ambos factores (Tabla 9).

Tabla 9: Resumen del análisis perMANOVA aplicado a los rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados asociados a la descomposición de diferentes tipos de hojarasca en ríos con diferentes usos de suelo en sus riberas. Se indican los grados de libertad (GL), la suma de cuadrados (SC), la media de cuadrados (MC), el estadístico F, y los valores de p (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	P
Uso de suelo	2	1.19	0.594	2.887	<b>0.011</b>
Hojarasca	2	0.39	0.197	0.955	0.452
Uso de suelo: Hojarasca	4	0.33	0.082	0.397	0.979
Residuos	18	3.70	0.206		
Total	26	5.61			

Los rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados en quebradas de bosque difieren significativamente en las quebradas de pastizal y bosque-pastizal en un 64% y 68%

respectivamente; mientras que entre las quebradas de pastizal y de bosque-pastizal se encontró una diferencia significativa correspondiente al 62% (Tabla 10).

Tabla 10: Porcentaje de disimilitud en la organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados entre usos de suelo y tipo de hojarasca. Los valores de p (diferencias significativas de  $p < 0.05$  se muestran en negrita).

Fuente de variación	% Disimilitud	P
Bosque & Pastizal	64	<b>0.006</b>
Bosque & Bosque-Pastizal	68	<b>0.024</b>
Pastizal & Bosque-Pastizal	62	<b>0.005</b>
Aliso-Croton	59	0.989
Aliso-Eucalipto	63	0.289
Croton-Eucalipto	63	0.226

### 3.2 Discusión.

Nuestros resultados mostraron que las alteraciones antrópicas relacionadas con el uso de suelo tienen consecuencias negativas sobre la composición, organización funcional y rasgos biológicos de las comunidades de macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos andinos. Varios estudios han señalado que las comunidades de macroinvertebrados se ven afectadas por las diferentes transformaciones de usos de suelo (Iñiguez-Armijos et al., 2014). Sin embargo, las investigaciones que incluyan de manera integrada la composición y estructura funcional de las comunidades de estos organismos frente a los usos de suelo son limitados. Por ello esta investigación genera la línea base sobre las respuestas de la diversidad (composición, estructura, organización funcional y rasgos biológicos) de las comunidades de macroinvertebrados en respuesta a los cambios del uso de suelo de uno de los ecosistemas altamente amenazados por la deforestación.

#### 3.2.1 Composición y estructura de macroinvertebrados.

La composición de las comunidades de macroinvertebrados en el ecosistema ribereño señaló cambios significativos en función de los usos de suelo, incrementando las diferencias conforme se incrementa el grado de alteración (bosque a pastizal). En este contexto otros estudios han documentado los cambios en el uso de suelo lo cual altera la composición de las comunidades de macroinvertebrados con efectos directos en la condición ecológica (Iñiguez-Armijos et al., 2014) y la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos (Encalada, Calles, Ferreira, Canhoto, & Graca, 2010; Iñiguez-Armijos et al., 2016).

El presente trabajo complementa esta información y enriquece el conocimiento de los efectos del uso de suelo sobre la comunidad de macroinvertebrados directamente asociada al procesamiento de materia orgánica en arroyos andinos.

La estructura de la comunidad de macroinvertebrados en su conjunto (abundancia, riqueza, diversidad y equidad), señaló cambios significativos en los diferentes usos de suelo, en relación a la abundancia y riqueza se determinó que disminuye a medida que incrementa el grado de alteración. De acuerdo a nuestras observaciones algunos estudios han documentado que los ecosistemas acuáticos con mayor cobertura de bosques albergan una mayor riqueza y abundancia de especies debido a la disponibilidad de recursos y estabilidad (Iñiguez-Armijos et al., 2014, 2016)

Cabe mencionar que en las zonas andinas no se han realizado este tipo de investigación es por eso que se comparó con el estudio realizado por Danger & Robson (2004) en Australia, quienes documentaron cambios significativos entre los tres usos de suelo, y sobretodo en sitios donde la vegetación de ribera se encuentra cubierta por un elevado porcentaje de bosque. Sin embargo, estos autores también documentan que en ecosistemas con cierto porcentaje de bosque y zonas de pastizales se encontró una mejor estructura de macroinvertebrados en relación a pastizal; esto se asemeja a nuestros resultados ya que según Danger & Robson (2004) las riberas pueden no necesitar estar completamente cubiertas para proporcionar algunos beneficios a las comunidades de macroinvertebrados.

En relación a la estructura de la comunidad se encontró una mayor diversidad de macroinvertebrados en quebradas de pastizal; lo cual puede ser un poco contradictorio a lo que se esperaría. Sin embargo este patrón podría explicarse debido a un alto grado de variación ambiental que conlleva a un aumento de la diversidad o la complejidad funcional del ecosistema (Vannote, Minshall, Cummins, Sedell, & Cushing; 1980). Además, la alta diversidad puede atribuirse a la presencia de especies raras las cuales pueden estar constituyendo un gran componente de la riqueza de especies. A pesar de ello no ha sido tema de debate la importancia de las especies raras en la ecología de la comunidad acuática y el efecto que producen en el ecosistema acuático (Clarke, Mac Nally, Bond, & Lake; 2008).

En relación al tipo de hojarasca, no se encontraron diferencias significativas en la composición y estructura de la comunidad. Sin embargo se observó una tendencia relacionada con la riqueza y abundancia de macroinvertebrados que fue mayor en la hojarasca de las especies nativas Croton y Aliso, frente a la hojarasca de la especie introducida Eucalipto. Esto puede deberse a que la hojarasca de Eucalipto es de mala calidad nutricional, con bajo contenido de nutrientes (más lignina que celulosa) y presenta altos contenidos de compuestos secundarios (taninos y resinas) que la hacen poco apetecible para los macroinvertebrados (Peralta-Maraver et al., 2011).

### **3.2.2 Organización funcional de la comunidad de macroinvertebrados.**

La organización de los grupos funcionales de alimentación fue diferente entre usos de suelo, donde las mayores diferencias se les atribuyeron a una mayor abundancia de trozadores en los pastizales y colectores-filtradores en bosques. En cuanto al rasgo funcional colector-filtrador encontrado en gran porcentaje en quebradas de bosque, puede deberse a que utilizan diferentes tipos de partículas de diversos tamaños y composición para su alimentación los cuales se los puede encontrar en una mayor cantidad en sitios boscosos (Ramirez & Guitiérrez, 2014).

De manera diferente, se registró un mayor porcentaje del grupo trozadores en quebradas de pastizal y bosque-pastizal. Contrariamente a nuestras observaciones, el estudio en el noroeste de Ecuador en arroyos de montaña por (Encalada et al., 2010) documenta una mayor abundancia de trozadores en sitios boscosos, ya que están típicamente ligados a la abundancia de hojarasca y a la fragmentación de la misma. Generalmente, este grupo es abundante e importante para la descomposición de materia orgánica en varias regiones (Benstead, 1996), (Chará-Serna, Chará, del Carmen Zúñiga, Pearson, & Boyero, 2012). Sin embargo el papel de los macroinvertebrados trozadores ha sido tema de debate (Graca et al., 2015; Iñiguez et al., 2016), debido a que existe una teoría que manifiesta que este grupo funcional juega un papel menor en el desglose de la hojarasca en corrientes tropicales (Irons, Oswood, Stout, & Pringle, 1994) como sucede en nuestro estudio.

En relación al tipo de hojarasca nuestros resultados no muestran una preferencia de este grupo funcional de alimentación por la hojarasca de las tres especies (Aliso, Croton y Eucalipto). A pesar de ello, algunos estudios afirman que la hojarasca de Aliso, es un alimento relativamente atractivo para los macroinvertebrados trozadores (Canhoto & Graça, 1995; Hladyz, Gessner, Giller, Pozo, & Woodward, 2009). Similarmente el grupo funcional de predadores tampoco se encontraron diferencias significativas entre cada tipo de hojarasca, sin embargo presentaron un mayor porcentaje en la hojarasca de Eucalipto. Este grupo no se ve afectado por la presencia de la hojarasca introducida (Larrañaga, Basaguren, Elozegi, & Pozo; 2009). Adicionalmente se registró una alta abundancia del grupo de quironómidos, en el uso de suelo pastizal, los cuales tienen la capacidad de evitar las partes tóxicas de la hojarasca Eucalipto y pueden alimentarse de las partes más agradables para su paladar (Canhoto & Graça; 1995).

En relación al grupo de raspadores también se encontró un mayor porcentaje en pastizales, esto se puede deber al aumento de la temperatura y la radiación solar (Noel, Martin, & Federer, 1986), lo que promueve el crecimiento de los productores primarios como el

perifiton los cuales se encuentran en una alta abundancia en sitios de pasto, y sirven de alimento para los macroinvertebrados raspadores (Lorion & Kennedy, 2009).

### **3.2.3 Rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados.**

Siguiendo el mismo patrón que la composición, estructura y organización funcional de las comunidades, las diferencias más significativas de los rasgos biológicos estuvieron relacionadas al tipo de uso de suelo, y no al tipo de hojarasca. Particularmente, en las quebradas de bosque es en donde se observó una mayor frecuencia de las modalidades de los diferentes rasgos biológicos estudiados. En este contexto algunos estudios documentan que las riberas dominadas por bosques, proporcionan una alta variedad de hábitats y sustratos propicios para un mejor desarrollo de las comunidades acuáticas, además de aportar material vegetal que sostiene el procesamiento de materia orgánica y liberación de nutrientes necesarios para el desarrollo de la vida acuática (Roldán, 2003).

A diferencia, en las zonas de pastizal se observó una alta frecuencia de macroinvertebrados que no utilizan ningún tipo de refugio en comparación con el uso de suelo bosque. Las quebradas de bosque suelen proporcionar más opciones de refugio para la fauna acuática, a diferencia de quebradas con sus riberas alteradas (McCutchen, 2002). Así mismo, la falta de sustratos en las zonas de pastizal para refugio disminuye la recolonización por parte de las comunidades acuáticas alterando directamente su composición (Miserendino & Masi, 2010) y funcionamiento del ecosistema (Brand & Miserendino, 2015).

## **CONCLUSIONES**

Los cambios de uso de suelo en las riberas de los cauces Andinos tienen efectos negativos en la composición, estructura, organización funcional y rasgos biológicos de las comunidades de macroinvertebrados. Estas alteraciones producto del cambio de uso de suelo están modificando las condiciones apropiadas para que los organismos acuáticos sostengan estos ecosistemas fluviales de montaña. También el cambio de usos de suelo de las riberas está contribuyendo a la pérdida de la diversidad acuática.

Aunque no se detectó un efecto significativo del tipo de hojarasca sobre las comunidades de macroinvertebrados, especialmente con la hojarasca de la especie introducida eucalipto. Sin embargo diversos estudios afirman que utilizar esta especie para reforestar puede producir alteraciones en los parámetros físico-químicos y por ende alterar las comunidades de macroinvertebrados (Torres & Ramirez, 2014).

Los cambios en el ambiente ribereño de la hoya de la ciudad de Loja, están modificando la condición ecológica de los ecosistemas fluviales andinos, produciendo que las características taxonómicas y funcionales de las comunidades de macroinvertebrados sean alteradas rápidamente.

## **RECOMENDACIONES**

Los resultados del presente estudio ponen de manifiesto algunos factores que están alterando y modificando la comunidad de macroinvertebrados, Por eso es de vital importancia seguir con esta línea de investigación para seguir aportando con nuevos conocimientos de la estructura y funcionamiento de los ríos andinos.

Aunque en este estudio no se encontró un efecto del tipo de hojarasca, específicamente de eucalipto, se podría profundizar este estudio al experimentar con hojarasca de esta y otras especies introducidas que se encuentran comúnmente en las zonas de ribera de estos ecosistemas andinos.

En base a nuestro estudio es importante hacer planes de restauración y conservación de las riberas tomando en cuenta la configuración y estructura de la vegetación de ribera en zonas de referencia, utilizando especies nativas las cuales según la literatura presentan mejores beneficios para la comunidad de macroinvertebrados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 257–284.
- Alonso, A., & Camargo, J. A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 14(3). <http://doi.org/10.3989/graellsia.2006.v62.iExtra.123>
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(2001), 32–46.
- Bärlocher, F. (2005). Leaf Mass Loss Estimated by Litter Bag Technique. In M. S. Graça, F. Bärlocher, & M. Gessner (Eds.), *Methods to Study Litter Decomposition SE - 6* (pp. 37–42). Springer Netherlands. [http://doi.org/10.1007/1-4020-3466-0\\_6](http://doi.org/10.1007/1-4020-3466-0_6)
- Bautista, F., & Delgado, C. (2006). Descomposición De Hojarasca Y Abundancia De Macroinvertebrados Por El Uso De Mantillos Y Cultivos De Cobertura. *Terra Latinoamericana*, 24, 269 – 281.
- Benstead, J. P. (1996). Macroinvertebrates and the processing of leaf litter in a tropical stream. *Biotropica*, 367–375.
- Brand, C., & Miserendino, M. L. (2015). Testing the Performance of Macroinvertebrate Metrics as Indicators of Changes in Biodiversity after Pasture Conversion in Patagonian Mountain Streams. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(11). <http://doi.org/10.1007/s11270-015-2633-x>
- Bray, R. J., & Curtis, J. T. (1957). An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27, 325–349.
- Canhoto, C., & Graça, M. A. S. (1995). Food value of introduced eucalypt leaves for a Mediterranean stream detritivore: *Tipula lateralis*. *Freshwater Biology*, 34(2), 209–214.
- Castellanos, P. M., & 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, 79–86.
- Chará-Serna, A. M., Chará, J. D., del Carmen Zúñiga, M., Pearson, R. G., & Boyero, L. (2012). Diets of leaf litter-associated invertebrates in three tropical streams. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 48, pp. 139–144). EDP Sciences.
- Clarke, A., Mac Nally, R., Bond, N., & Lake, P. S. (2008). Macroinvertebrate diversity in

- headwater streams: a review. *Freshwater Biology*, 53(9), 1707–1721.
- Covich, A., Austen, M., Barlocher, F., Chauvet, E., Cardinale, B., Biles, C., ... Moss, B. (2004). The Role of Biodiversity in the Functioning of Freshwater and Marine Benthic Ecosystems. *BioScience*, 54(8).
- Cummins, K. W., Merritt, R. W., & Andrade, P. C. N. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 69–89.
- Danger, A. R., & Robson, B. J. (2004). The effects of land use on leaf-litter processing by macroinvertebrates in an Australian temperate coastal stream. *Aquatic Sciences*, 66(3), 296–304. <http://doi.org/10.1007/s00027-004-0718-5>
- Di Sabatino, A., Cristiano, G., Pinna, M., Lombardo, P., Paolo, F., Marini, G., ... Cicolani, B. (2014). Structure , functional organization and biological traits of macroinvertebrate assemblages from leaf-bags and benthic samples in a third-order stream of Central Apennines ( Italy ). *Ecological Indicators*, 46, 84–91. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.005>
- Díaz, M. (2009). *Producción-Descomposición de Hojarasca y Macroinvertebrados Freagmentadores en Cuatro Agrosistemas de la Cuenca del Río la Vieja*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Encalada, A., Calles, J., Ferreira, V., Canhoto, C., & Graca, M. (2010). Riparian land use and the relationship between the benthos and litter decomposition in tropical montane streams. *Freshwater Biology*, 55, 1719–1733. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02406.x>
- Eyes, M., Rodríguez, J., & Gutiérrez, L. (2012). DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA Y SU RELACION CON LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DEL RÍO GAIRA ( SANTA MARTA – COLOMBIA ). *Acta Biológica Colombiana*, 17, 77–91.
- FAO. (2002). *Relaciones Tierra-Agua en cuencas hidrográficas rurales*. *Fao.Org*. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lw9s.pdf>
- Gergel, S. E., Turner, M. G., Miller, J. R., Melack, J. M., & Stanley, E. H. (2002). Landscape indicators of human impacts to riverine systems. *Aquatic Sciences*, 64, 118–128. <http://doi.org/10.1007/s00027-002-8060-2>
- Graca, M. (2001). *The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams*.

*International Review of Hydrobiology* (Vol. 86). Berlín. Retrieved from [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2632\(200107\)86:4/5<383::AID-IROH383>3.0.CO;2-D/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2632(200107)86:4/5<383::AID-IROH383>3.0.CO;2-D/abstract)

Graca, M., Ferreira, V., Canhoto, C., Encalada, A. C., Guerrero-Bolaño, F., Wantzen, K. M., & Boyero, L. (2015). A conceptual model of litter breakdown in low order streams. *International Review of Hydrobiology*, 100(1), 1–12.

Greathouse, E. A., & Pringle, C. M. (2006). Does the river continuum concept apply on a tropical island? Longitudinal variation in a Puerto Rican stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(1), 134–152.

Guinard, J. D. C., Ríos, T., & Bernal-Vega, J. A. (2013). Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos. *Revista Gestión Y Ambiente*, 16(2), 61–70.

Hladyz, S., Gessner, M. O., Giller, P. S., POZO, J., & Woodward, G. U. Y. (2009). Resource quality and stoichiometric constraints on stream ecosystem functioning. *Freshwater Biology*, 54(5), 957–970.

Homeier, J., Werner, F. A., Gradstein, S. R., Breckle, S., & Richter, M. (2008). Potential vegetation and floristic composition of Andean forests in South Ecuador, with a focus on the RBSF. *Ecological Studies*, 198, 87.

Iñiguez, C., Rausche, S., Cueva, A., Sánchez-Rodríguez, A., Espinosa, C., & Breuer, L. (2016). Shifts in leaf litter breakdown along a forest – pasture – urban gradient in Andean streams. *Ecology and Evolution*, 1–17. <http://doi.org/10.1002/ece3.2257>

Iñiguez-Armijos, C., Leiva, A., Frede, H.-G., Hampel, H., & Breuer, L. (2014). Deforestation and Benthic Indicators : How Much Vegetation Cover Is Needed to Sustain Healthy Andean Streams ? *PLOS One*, 9(8), 1–10. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0105869>

Iñiguez-Armijos, C., Rausche, S., Cueva, A., Sánchez-Rodríguez, A., Espinosa, C., & Breuer, L. (2016). Shifts in leaf litter breakdown along a forest-pasture-urban gradient in Andean streams. *Ecology and Evolution*.

Irons, J. G., Oswood, M. W., Stout, R. J., & Pringle, C. M. (1994). Latitudinal patterns in leaf litter breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*, 32(2), 401–411. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01135.x>

Larrañaga, a., Basaguren, a., Elosegui, a., & Pozo, J. (2009). Impacts of <l>Eucalyptus

- globulus</l> plantations on Atlantic streams: changes in invertebrate density and shredder traits. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv Für Hydrobiologie*, 175(2), 151–160. <http://doi.org/10.1127/1863-9135/2009/0175-0151>
- Lorion, C. M., & Kennedy, B. P. (2009). Relationships between deforestation , riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in neotropical headwater streams. *Freshwater Biology*, 54, 165–180. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02092.x>
- Luna, N. (2016). *Descomposición de materia orgánica en ríos andinos: efectos del cambio de usos de suelo y de la calidad de la hojarasca*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- McCutchen, N. A. (2002). The response of stonefly (Plecoptera) nymphs to seasonal increases in predation risk. *Canadian Journal of Zoology*, 80(6), 967–972.
- Meza, M., Rubio, J., Días, A., & Walteros, L. (2012). CALIDAD DE AGUA Y COMPOSICIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO CHINCHINÁ Water quality and composition of aquatic macroinvertebrates in the subwatershed of river Chinchiná. *Caldasía*, 34(2), 443–456. Retrieved from <http://www.icn.unal.edu.co/>
- Miserendino, M. L., & Masi, C. I. (2010). The effects of land use on environmental features and functional organization of macroinvertebrate communities in Patagonian low order streams. *Ecological Indicators*, 10(2), 311–319.
- Noel, D. S., Martin, C. W., & Federer, C. A. (1986). Effects of forest clearcutting in New England on stream macroinvertebrates and periphyton. *Environmental Management*, 10(5), 661–670.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., Mcglinn, D., ... Wagner, H. (2016). Community Ecology Package.
- Palma, A., Figueroa, R., & Ruiz, V. H. (2009). EVALUACION DE RIBERA Y HABITAT FLUVIAL A TRAVES DE LOS INDICES QBR E IHF. *Gayana*, 73(1), 57–63.
- Peralta-Maraver, I., López-Rodríguez, M. J., Fenoglio, S., Bo, T., Luzón-Ortega, J. M., & de Figueroa, J. M. T. (2011). Macroinvertebrate colonization of two different tree species leaf packs (native vs. introduced) in a Mediterranean stream. *Journal of Freshwater Ecology*, 26(4), 495–505.
- Pozo, J., Elosegi, A., Díez, J., & Molinero, J. (2009). Dinámica y relevancia de la materia

- orgánica. In A. Elozegi & S. Sabater (Eds.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (Primera ed, pp. 219 – 242). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ramirez, A., & Guitierrez, P. (2014). FFG of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical*.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. *Propuesta Para El Uso Del Método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia Y Tecnología. Medellín.*
- Sabater, S., Charles-Donato, J., Giorgi, A., & Elozegi, A. (2009). El río como ecosistema. In A. Elozegi & S. Sabater (Eds.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (Primera ed). Bilbao.
- Sánchez, S. C., Crespo, G. L., Chávez, M. H., & García, Y. O. (2008). Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 269–273. Retrieved from <http://www.scielo.org.ve/pdf/zt/v26n3/art24.pdf>
- Silva-Junior, E. F., Moulton, T. P., Boëchat, I. G., & Gücker, B. (2014). Leaf decomposition and ecosystem metabolism as functional indicators of land use impacts on tropical streams. *Ecological Indicators*, 36, 195–204. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.027>
- Sponseller, R. A., Benfield, E. F., & Valett, H. M. (2001). Relationships between land use , spatial scale and stream macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology*, 46, 1409–1424.
- Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Del Mar Sánchez-Montoya, M., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., ... Vivas, S. (2002). Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: El uso del índice QBR. *Limnetica*, 21(3-4), 135–148.
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s—losing a hotspot of biodiversity. *PLoS One*, 10(9), e0133701.
- The R Core Team. (2016). R : A Language and Environment for Statistical Computing.
- Tomanova, S., Goitia, E., & Helešić, J. (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 556(1), 251–264.
- Torracchi, E., Tapia, M. F., Escudero, A., & de la Cruz, M. (2000). 14. Deforestación en una

región montañosa megadiversa en los Andes: dinámica del paisaje en el sur de Ecuador.

Torres, P. J., & Ramirez, A. (2014). Land use effects on leaf litter breakdown in low-order streams draining a rapidly developing tropical watershed in Puerto Rico. *Revista de Biología Tropical*, 62, 129–142.

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130–137.

## **ANEXOS**

Anexo 1: Sitios de estudio por cada uso de suelo:



**Bosque**



**Bosque-Pastizal**



**Pastizal**

Anexo 2: Bolsa de malla gruesa con hojarasca



Anexo 3: Rasgo biológico de la modalidad del tipo de alimento

