

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Evaluación de la producción de hojarasca en cuatro tipos de coberturas vegetales en una zona alta de Nero**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

**Autor:**

Edwin Ismael Chávez Narváez

**Director:**

Pablo Marcelo Borja Ramón  
ORCID:  0000-0002-9852-101X

**Cuenca, Ecuador**  
2024-08-06

## Resumen

La hojarasca juega un papel fundamental en el mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas mediante la incorporación de nutrientes hacia el suelo. El objetivo del estudio fue evaluar la producción de hojarasca en cuatro coberturas vegetales en una zona alta de Nero. Se estudiaron diferentes coberturas vegetales bosque de pino (BP), bosque nativo (BN), pajonal (PA) y potrero (PO), se contó con cuatro parcelas por cobertura, en cada parcela se colocaron cinco trampas o áreas delimitadas de  $0,33\text{m}^2$  y  $1\text{m}^2$ . La recolección de hojarasca fue en un intervalo de 15 días para las coberturas arbóreas durante cuatro meses, mientras para las coberturas de pajonal y potrero fue en un intervalo de 45 días durante tres meses. Para las coberturas arbóreas BN y BP se encontraron diferencias estadísticas significativas y se obtuvo una producción promedio de  $1335 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $2007 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, mientras que para las coberturas de PA y PO se obtuvo una producción promedio de  $876 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ . La fracción que mayor contribuyó en la hojarasca en el BN y BP fue la hoja dominante con un promedio de  $757 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $1808 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. La fracción que menos contribuyó fue la corteza con un promedio de  $19 \text{ kg ha}^{-1}$  y misceláneos con un promedio de  $8 \text{ kg ha}^{-1}$  en el BN y BP, respectivamente. Se evidenció una relación significativa entre el tipo de cobertura vegetal y la cantidad de hojarasca producida.

*Palabras clave del autor:* hojarasca, cobertura, bosques, pajonal, potrero



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

Leaf litter plays a fundamental role in the maintenance and functioning of ecosystems by incorporating nutrients into the soil. The objective of the study was to evaluate the production of litterfall in four vegetation covers in an upland area of Nero. Different vegetation covers were studied: pine forest (BP), native forest (BN), grassland (PA) and pasture (PO). There were four plots per cover, and five traps or delimited areas of  $0,33\text{m}^2$  and  $1\text{m}^2$  were placed in each plot. Leaf litter was collected at an interval of 15 days for the tree cover for four months, while for the grassland and pasture cover it was at an interval of 45 days for three months. For the tree cover BN and BP, significant statistical differences were found and an average production of  $1335 \text{ kg ha}^{-1}$  and  $2007 \text{ kg ha}^{-1}$  was obtained, respectively, while for the PA and PO covers an average production of  $876 \text{ kg ha}^{-1}$  and  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  was obtained. The major contributing fraction in litterfall in the BN and BP was the dominant leaf with an average of  $757 \text{ kg ha}^{-1}$  and  $1808 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectively. The least contributing fraction was bark with an average of  $19 \text{ kg ha}^{-1}$  and miscellaneous with an average of  $8 \text{ kg ha}^{-1}$  in the BN and BP, respectively. There was a significant relationship between the type of vegetation cover and the amount of litter produced.

*Author keywords:* leaf litter, covers, forests, pajonal, pasture



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.  
**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Índice de figuras.....	7
Índice de tablas.....	9
Abreviaturas y simbología.....	10
Agradecimientos .....	11
Dedicatoria.....	11
1. Introducción .....	12
2. Objetivos .....	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos .....	13
3. Revisión bibliográfica .....	14
3.1. La hojarasca .....	14
3.2. Producción primaria neta .....	14
3.3. Importancia de la hojarasca en los ecosistemas .....	15
3.4. Cobertura forestal nativa.....	15
3.5. Cobertura forestal exótica (Pino) .....	16
3.6. Cobertura de pajonal .....	17
3.7. Cobertura de potrero.....	17
3.8. Factores que influyen en la acumulación de hojarasca .....	18
3.8.1. Clima .....	18
3.8.2. Suelo .....	18
3.8.3. Zona climática.....	18
3.8.4. Altitud .....	19
3.8.4. Otros factores .....	19

3.9. Estudios similares .....	19
4. Materiales y métodos.....	21
4.1. Ubicación de la zona de estudio .....	21
4.2. Producción de biomasa .....	22
4.2.1. Métodos de campo .....	22
4.2.2. Métodos de laboratorio .....	23
4.2.3. Estimación de la producción total de hojarasca.....	24
4.2.4. Clasificación y estimación de la producción de hojarasca de las coberturas arbóreas en sus principales fracciones.....	24
5. Diseño experimental y análisis estadístico .....	26
5.1. Diseño de la investigación .....	26
5.2. Análisis estadístico .....	26
6. Resultados .....	27
6.1. Estimación de la producción de hojarasca .....	27
6.2. Estimación de la producción de hojarasca en sus fracciones principales en las coberturas arbóreas .....	29
7. Discusión .....	32
7.1. Estimación de la producción de hojarasca .....	32
7.2. Estimación de la producción de hojarasca en sus principales fracciones en las coberturas arbóreas .....	35
8. Conclusiones .....	37
9. Referencias.....	38
10. Anexos.....	48
Anexo A. Prueba paramétrica de Z para la producción de hojarasca entre las coberturas BN y BP .....	48
Anexo B. Prueba de normalidad de datos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para las diferentes fracciones de la hojarasca. ....	48

Anexo C. Prueba paramétrica de Z para la producción de hojarasca en la fracción hoja dominante entre las coberturas BP y BN.....	49
Anexo D. Prueba de U-Mann-Whitney para la producción de hojarasca en las fracciones de hojas secundarias, órganos reproductivos, ramas y misceláneos entre las coberturas BP y BN. ....	49
Anexo E. Coordenadas de la zona de estudio.....	50
Anexo F. Metodología de campo.....	51
Anexo G. Metodología de laboratorio. ....	52

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la zona de estudio (Bosque Protector Sunsun Yanasacha) del trabajo de titulación denominado “Evaluación de hojarasca en cuatro tipos de coberturas vegetales en una zona alta de Nero”.....	22
<b>Figura 2.</b> Diseño para la ubicación de las trampas y áreas delimitadas para la captura de hojarasca dentro de las parcelas de bosque de pino, bosque nativo, pajonal y potrero. ....	23
<b>Figura 3.</b> Gráfico de barras de la producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de las cuatro coberturas vegetales de bosque nativo (BN), bosque de pino (BP), pajonal (PA) y potrero (PO): promedios y desviación estándar.....	27
<b>Figura 4.</b> Gráfico de cajas de la producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para los cuatro meses de estudio de las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP). .....	28
<b>Figura 5.</b> Gráfico de barras de la producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para los cuatro meses de estudio de las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP): promedio y desviación estándar.....	29
<b>Figura 6.</b> Producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en las fracciones de hoja dominante, hojas secundarias, ramas y misceláneos en las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP): promedio y desviación estándar.....	31
<b>Figura 7.</b> Producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en las fracciones de órganos reproductivos y cortezas en las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP): promedio y desviación estándar. ..	31
<b>Figura 8.</b> Trampa para la captura de hojarasca (bosque nativo).....	51
<b>Figura 9.</b> Recolección de la hojarasca (bosque nativo). ....	51
<b>Figura 10.</b> Recolección de la hojarasca (bosque de pino).....	51
<b>Figura 11.</b> Colocación de las muestras en la estufa.....	52
<b>Figura 12.</b> Pesado en seco de la hojarasca (bosque de pino). .....	52
<b>Figura 13.</b> Pesado en seco de la hojarasca (pajonal). .....	52
<b>Figura 14.</b> Pesado en seco de la hojarasca (potrero). .....	53
<b>Figura 15.</b> Clasificación en cada una de las fracciones de hojarasca (bosque nativo). .....	53
<b>Figura 16.</b> Fracción de hoja dominante (bosque nativo). .....	53

<b>Figura 17.</b> Fracción de hojas secundarias (bosque nativo) .....	54
<b>Figura 18.</b> Fracción de órganos reproductivos (bosque nativo). ....	54
<b>Figura 19.</b> Fracción de ramas (bosque nativo). ....	54
<b>Figura 20.</b> Fracción de corteza (bosque nativo). ....	55
<b>Figura 21.</b> Fracción de misceláneos (bosque nativo). ....	55
<b>Figura 22.</b> Fracción de hoja dominante (bosque de pino). ....	55
<b>Figura 23.</b> Fracción de hojas secundarias (bosque de pino).....	56
<b>Figura 24.</b> Fracción de órganos reproductivos (bosque de pino). ....	56
<b>Figura 25.</b> Fracción de ramas (bosque de pino).....	56
<b>Figura 26.</b> Fracción de corteza (bosque de pino). ....	57
<b>Figura 27.</b> Fracción de misceláneos (bosque de pino).....	57

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Producción total de hojarasca en kg ha <sup>-1</sup> para las cuatro coberturas vegetales....	27
<b>Tabla 2.</b> Producción de hojarasca en kg ha <sup>-1</sup> y porcentaje para cada una de las fracciones en las coberturas arbóreas.....	29
<b>Tabla 3.</b> Prueba paramétrica de Z para la producción total entre las coberturas de BN y BP.....	48
<b>Tabla 4.</b> Prueba de Shapiro-Wilk y Levene para las diferentes fracciones de la hojarasca.	48
<b>Tabla 5.</b> Prueba paramétrica de Z para la producción de hojarasca en la fracción de hoja dominante entre las coberturas BN y BP.....	49
<b>Tabla 6.</b> Prueba de U-Mann-Whitney para la producción de hojarasca para las diferentes fracciones entre las coberturas BP y BN.....	49
<b>Tabla 7.</b> Localización de las parcelas en el Bosque Protector Sunsun Yanasacha.....	50

## Abreviaturas y simbología

**BN:** Cobertura de Bosque Nativo

**BP:** Cobertura de Bosque de Pino

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**kg ha<sup>-1</sup>:** Kilogramos por hectárea

**MAE:** Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica

**PA:** Cobertura de Pajonal

**PO:** Cobertura de Potrero

**PPB:** Producción Primaria Bruta

**PPN:** Producción Primaria Neta

## Agradecimientos

Quiero agradecer a cada una de las personas que mediante su ayuda y apoyo contribuyeron para la elaboración de este trabajo de titulación. Quiero agradecer al Ing. Pablo Borja que el transcurso de la elaboración de este trabajo de titulación me brindó su apoyo y sus conocimientos que fue de gran importancia para la elaboración de este trabajo. De la misma manera quiero agradecer a la Ing. Michelle Cherrez que fue la persona encargada del Laboratorio de Hidro física de Suelos por sus enseñanzas compartidas en las actividades de laboratorio y campo. También quiero agradecer a los miembros revisores al Ing. Raúl Vanegas y al Ing. Pedro Zea contribuyeron con sus aportaciones en este trabajo de titulación.

## Dedicatoria

Esto se los dedico especialmente a mis padres quienes desde un inicio siempre creyeron y confiaron en mí, y no dudaron en seguir apoyándome en todo momento en el transcurso de mis estudios académicos a lo largo de todos estos años. Finalmente, luego de todos estos años llenos de esfuerzo y dedicación logre cumplir otra meta más en mi vida, y se le los dedico a mi familia y amigos quienes siempre me brindaron sus consejos y apoyo condicional.

## 1. Introducción

Los ecosistemas montanos son de gran importancia dado que albergan una gran variedad de flora y fauna, quienes son valoradas por su alto e importante nivel de endemismo. Además, estos ecosistemas montanos nos proporcionan numerosos bienes y servicios ambientales, tales como suministro de agua, la protección de los suelos, el almacenamiento de dióxido de carbono, la producción de oxígeno y la conservación de la biodiversidad, entre otros (MAE & FAO, 2015).

Los bosques montanos de los Andes son considerados como el hermano menor de los bosques amazónicos, son muy apreciados debido a que protegen el suelo del impacto de la lluvia, permiten reducir los procesos de erosión (Doornbos, 2015). La comunidad vegetal es de vital importancia en los ecosistemas terrestres, conforman la principal entrada de materia orgánica mediante la caída de hojarasca hacia el suelo (García et al., 2020). La hojarasca tiene un papel fundamental para la sostenibilidad y funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Santos et al., 2021).

La cantidad de hojarasca producida sirve como indicador de la producción primaria neta de un ecosistema (Vargas & Varela, 2007), y se encuentra fuertemente vinculada con los factores ambientales (temperatura, precipitación, humedad, entre otros), también la estructura y composición de la vegetación influyen en la cantidad de hojarasca generada (González et al., 2019). La producción de hojarasca tanto en cantidad y naturaleza influyen en la formación y mantenimiento del suelo, por ende, la cuantificación de la producción de hojarasca es importante para comprender el ciclo de nutrientes de los ecosistemas terrestres (López et al., 2022).

Por tal motivo, este trabajo de titulación evaluó la producción de la hojarasca en cuatro coberturas vegetales ubicadas en el Bosque Protector Sunsun Yanasacha. Los resultados obtenidos aportarán al entendimiento sobre los aportes de hojarasca que posteriormente se convertirán en suelo por procesos pedogénicos. Además, se espera que los resultados permitan adquirir y ampliar conocimientos acerca de las interrelaciones que existen dentro de los ecosistemas con el objetivo de su conservación.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Evaluar la producción de hojarasca en cuatro coberturas vegetales en una zona alta de Nero.

### 2.2. Objetivos específicos

- Estimar las tasas de producción de hojarasca en coberturas forestales (bosque nativo), forestales exóticos (pino), cobertura de páramo (pajonal) y cobertura de potrero (pasto cultivado).
- Establecer la producción de sus fracciones principales: hojas de especie dominante, hojas de otras especies o especies secundarias, órganos reproductivos, ramas, cortezas y misceláneos, en el bosque nativo y bosque exótico.

### 3. Revisión bibliográfica

#### 3.1. La hojarasca

La hojarasca se define como “La capa de material vegetal muerto presente en la superficie del suelo o material vegetal que se desprende de la parte área de una planta viva” (Krishna & Mohan, 2017, p. 236). La hojarasca constituye una de las fuentes principales de ingreso de nutrientes al suelo (Sánchez et al., 2008). Mediante su descomposición se estima que se encuentran entre el 70 y 90% de los nutrientes que son necesarios por las plantas para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Waring & Schlesinger, 1985).

La hojarasca comprende todas las estructuras vegetativas y reproductivas que se encuentran en los ecosistemas (Krishna & Mohan, 2017). Las hojas constituyen más del 70% del total de hojarasca que cae a la superficie del suelo, lo demás se completa con ramas y estructuras reproductivas (Robertson & Paul, 2000). La sumatoria de todos estos detritos vegetales producidos por la comunidad vegetal conforman la cantidad de hojarasca (González et al., 2013).

#### 3.2. Producción primaria neta

La producción primaria neta (PPN) es el resultado de la energía capturada por la fotosíntesis (producción primaria bruta, PBP) menos la energía consumida en la respiración de las plantas en un ecosistema (Hernández-Ramos et al., 2017; Puerto, 1982; Salas & Infante, 2006).

La PPN se define como la materia orgánica total generada en un ecosistema durante un período determinado (Clark et al., 2001). Puede acumularse como biomasa, ser utilizada por herbívoros, pasar de materia orgánica muerta a ser objeto de transformación por microorganismo descomponedores, ser exportada a otros ecosistemas (Puerto, 1982). Pocos componentes de la PPN se pueden evaluar en el campo en los ecosistemas forestales, sin embargo, en su mayoría las mediciones se basan en el incremento de la biomasa área y a la producción de hojarasca (Salas & Infante, 2006).

En una comunidad vegetal la hojarasca forma parte de la PPN que la planta destina a formar y producir estructuras como las hojas, ramas, tallos, entre otros (Salas & Infante, 2006). La hojarasca generada constituye aproximadamente entre el 20 y 30% de la PPN (Margalef, 1980), esta producción de biomasa va a estar correlacionada tanto por procesos biológicos y las condiciones ambientales, sin embargo, también son significativos el relieve, condiciones edáficas y especie vegetal, entre otros (Quinto et al., 2007).

### 3.3. Importancia de la hojarasca en los ecosistemas

La hojarasca tiene un papel fundamental en la dinámica de los ecosistemas, influye en el ciclo de nutrientes y en el almacenamiento de carbono (Lucky, 2023). Los aportes y la descomposición de la hojarasca tienen un papel esencial en el mantenimiento, funcionamiento (López et al., 2022) y en la productividad de los ecosistemas terrestres (Wang et al., 2015). A partir de la hojarasca se renueva el suelo, se evita la erosión, mejora las propiedades edáficas del suelo (González et al., 2013).

Gran parte de la materia orgánica del suelo se obtiene mediante la humificación de los restos vegetales que se incorporan a la superficie del suelo provenientes de la parte aérea de las plantas (Aceñolaza et al., 2009). Además, se conoce que a partir de la hojarasca se alimentan las cadenas tróficas que son responsables de la descomposición, la misma es una vía principal para el flujo de nutrientes y el aporte de materia orgánica en los suelos forestales y posteriormente tiene fuerte influencia en la productividad forestal (Pitman et al., 2010). Son pocos los estudios realizados acerca de la hojarasca a pesar que es de gran importancia en la incorporación y en la liberación de nutrientes en el suelo, y posteriormente su asimilación por parte de las plantas (Sánchez et al., 2008).

### 3.4. Cobertura forestal nativa

Los Andes constituye una cadena de montañas en donde los bosques altos montanos de los Andes ecuatorianos son parte primordial de la conservación, dado a su abundante riqueza biológica, su alto endemismo y alta biodiversidad, por ende, son una prioridad global para su conservación a nivel mundial (Garavito et al., 2012). En estos bosques la incorporación de nutrientes se da mediante la hojarasca, por lo general, es el resultado de una mezcla de residuos vegetales de diferentes especies de plantas en los bosques naturales (Liu et al., 2022).

Se logró determinar la especie dominante del bosque nativo de la zona de estudio, denominada “*Gynoxys hallii Hieron*” a partir de otro estudio denominado “Determinación del efecto de cuatro tipos de cobertura vegetal en producción de hojarasca en una zona del Bosque Sun sun Yanasacha. Provincia del Azuay” (Baculima & Guerrero, 2023). *Gynoxys hallii Hieron* es un árbol endémico del Ecuador; pertenece a la familia de las Asteráceas, puede llegar a medir hasta 4 metros de altura, se encuentra en los bosques andinos altos entre una altitud de 2500 – 3500 msnm, se lo puede encontrar principalmente en las provincias del Azuay, Cañar, Carchi, etc. (León et al., 2019).

En altitudes que van desde los 3000 – 3500 msnm, los árboles son escasos en los Andes centrales, algunos bosques naturales dominados por el género *Gynoxys* se encuentran amenazados (Kessler, 2006). Las actividades del ser humano han causado que los bosques nativos se vean deteriorados mediante la expansión de actividades agrícolas, ganadería, infraestructura, entre otros (Dávalos et al., 2014). La elevada escala de deforestación ha causado efectos negativos en el ecosistema como la degradación de suelos y han conducido a la disminución de la biodiversidad en los bosques naturales (Sánchez et al., 2008).

Los bosques montanos son muy importantes debido a que permiten obtener aguas sanas. Además, funcionan como reservorios de la biodiversidad, albergan gran diversidad de flora y fauna (MAE & FAO, 2015).

### 3.5. Cobertura forestal exótica (Pino)

Es una especie que pertenece a la familia de las Pinaceae, puede llegar a medir 30 metros e incluso más, su presencia es discontinua y ahora crece especialmente en lugares en donde la agricultura es inaccesible. Se encuentra distribuida en diferentes lugares, tales como Sudamérica, África, Oceanía, etc. Por lo general crece en una altitud de 1000 a 3000 msnm, con una temperatura media de 10 - 28 °C y con una precipitación de 1000 a 2000 mm/ anual, se desarrolla bien en suelos ácidos y con buen suministro de humedad (Orwa et al., 2009). En Ecuador las plantaciones más extensas se ubican en altitudes entre los 2200 y 35000 msnm (Washington, 1997).

La siembra a gran escala de esta planta exótica se debe a que es una de las especies que más se utiliza para proyectos de reforestación (Alvarado et al., 2013), en comparación de otras especies, posee un alto rendimiento en los programas de reforestación para proteger el suelo de la degradación y erosión (García et al., 2017). A su vez las plantaciones de estas especies exóticas son apreciados como sumideros de carbono (Díaz et al., 2016).

Las plantas exóticas que se encuentran en bajas densidades tienen la capacidad de alcanzar altas densidades en zonas donde son introducidas, su éxito se debe a que las especies exóticas que son introducidas en zonas nativas de otras especies se ven favorecidas ya que se liberan de sus consumidores principales y de patógenos. Algunas especies de plantas pueden llegar a ser más dominantes en sus nuevos hábitats debido a la introducción por parte de los humanos (Callaway & Ridenour, 2004). Las especies exóticas pueden llegar a causar perturbaciones en los ecosistemas y en los hábitats ecológicos ya que modifican su funcionamiento y composición (Thébaud & Simberloff, 2001), causan fuertes efectos negativos sobre la diversidad y composición de la vegetación (Van Wesenbeeck et al., 2003).

### 3.6. Cobertura de pajonal

Los páramos son ecosistemas de montaña alta, en el Ecuador cubren alrededor del 7% de su superficie, cuenta con praderas húmedas que se encuentran mezcladas con parches de bosque de baja altura, concentra un alto endemismo y diversidad de plantas del mundo. (Moroch & Chuncho, 2019)

La vegetación consiste principalmente de pajonales, rosetas, musgos y pequeños arbustos. Los páramos del Ecuador son heterogéneos debido a la diversidad de suelos y condiciones meteorológicas. En el páramo medio se encuentra la zona de pajonal entre una altitud 3200 - 4000 msnm (Camacho, 2014). Los pajonales son los más extendidos en el páramo del Ecuador (Hofstede et al., 2002), forman parte de las gramíneas vivaces amacolladas (Izco et al., 2007).

Los páramos son apreciados por ser buenos sumideros de carbono y reservorios de agua tanto en cantidad y calidad que abastecen a las cuencas hidrográficas, por tal motivo, es utilizada para las necesidades de los humanos, animales y para el riego de los cultivos. Los páramos son importantes para la regulación del clima, desarrollo económico, social y cultural de la población (Moroch & Chuncho, 2019).

Pese a que los páramos son uno de los ecosistemas más primordiales, estos no han sido valorados y no se les ha dado un buen manejo como se lo merecen, por lo cual, estos ecosistemas se encuentran afectados por el cambio de uso del suelo y están amenazados por la introducción de cultivos, pastoreo, las quemas y la reforestación con plantas exóticas (Moroch & Chuncho, 2019).

### 3.7. Cobertura de potrero

El Ecuador posee condiciones medioambientales favorables para la producción de pastos durante todo el año, debido a que no enfrenta inviernos severos ni sequías extremas, lo que permite que se obtengan niveles altos de productividad. Los pastos cultivados son de gran importancia para la producción ganadera, dado que, para su alimentación se basan en el consumo de pastos y forrajes, además, de que componen el alimento más económico y ofrecen todos los nutrientes para estos animales. Los pastos se implementan y se desarrollan aún más en áreas en donde los cultivos se encuentran limitados a las condiciones medioambientales (León et al., 2018).

Los pastos se encuentran conectados con la deforestación, debido a que se da un cambio en el uso del suelo, que va desde bosques a pastos, de tal manera que los bosques se encuentran expuestos al pastoreo (Meza & Armenteras, 2018). En Latinoamérica se ha producido un deterioro ambiental a causa del aumento de tierras de pastos (Sánchez et al., 2008).

Sin embargo, se pueden obtener algunas ventajas a partir de los pastos, cuando no se dejan los pastos abandonados se puede obtener suelos fértiles mediante un buen manejo de pastos y pastoreo sostenible (De Santiago et al., 2023). También mediante la asociación de pastos con árboles nativos ofrece mejoras en la producción de pastos y proporciona servicios ecosistémicos (Silva et al., 2023).

### **3.8. Factores que influyen en la acumulación de hojarasca**

La producción de hojarasca se puede ver influenciada o afectada por algunos factores como el clima, suelo, latitud, altitud, entre otros.

#### **3.8.1. Clima**

En todos los bosques que se encuentran distribuidos por diferentes lugares alrededor del mundo, existe una relación entre la producción de hojarasca y los factores ambientales (temperatura y precipitación) (Chave et al., 2009), los mismos son los principales promotores de la producción de hojarasca (Martínez et al., 2007), sin embargo, sus impactos difieren entre lugares y tipos de bosques (Geng et al., 2022).

#### **3.8.2. Suelo**

Las propiedades edáficas del suelo pueden influir en la producción de la hojarasca (López et al., 2022), existe un aumento en la producción de restos vegetales en suelos fértiles (González & Gallardo, 1982). De acuerdo a Chave et al. (2009), en su estudio encontraron que la producción de hojarasca se vio reflejada con declinaciones en la productividad en suelos pobres (suelos de arena blanca) en comparación con otros tipos de suelos.

#### **3.8.3. Zona climática**

La producción de hojarasca presenta cambios en la producción debido a la influencia de la zona climática, existe un mayor aumento de productividad en bosques que se encuentran en zonas calientes o tropicales seguido de bosques de otras zonas climáticas (Matthews, 1997).

### 3.8.4. Altitud

También la producción de hojarasca es afectada por la altitud, a medida que la altitud aumenta la productividad disminuye (Lu & Liu, 2012), a esto también se suma Veneklaas (1991), Garkoti y Singh (1995), Kitayama y Aiba (2002), Röderstein et al. (2005) y Zhou et al. (2014), de acuerdo a sus investigaciones mencionan que la producción de hojarasca anual decrece con el aumento de la altitud. Esto se debe a que con el aumento de altitud el contenido de nutrientes como el nitrógeno, fosforo y potasio disminuyen, por ende, se ve afectado las respuestas fisiológicas de las plantas, disminuyendo su crecimiento, densidad y diversidad en especies forestales (Murga et al., 2021).

### 3.8.4. Otros factores

La hojarasca se acumula en la superficie del suelo con el transcurso del tiempo (Sánchez et al., 2023), varía de acuerdo al espacio y tiempo debido a que la cantidad difiere en cuanto a los sitios y periodos muestreados (Costa et al., 2020). La producción de hojarasca se ve afectada por la influencia de las condiciones ambientales, características edafológicas y estructura de la vegetación (Matthews, 1997), así como edad de los árboles, especies de plantas, ontogenia y composición del bosque (Rubiano et al., 2013). También la sequía puede influir en la caída de la biomasa área, en la cual habrá un aumento de caída de hojarasca a corto plazo en los bosques, sin embargo, existirá una disminución a largo plazo (Liu et al., 2015). Además, la producción de hojarasca también puede resultar afectada a causa de las actividades antropogénicas (Pitman et al., 2010).

## 3.9. Estudios similares

A nivel del Ecuador en un estudio realizado por Quichimbo et al. (2016), que se llevó a cabo en bosques de pino ubicados en el sur de los Andes de Ecuador obtuvieron una producción mensual de materia seca entre 1067-1907 kg/ha<sup>-1</sup>. En otro estudio realizado por Pinos et al. (2017), en bosques de *Polylepis reticulata* en el límite arbóreo de los Andes ecuatorianos entre los 3700 a 3900 msnm, obtuvieron una producción de hojarasca promedio anual de 3770 kg ha.

A nivel en Sudamérica en un estudio realizado por Chave et al. (2009) en los bosques tropicales de Sudamérica reportaron una producción promedio de 8610 kg ha<sup>-1</sup> año, respectivamente. En otro estudio realizado por Vargas Parra & Varela (2007) en un bosque de niebla en una reserva natural en Colombia ubicada entre los 1300 y 2100 msnm, obtuvieron productividades entre los 5240 y 7320 kg ha<sup>-1</sup> año. En otro estudio realizado por

León et al. (2011) en bosque natural (roble) y en bosques de coníferas (ciprés y pino) en ecosistemas de alta montaña de Colombia, obtuvieron cantidad similares de caída de hojarasca fina tanto en bosque de roble y de pino con  $7480 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$  y  $7768 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$  respectivamente, sin embargo, en bosque de ciprés la producción fue baja con  $3488 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ . En otro estudio realizado en Colombia por Machuca et al. (2023) en un bosque altoandino a 3100 msnm, obtuvieron una producción de  $4780 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ . En otro estudio realizado en Colombia por Zapata et al. (2007) en bosques montanos naturales de *Quercus humboldtii* y reforestados (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) el promedio de caída de hojarasca fue de 7877,20; 8362,47 y  $3725,97 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ , respectivamente.

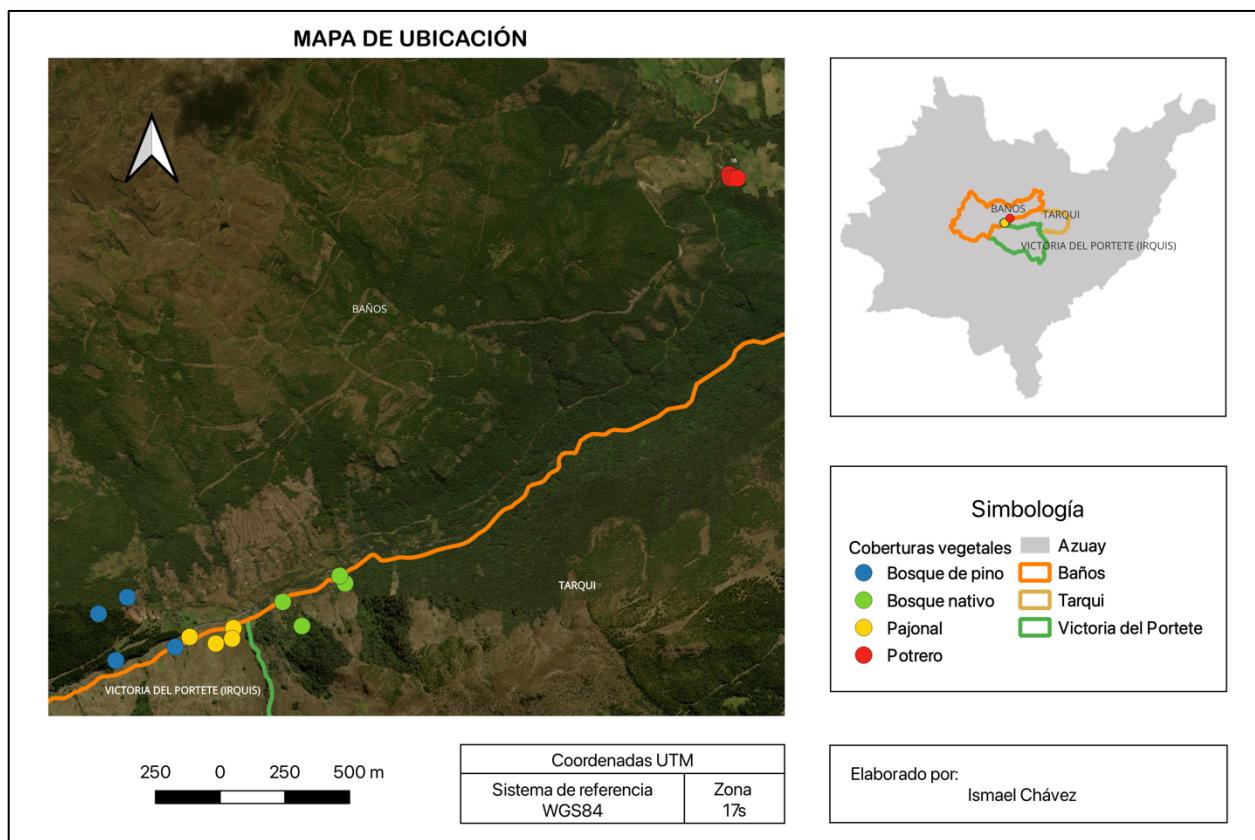
## 4. Materiales y métodos

### 4.1. Ubicación de la zona de estudio

Este trabajo de titulación se llevó a cabo en la microcuenca del río Zhucay en una zona alta de Nero abarcando el Bosque Protector Sunsun Yanasacha, las parcelas de estudio se ubicaron entre las parroquias de Baños, Tarqui y Victoria del Portete pertenecientes a la provincia del Azuay.

El Bosque Protector Sunsun Yanasacha fue declarado como área protegida a partir del Acuerdo Ministerial No. 206 en el año 1983 (Pinos & Bermeo, 2004). Esta área protegida cuenta con una área de 4400 hectáreas (Schubert et al., 2015), con un rango altitudinal que va desde los 3120 hasta los 3800 msnm (Cáceres, 2020). Cuenta con una precipitación anual que va desde los 1100 a 2000 mm/año y con una temperatura media entre los 6 a 8 °C (PDOT GAD Baños, 2015; Gobierno Autónomo Descentralizado Rural de Tarqui, 2015). Los ecosistemas que se presentan en esta área protegida son: páramo, humedal y bosque Andino (Cáceres, 2020). Los suelos presentes para este lugar son: andosoles, cambisoles, histosoles y umbrisoles (Dercon et al., 1998).

Este trabajo de titulación se desarrolló dentro del proyecto “Ciclaje de nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en una zona de montaña en el sur del Ecuador” realizado por la Universidad de Cuenca, Proyecto Nero, FONAPA.



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio (Bosque Protector Sunsun Yanasacha) del trabajo de titulación denominado “Evaluación de hojarasca en cuatro tipos de coberturas vegetales en una zona alta de Nero”.

## 4.2. Producción de biomasa

### 4.2.1. Métodos de campo

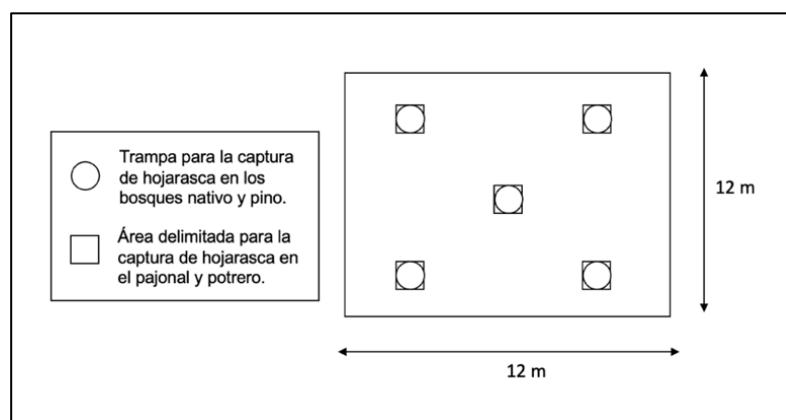
En el área de estudio se contó con cuatro parcelas por cada una de las coberturas vegetales: bosque de pino, bosque nativo, pajonal y potero, cada una de las parcelas tuvo un área de 144 m<sup>2</sup> (12m x 12m).

Para las coberturas del bosque de pino y bosque nativo se tuvieron 5 trampas (tinas) para la captura de hojarasca dentro de cada parcela, cada una de las trampas tuvo un área de captación de 0,33 m<sup>2</sup>. Las tinas fueron colocadas horizontalmente, niveladas y fijadas hacia el suelo mediante varillas para evitar el contacto con el suelo y también se realizó orificios para permitir que exista un adecuado drenaje para evitar el encharcamiento del agua.

Mientras que para las coberturas de pajonal y potrero teniendo en cuenta que fueron especies de tamaño pequeño se delimitó 5 áreas de 1 m<sup>2</sup> dentro de cada parcela, para el pajonal se

recogió la hojarasca que cayó dentro de cada área delimitada y para el potrero se realizó cortes del material vegetal, debido a que las hojas fueron envainadoras, por ende, no existió un desprendimiento de las hojas y mediante los cortes del material vegetal se facilitó la separación entre las hojas secas y las hojas verdes, se utilizó únicamente las hojas secas, dado que este fue el material vegetal muerto que se encontró en la superficie del suelo.

La hojarasca fue recolectada en un intervalo de 15 días en los bosques de pino y nativo. Mientras que para el pajonal y potrero se realizó en un intervalo de 45 días considerando que para este intervalo de días las hojas ya envejecieron o cumplieron su ciclo de vida, por ende, se acumularon en la superficie del suelo. La recolección se realizó por un período de cuatro meses para las coberturas arbóreas, sin embargo, para las coberturas de pajonal y potrero se realizó por un período de tres meses, los datos de la captura de hojarasca comprendieron el período de mayo – agosto 2023.



**Figura 2.** Diseño para la ubicación de las trampas y áreas delimitadas para la captura de hojarasca dentro de las parcelas de bosque de pino, bosque nativo, pajonal y potrero.

#### 4.2.2. Métodos de laboratorio

Las muestras de hojarasca de las cuatro coberturas vegetales que fueron recolectadas de cada una de las trampas (tinas) y áreas delimitadas fueron colocadas en fundas plásticas debidamente etiquetadas. Posteriormente las muestras fueron ingresadas al laboratorio de hidro física de suelos para obtener su peso en húmedo y después fueron colocadas en la estufa a 40 °C hasta alcanzar un peso seco constante. Y luego finalmente las muestras fueron pesadas en seco en una balanza.

### 4.2.3. Estimación de la producción total de hojarasca

La estimación de la materia seca (MS) expresada en kg ha<sup>-1</sup> para las cuatro coberturas vegetales se obtuvo mediante la siguiente ecuación (Berg & Laskowski, 2006; Quichimbo et al., 2016; Cherrez, 2019; Baculima & Guerrero, 2023):

$$\text{MS} = (m_1 - m_0) \cdot a^{-1} \cdot b$$

Donde:

- **MS:** materia seca (kg ha<sup>-1</sup>).
- **m<sub>1</sub>:** peso del contenedor vacío más la muestra seca a 40 °C.
- **m<sub>0</sub>:** peso del contenedor vacío.
- **a:** área de captación (m<sup>2</sup>).
- **b:** factor de transformación para la obtención de kg ha<sup>-1</sup>.

### 3.2.4. Clasificación y estimación de la producción de hojarasca de las coberturas arbóreas en sus principales fracciones

Las muestras de hojarasca del bosque nativo y bosque de pino fueron clasificadas y posteriormente pesadas en seco en seis fracciones:

- **a:** hojas de la especie dominante.
- **b:** hojas de otras especies o especie secundaria.
- **c:** órganos reproductivos (flores, frutos y semillas).
- **d:** ramas.
- **e:** cortezas
- **f:** misceláneos.

La estimación de la materia seca (MS) expresada en kg ha<sup>-1</sup> en sus principales fracciones para las coberturas arbóreas se obtuvo de igual manera mediante la siguiente ecuación (Berg & Laskowski, 2006; Quichimbo et al., 2016; Cherrez, 2019; Baculima & Guerrero, 2023):

$$\text{MS} = (m_1 - m_0) \cdot a^{-1} \cdot b$$

Donde:

- **MS:** materia seca (kg ha<sup>-1</sup>).
- **m<sub>1</sub>:** peso del contenedor vacío más la muestra.

- **$m_0$** : peso del contenedor vacío kg.
- **a**: área de captación ( $m^2$ ).
- **b**: factor de transformación para la obtención de  $kg\ ha^{-1}$ .

## 5. Diseño experimental y análisis estadístico

### 5.1. Diseño de la investigación

En el área de estudio se encontraron cuatro tipos de coberturas vegetales (tratamientos) que corresponden a: bosque de pino (BP), bosque nativo (BN), pajonal (PA) y potrero (PO). Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), debido a que las parcelas se encontraron establecidas dentro de un rango de pendientes: BN (0-27%), BP (18-51%), PA (0%) y PO (21–41%) y dentro de un rango altitudinal: BN (3417-3451 msnm), BP (3506–3531 msnm), PA (3425–3439 msnm) y PO (3274–3279 msnm), de tal manera que nos permitió garantizar la uniformidad de todas las unidades. Para cada una de las coberturas se establecieron cuatro parcelas (repeticiones) dando un total de 16 parcelas, la distancia de separación entre las parcelas de las coberturas de BP, BN y PA fue de 24 metros, a excepción de la cobertura de PO donde la distancia entre parcelas fue de 3 metros debido a que la disponibilidad del terreno fue escasa. Se tuvo 5 trampas o áreas delimitadas (unidades experimentales) por parcela para la captura de hojarasca, obteniendo 20 unidades experimentales por cada cobertura vegetal, dando un total de 80 unidades experimentales para las cuatro coberturas vegetales.

### 5.2. Análisis estadístico

Las estimaciones de la producción de hojarasca de las cuatro coberturas vegetales fueron expresadas mediante estadística descriptiva basándose en medidas de tendencia central y de dispersión (promedios, desviación estándar, mínimos y máximos, respectivamente). Se realizó una revisión de normalidad de datos empleando una prueba de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ) y de la homogeneidad de varianzas por medio de la prueba de Levene ( $p < 0,05$ ). Para evaluar las diferencias de producción total de hojarasca entre las coberturas de bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP) se aplicó la prueba paramétrica de Z ( $p < 0,05$ ).

Las estimaciones de la producción de hojarasca en sus principales fracciones en el BN y BP fueron expresadas mediante estadística descriptiva (promedios, desviación estándar y porcentajes, respectivamente). Se hizo una revisión de normalidad de datos empleando una prueba de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ) y de la homogeneidad de varianzas por medio de la prueba de Levene ( $p < 0,05$ ). Para evaluar las diferencias en las medias de producción entre las coberturas de BN y BP para la fracción de hoja dominante se aplicó la prueba paramétrica de Z ( $p < 0,05$ ) y para las demás fracciones: hojas secundarias, órganos reproductivos, ramas, cortezas y misceláneos se aplicó la prueba no paramétrica de U-Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ) dado que no cumplieron con la normalidad de datos ni homogeneidad de varianzas.

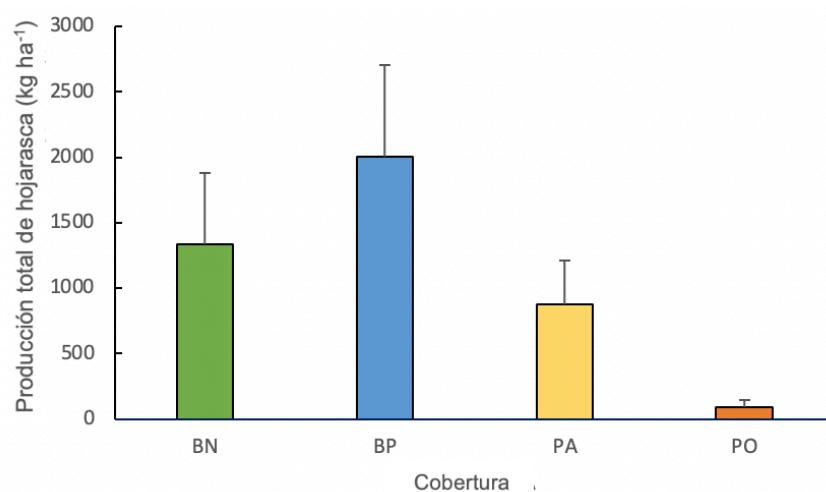
## 6. Resultados

### 6.1. Estimación de la producción de hojarasca

Para los datos obtenidos de los cuatro meses de recolección de las coberturas arbóreas (bosque de pino y bosque nativo) y de los tres meses de las coberturas de pajonal y potrero se realizó una caracterización de la producción total de hojarasca mediante estadística descriptiva (promedios, desviación estándar, mínimo, máximo, respectivamente).

**Tabla 1.** Producción total de hojarasca en kg ha<sup>-1</sup> para las cuatro coberturas vegetales.

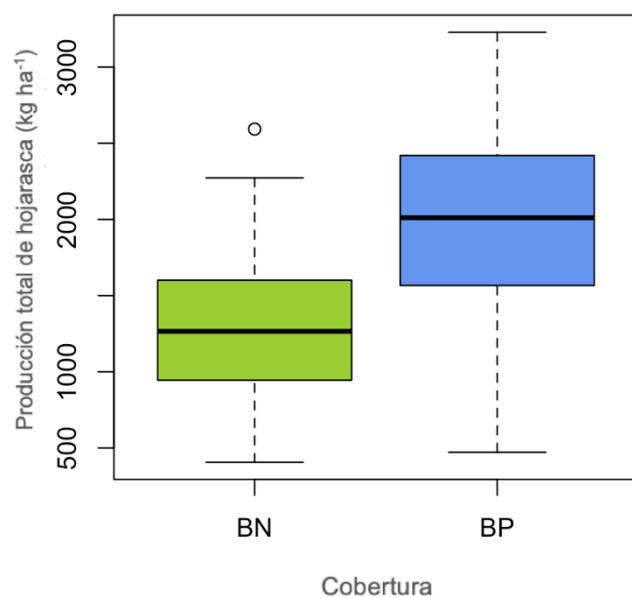
Cobertura	Promedio (kg ha <sup>-1</sup> )	Desviación estándar	Mínimo (kg ha <sup>-1</sup> )	Máximo (kg ha <sup>-1</sup> )
BP	2007,52	698,84	472,55	3228,40
BN	1335,02	549,54	406,24	2592,83
PA	876,82	336,82	448,05	1457,07
PO	90,16	54,34	22,06	191,91



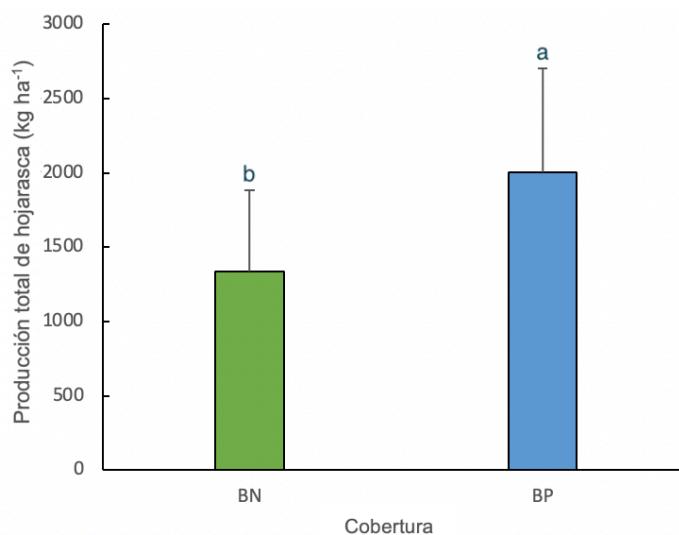
**Figura 3.** Gráfico de barras de la producción total de hojarasca (kg ha<sup>-1</sup>) de las cuatro coberturas vegetales de bosque nativo (BN), bosque de pino (BP), pajonal (PA) y potrero (PO): promedios y desviación estándar.

Los datos obtenidos de la producción de hojarasca de BN y BP fueron sometidos a las pruebas de normalidad de datos de Shapiro-Wilk ( $p = 0,7375$ ) y homogeneidad de varianzas de Levene ( $p = 0,3293$ ). Se evidenció que los datos tuvieron una distribución normal y que las varianzas fueron homogéneas.

Por tal motivo, en base a lo mencionado anteriormente se realizó la prueba paramétrica de Z ( $p < 0,05$ ) se evidenció que si existen diferencias significativas en la producción total de hojarasca entre las coberturas de BN y BP (Tabla 3) (Figura 4 y 5).



**Figura 4.** Gráfico de cajas de la producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para los cuatro meses de estudio de las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP).



**Figura 5.** Gráfico de barras de la producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para los cuatro meses de estudio de las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP): promedio y desviación estándar.

## 6.2. Estimación de la producción de hojarasca en sus fracciones principales en las coberturas arbóreas

Para los datos obtenidos durante los cuatro meses de la producción de hojarasca en sus fracciones principales de las coberturas arbóreas se realizó una caracterización mediante estadística descriptiva (promedios, desviación estándar y porcentajes, respectivamente).

Como se mencionó anteriormente la especie dominante del bosque nativo fue “*Gynoxys hallii Hieron*” la misma fue identificada a partir de otro estudio denominado “Determinación del efecto de cuatro tipos de cobertura vegetal en producción de hojarasca en una zona del Bosque Sun sun Yanasacha. Provincia del Azuay” (Baculima & Guerrero, 2023).

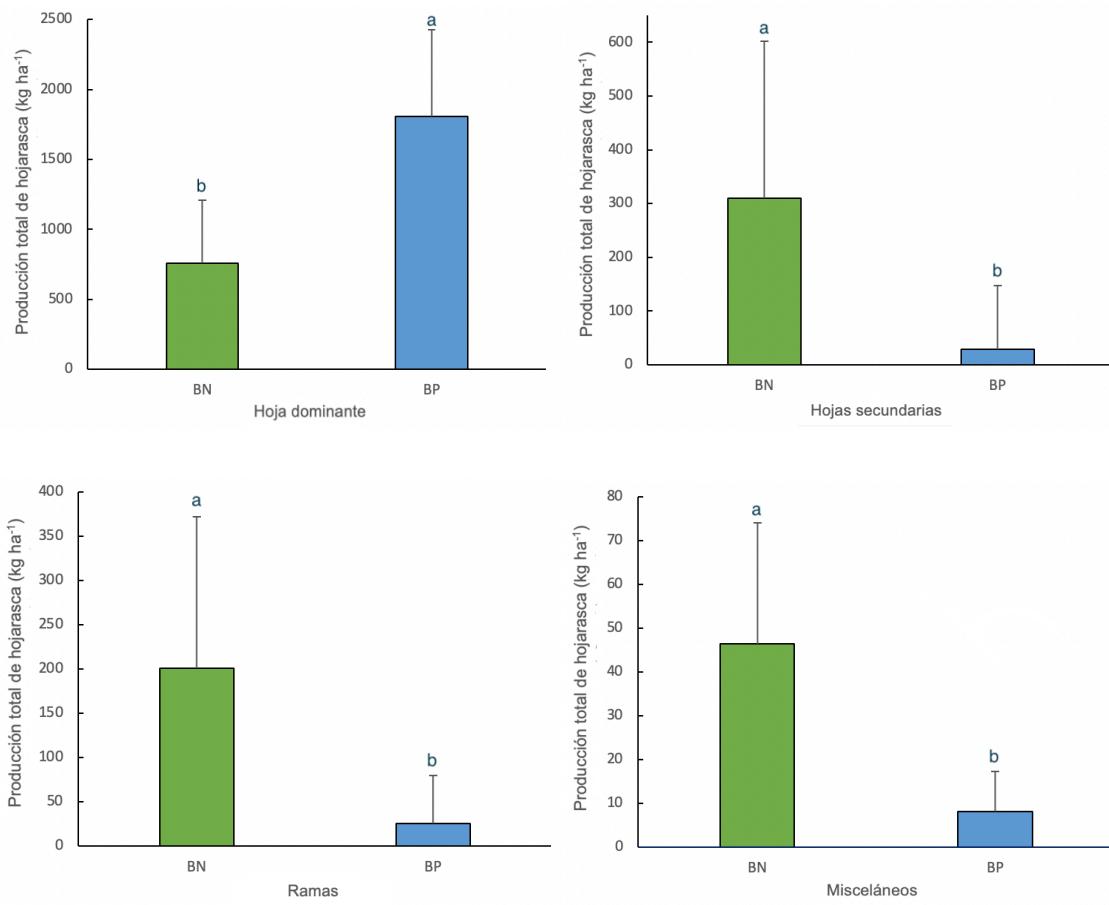
La fracción que más contribuyó en la producción total de hojarasca en el bosque de pino (BP) y bosque nativo (BN) fue la hoja dominante con una producción promedio de  $1808,96 \text{ kg ha}^{-1}$  (94,29%) y  $757,57 \text{ kg ha}^{-1}$  (55,71%). Mientras que la fracción que menos contribuyó a la producción total de hojarasca en el BP fue la fracción de misceláneos con una producción promedio de  $8,16 \text{ kg ha}^{-1}$  (0,43%), sin embargo, en el caso del BN la fracción que menos contribuyó fue las cortezas con una producción promedio de  $19,65 \text{ kg ha}^{-1}$  (1,45%) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Producción de hojarasca en  $\text{kg ha}^{-1}$  y porcentaje para cada una de las fracciones en las coberturas arbóreas.

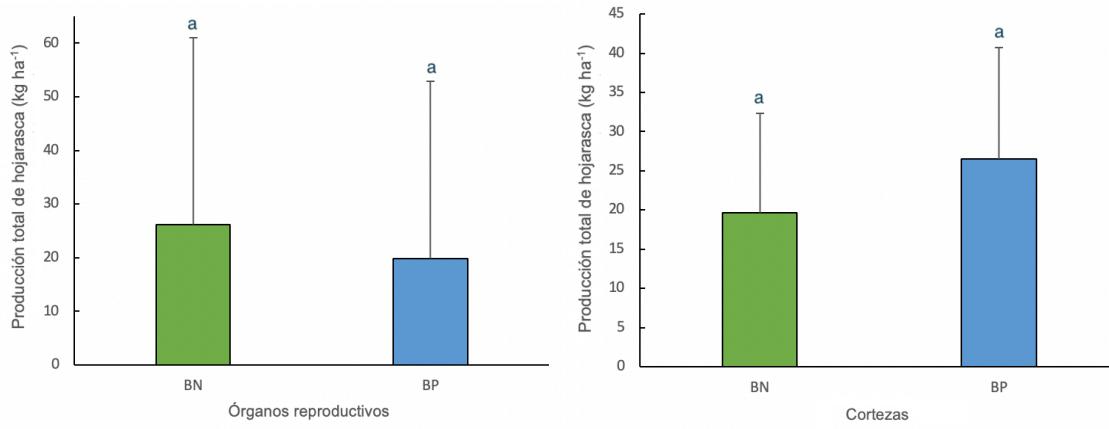
	Bosque de pino	Bosque nativo
Hoja dominante	1808,96	757,57
%	94,29%	55,71%
Hojas secundarias	29,28	309,39
%	1,53%	22,75%
Órganos reproductivos	19,89	26,18
%	1,04%	1,92%
Ramas	25,81	200,56
%	1,35%	14,75%
Cortezas	26,51	19,65
%	1,38%	1,45%
Misceláneos	8,16	46,44
%	0,43%	3,41%

Los datos obtenidos de la producción de cada una de las fracciones de la hojarasca fueron sometidos a las pruebas de normalidad de datos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Se pudo verificar que únicamente la fracción de hoja dominante cumplió con la normalidad y homogeneidad de varianzas, mientras que para las demás fracciones no cumplieron con la normalidad de datos ni homogeneidad de varianzas (Tabla 4).

En base a lo mencionado anteriormente, para la fracción de hoja dominante se utilizó la prueba paramétrica de Z ( $p < 0,05$ ) (Tabla 5). Mientras que para las demás fracciones se utilizó la prueba no paramétrica de U-Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ) (Tabla 6). Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la producción de hojarasca en las fracciones de hoja dominante, hojas secundarias, ramas y misceláneos (Figura 6). Mientras que en las fracciones de órganos reproductivos y cortezas no se encontraron diferencias significativas (Figura 7).



**Figura 6.** Producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en las fracciones de hoja dominante, hojas secundarias, ramas y misceláneos en las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP): promedio y desviación estándar.



**Figura 7.** Producción total de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en las fracciones de órganos reproductivos y cortezas en las coberturas del bosque nativo (BN) y bosque de pino (BP): promedio y desviación estándar.

## 7. Discusión

### 7.1. Estimación de la producción de hojarasca

Los resultados obtenidos indican que el bosque de pino (BP) y el bosque nativo (BN) registraron una producción promedio de hojarasca de  $2007 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $1335 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, durante los 4 meses de estudio. Extrapolando esta producción asumiendo una producción similar para los meses restantes, se estima que la producción anual de hojarasca para el bosque de pino (BP) y el bosque nativo (BN) sería de  $6021$  y  $4005 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Zapata et al. (2007) manifiestan que los bosques húmedos tropicales tienen una producción entre  $7000 - 15000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ , en otro estudio realizado por Chave et al. (2009) quienes evaluaron la producción de hojarasca en los bosques tropicales de Sudamérica en su mayoría pertenecientes a la Amazonía reportaron una caída de hojarasca promedio de  $8610 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ , esta producción posiblemente puede variar de acuerdo a la altitud, características ambientales o tipos de suelos (por lo general acrisoles, arenosoles, ferralsoles, entre otros, en los bosques tropicales amazónicos) que son diferentes en comparación del presente estudio. Nuestros valores de producción de hojarasca expresadas a un año son menores a los reportados por Chave et al. (2009) y Zapata et al. (2007), esto concuerda con lo dicho por Matthews (1997), quien indica que los bosques de zonas calientes tienen mayor producción de hojarasca en comparación a bosques de otras zonas climáticas, esto tiene relación con lo que manifiesta dicho autor considerando que las coberturas arbóreas del presente estudio son bosques fríos de montaña de los Andes, y que las parcelas de estudio se ubicaron en un rango altitudinal entre los  $3417 - 3531 \text{ msnm}$  y con una temperatura media entre los  $6$  a  $8^\circ\text{C}$ , por ende, la producción de hojarasca resulta mayor en bosques de zonas calientes dado que se caracterizan por tener altas temperaturas y abundantes precipitaciones quienes son los principales promotores de la producción de hojarasca (Martínez et al., 2007).

En cuanto a la producción de hojarasca del bosque de pino (BP) de  $6021 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ . Esta producción es menor a la reportada por León et al. (2011) quienes obtuvieron una producción de  $7768 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$  en un bosque de pino montano andino a una altitud de  $2490 \text{ msnm}$  en Colombia. En otra investigación realizada por Quichimbo et al. (2019) reportaron una producción mensual entre  $1067 - 1907 \text{ kg ha}^{-1}$  en plantaciones de pino en los Andes del Ecuador a una altitud entre los  $2209$  a  $3399 \text{ msnm}$ , la hojarasca producida es claramente superior en comparación con el presente estudio si se presentaría la producción mensual, esta producción posiblemente puede variar de acuerdo a la altitud y características ambientales que son diferentes entre los lugares estudiados.

En relación a la producción de hojarasca del bosque nativo (BN) de  $4005 \text{ kg ha}^{-1}$  año. En un estudio realizado en Colombia por Vargas y Varela (2007) en un bosque de neblina en una reserva natural ubicado a una altitud entre los 1300 y 2100 msnm obtuvieron una producción entre  $5240 - 7320 \text{ kg ha}^{-1}$  año. A su vez en otro estudio realizado en Colombia por Zapata et al. (2007) en un bosque natural ubicado aproximadamente a una altitud de 2400 msnm alcanzaron una producción de  $7877 \text{ kg ha}^{-1}$  año. De igual manera, en otro estudio realizado en Colombia por Machuca et al. (2023) en un bosque natural altoandino a una altitud de 3100 msnm obtuvieron una producción de  $4780 \text{ kg ha}^{-1}$  año, nuestro resultado de producción es inferior a la producción de estos estudios considerando que nuestra zona de estudio se encontró a una mayor altitud. Por otra parte, en un estudio realizado por Pinos (2017) en un bosque natural (*Polylepis reticulata*) en el límite arbóreo de los Andes ecuatorianos entre los 3700 a 3900 msnm de altitud reportó una producción de  $3770 \text{ kg ha}^{-1}$  año $^{-1}$ , nuestro resultado es superior considerando que nuestra zona de estudio se encontró a menor altitud.

En relación a las diferencias significativas encontradas, los resultados obtenidos demostraron que el bosque de pino (BP) tuvo una mayor producción promedio de hojarasca de  $2007 \text{ kg ha}^{-1}$  en comparación con el bosque nativo (BN) que obtuvo una producción promedio de  $1335 \text{ kg ha}^{-1}$  durante los cuatro meses de estudio. Estos resultados en comparación con otros resultados entre bosques de pino y nativo, son similares a los reportados Zapata et al. (2007) en su estudio en bosques altoandinos en Colombia a una altitud de 2400 msnm, reportaron una producción de hojarasca mayor en el bosque de pino con  $8362 \text{ kg ha}^{-1}$  año, seguido del bosque natural con  $7877 \text{ kg ha}^{-1}$  año. Por otra parte, en un estudio realizado por León et al. (2011) en bosques naturales y plantaciones de coníferas en ecosistemas de montaña en Colombia a una altitud de 2490 msnm, obtuvieron una producción de hojarasca mayor en la plantación de pino con  $7768 \text{ kg ha}^{-1}$  año, seguido del bosque natural con  $7480 \text{ kg ha}^{-1}$  año, aunque no se encontraron diferencias significativas.

Los resultados de la producción de hojarasca de nuestro estudio son significativamente inferiores en comparación con la mayoría de los estudios revisados, en gran parte debido a que éstos últimos se han realizado en áreas de menor altitud. Investigadores como Veneklaas (1991), Garkoti y Singh (1995), Kitayama y Aiba (2002), Röderstein et al. (2005), Lu y Lui (2012) y Zhou et al. (2014) han señalado consistentemente que la altitud es un factor crucial que influye en la producción de hojarasca, ya que tiende a disminuir a medida que la altitud aumenta. Murga et al. (2021) también sostienen que el incremento en la altitud conlleva una reducción en la disponibilidad y contenido de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio. Esto, a su vez, afecta la fisiología, crecimiento y altura de las especies forestales, lo que finalmente se traduce en una disminución en la producción.

En cuanto a la cobertura de pajonal (PA), se registró una producción promedio de  $876 \text{ kg ha}^{-1}$  durante los tres meses de estudio. Si extrapolamos esta cifra asumiendo una producción constante para los demás meses, obtendríamos una producción anual para la cobertura de pajonal (PA) de  $3504 \text{ kg ha}^{-1}$ . Es importante destacar la escasez de estudios sobre la producción de hojarasca en esta cobertura vegetal, así como la variabilidad en las metodologías empleadas en aquello. Por ejemplo, en un estudio realizado en Argentina por Bernardis et al. (2005) en pajonales de *Sorghastrum setosum* para obtener la productividad su metodología consistió en cortar la vegetación de  $1\text{m}^2$  a 20 cm del suelo y el material vegetal cortado se envió a una estufa para determinar la materia seca que obtuvo una producción promedio de  $4080 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ año}$ . A esto se suma otro estudio realizado en Argentina por Valiente et al. (2021) en pajonales de *Spartina Spartinae* de igual manera cortaron la biomasa vegetal en cuatro marcos de  $0,25 \text{ m}^2$  a 10 cm del suelo y el material vegetal cortado se envió al laboratorio para determinar la materia seca que obtuvo una producción de  $1295 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mensual}$ . En comparación a este estudio nuestro resultado de la producción de hojarasca resultaría inferior a los reportados por dichos autores, esto se debe que ellos cortaron y mandaron a secar todo el material vegetal, a diferencia del presente estudio que fue recolectar el material seco que se había caído dentro de cada una de las áreas delimitadas, son metodologías diferentes, dado que ellos querían determinar la cantidad de forraje que produce el pajonal que sirve como fuente de alimento para el ganado, a diferencia del presente estudio que fue determinar la producción de hojarasca que había caído dentro de las áreas delimitadas.

Finalmente, en cuanto a la cobertura de potrero (PO), se registró una producción promedio de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  durante los tres meses de estudio. Extrapolando esta cifra asumiendo una producción constante para los demás meses, obtendríamos una producción anual para la cobertura de potrero (PO) de  $360 \text{ kg ha}^{-1}$ . Es importante destacar que hay escasa investigación sobre la producción de hojarasca en potreros que haya utilizado la misma metodología. En un estudio realizado en Cuba por Sánchez et al. (2007) en un pastizal de *Panicum maximum* a una altitud de 19,01 msnm obtuvieron una producción de hojarasca de  $2660 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ , su metodología consistió en establecer marcos de  $1 \times 0,5$  metros y las muestras fueron recolectadas seis veces al año. En otro estudio realizado en Costa Rica por Villalobos et al. (2013) se evaluó la producción en tres pastos kikuyo, ryegrass perenne y estrella africana, obtuvieron para estas tres especies una productividad promedio de  $3395 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ por ciclo}$ . Nuestro resultado de producción de hojarasca sería claramente inferior a la de estos investigadores. De acuerdo a Benítez et al. (2007) mencionan que la productividad de biomasa de los pastos se encuentra determinada por la época del año, la especie y el

manejo. Por tal motivo, hay que tener en cuenta que la producción de hojarasca tanto en cantidad y en calidad en potreros posiblemente puede variar de acuerdo a algunos factores como el manejo, la altitud, las condiciones climáticas y el método usado que seguramente son diferentes en los sitios estudiados.

## **7.2. Estimación de la producción de hojarasca en sus principales fracciones en las coberturas arbóreas**

Los resultados de este estudio muestran que el componente principal de la hojarasca en tanto el bosque de pino (BP) como el bosque nativo (BN) son las hojas, representando un 95,82% y un 78,46%, respectivamente. Estos valores se sitúan dentro del rango de producción observado en otros estudios. Por ejemplo, el máximo fue el reportado por Tanner (1980) quien obtuvo un 96% de hojarasca foliar en un bosque húmedo en Jamaica y el mínimo fue reportado por Steinhartd (1979) quien obtuvo un 48% de hojarasca foliar en un bosque nuboso andino en Venezuela. Por otro lado, Zapata et al. (2007) reportaron un 68,9%, Machuca et al. (2023) obtuvieron un 60,4%, Vargas y Varela (2007) consiguieron un 74,4% y Rocha & Ramírez (2009) reportaron entre 72 – 90% de hojarasca foliar, estos son resultados de investigaciones realizadas en bosques montanos en Latinoamérica. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Robertson y Paul (2000) y Chave et al. (2009) quienes afirman que las hojas son el principal componente de la hojarasca y que representa aproximadamente el 70% de la hojarasca total y que puede variar según la especie, independientemente del tipo de bosque las hojas contribuyen en mayor cantidad en el aporte de la hojarasca total (Vargas & Varela, 2007).

En el BP la producción de hoja dominante contribuyó con un 94,29% y en las hojas secundarias aportaron con un 1,53%, mientras que en el BN la producción de hoja dominante contribuyó con un 55,71% y las hojas secundarias aportaron con un 22,75%. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por León et al. (2011) y Zapata et al. (2007), quienes reportaron una producción superior en hoja dominante en comparación con las hojas secundarias en un bosque de pino y en un bosque natural, de igual manera en comparación con nuestros resultados se pudo observar que existe una mayor diversidad de especies en el bosque natural en comparación del bosque de pino. Esto concuerda con lo manifestado por Stephens y Wagner (2007), quienes a partir de una revisión de literatura en el 94% de los estudios revisados se evidenció que existe una mayor biodiversidad de especies en un bosque nativo en comparación con bosques exóticos o plantaciones exóticas.

En este estudio el porcentaje de la producción del componente de las ramas fue de 1,35% y 14,75%, los mismos fueron superiores al componente de órganos reproductivos 1,04% y 1,92% en las coberturas de BP y BN. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en diferentes lugares, Veneklaas (1991) reportó 15,08% y 9,39% en un bosque montano en Colombia, Quinto et al. (2007) reportaron 29,08% y 4,77% en un bosque tropical en Colombia y Gonzales et al. (2013) reportaron 8,10% y 5,50 en un bosque de pino en México, todos estos investigadores reportaron una producción de ramas por encima de los órganos reproductivos. De acuerdo a Chave et al. (2009) sostienen que las especies arbóreas priorizan la formación de estructuras vegetativas por encima de las estructuras reproductivas cuando los recursos o nutrientes son limitados.

En cuanto al componente de cortezas, se obtuvo un porcentaje de producción del 1,38% y 1,45% para las coberturas de BP y BN, respectivamente. Nuestros resultados se sitúan dentro del rango reportado por Hernández et al. (2017), quienes registraron un intervalo entre 1,10% y 9,20% en plantaciones de eucalipto en México. Es importante destacar que existe una disponibilidad limitada de información sobre este componente, ya que en otros estudios suele estar asociado con otro componente de la hojarasca.

Por último, el componente de misceláneos o material no identificable fue de 0,43% y 3,41% para las coberturas de BP y BN, respectivamente. Nuestros resultados se encuentran dentro del rango obtenido en otros estudios. Por ejemplo, Cruz (2001) reportó un 0,10% en un bosque de montaña en Colombia, por otro lado, Vargas y Varela (2007) obtuvieron un 0,6% en un bosque montano en Colombia, por su parte Rocha y Ramírez (2009) reportaron entre 1 - 2% en un bosque en México y Veneklaas (1991) quien obtuvo un 3,1% y 5,3% en bosques montanos en Colombia.

## 8. Conclusiones

- En el estudio realizado en el Bosque Protector Sunsun Yanasacha establece que la producción de hojarasca varía según los tipos de coberturas vegetales. En particular se observaron diferencias significativas entre las coberturas del bosque de pino y bosque nativo, con una mayor producción de hojarasca en el bosque de pino con  $2007 \text{ kg ha}^{-1}$  en comparación del bosque nativo con  $1335 \text{ kg ha}^{-1}$  durante un período de cuatro meses. Por otro lado, las coberturas de pajonal y potrero produjeron  $876 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, en un período de tres meses. Estos resultados demuestran una relación significativa entre el tipo de cobertura vegetal y la cantidad de hojarasca producida.
- En cuanto a la producción en sus fracciones principales en el BN la mayor parte de hojarasca se encuentra dominada por las fracciones de: hoja dominante (55,71%), hojas secundarias (22,75%) y ramas (14,75%), mientras que las fracciones que menos contribuyeron fueron: misceláneos (3,41%), órganos reproductivos (1,92%) y cortezas (1,45%), respectivamente. Sin embargo, para el BP la fracción que mayor contribuyó fue: la hoja dominante (94,29%), mientras las fracciones que menos contribuyeron fueron: hojas secundarias (1,53%), cortezas (1,38%), ramas (1,35%), órganos reproductivos (1,04%) y misceláneos (0,43%), respectivamente. Se encontraron diferencias significativas en la producción entre las coberturas de BN y BP en las fracciones de: hoja dominante, hojas secundarias, ramas y misceláneos, sin embargo, en las fracciones de: órganos reproductivos y cortezas no se encontraron diferencias significativas.

## 9. Referencias

- Aceñolaza, P. G., Zamboni, L. P., & Gallardo Lancho, J. F. (2009). Aporte de hojarasca en bosques del predelta del río Paraná (Argentina). *Bosque (Valdivia)*, 30(3). <https://doi.org/10.4067/S0717-92002009000300003>
- Alvarado, Hernández-Santana, V., & Asbjornsen, H. (2013). Variability of the radial profile of sap velocity in *Pinus patula* from contrasting stands within the seasonal cloud forest zone of Veracruz, Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 168, 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.08.004>
- Baculima, M., & Guerrero, G. (2023). *Determinación del efecto de cuatro tipos de cobertura vegetal en producción de hojarasca en una zona del bosque Sunsun Yanasacha* [Tesis de grado]. Universidad de Cuenca.
- Benítez, D., Fernández, J. L., Ray, J., Ramírez, A., Torres, V., Tandrón, I., Díaz, M., & Guerra, J. (2007). Factores determinantes en la producción de biomasa en tres especies de pastos en sistemas racionales de pastoreo en el Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(3), 231-235.
- Berg, B., & Laskowski, R. (2006). Litter Decomposition: A Guide to Carbon and Nutrient Turnover. En *Adv. Ecol. Res.* (Vol. 38, pp. 1-421). [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(05\)38001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(05)38001-9)
- Bernardis, A. C., Roig, C. A., & Bennasar Vilches, M. (2005). Productividad y Calidad de los Pajonales de *Sorghastrum setosum* (Griseb.) Hitchc. En Formosa, Argentina. *Agricultura Técnica*, 65(2), 177-185. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000200007>
- Cáceres, J. (2020). *Los páramos de la parte altoandina de la reserva de la biosfera macizo del Cajas (Ecuador): Gestión para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos*.
- Callaway, R. M., & Ridenour, W. M. (2004). Novel weapons: Invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(8), 436-443. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0436:NWISAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0436:NWISAT]2.0.CO;2)
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: Caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *In Revista Anales*, 1(372), 77-92.

- Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L. E. O. C., Bonal, D., Châtelet, P., Silva-Espejo, J. E., Goret, J.-Y., von Hildebrand, P., Jiménez, E., Patiño, S., Peñuela, M. C., Phillips, O. L., Stevenson, P., & Malhi, Y. (2009). Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences*, 7(1), 43-55. <https://doi.org/10.5194/bg-7-43-2010>
- Cherrez, M. (2019). *Cuantificación de la hojarasca bajo cuatro tipos de cobertura en el Bosque de Llaviuco del Parque Nacional Cajas* [Tesis de grado]. Universidad de Cuenca.
- Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, D. W., Chambers, J. Q., Thomlinson, J. R., & Ni, J. (2001). Measuring Net Primary Production in Forests: Concepts and Field Methods. *Ecological Applications*, 11(2), 356-370. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0356:MNPPIF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0356:MNPPIF]2.0.CO;2)
- Costa, A. N., Souza, J. R., Alves, K. M., Penna-Oliveira, A., Paula-Silva, G., Becker, I. S., Marinho-Vieira, K., Bonfim, A. L., Bartimachi, A., & Vieira-Neto, E. H. M. (2020). Linking the spatiotemporal variation of litterfall to standing vegetation biomass in Brazilian savannas. *Journal of Plant Ecology*, 13(5), 517-524. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtaa039>
- Cruz, G. (2001). *Comparación de la caída de hojarasca entre fragmentos y áreas de bosque continuo altoandino en la región suroccidental de la Sabana de Bogotá*. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia, 98 pp. Pontificia Universidad Javeriana.
- Dávalos, L. M., Holmes, J. S., Rodríguez, N., & Armenteras, D. (2014). Demand for beef is unrelated to pasture expansion in northwestern Amazonia. *Biological Conservation*, 170, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.018>
- De Santiago, A., Maya, V., Berdón, J., & Murillo, M. (2023). Efecto del manejo de los pastos y el ganado sobre indicadores de calidad del suelo en una dehesa extremeña. *Revista de Ciências Agrárias*, 458-462 Páginas. <https://doi.org/10.19084/RCA.28563>
- Dercon, G., Bossuyt, B., Bievre, B., Cisneros, F., & Deckers, J. (1998). *Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano* (Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Programa para el Manejo del Agua y del Suelo).
- Díaz, Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Buendía-Rodríguez, E., Flores-Ayala, E., & Etchevers-Barra, J. D. (2016). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar

biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham. *Madera y Bosques*, 13(1), 25-34. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311233>

Doornbos, B. (2015, abril 27). El valor de los bosques andinos en asegurar agua y suelo en un contexto de creciente riesgo climático: ¿(re)conocemos lo imperdible? *Adaptación en los Andes*. <https://adaptacionandes.org/publicaciones/el-valor-de-los-bosques-andinos-en-asegurar-agua-y-suelo-en-un-contexto-de-creciente-riesgo-climatico-reconocemos-lo-imperdible/>

Garavito, N. T., Álvarez, E., Caro, S. A., Murakami, A. A., Blundo, C., Espinoza, T. E. B., Torre, M. A. L., Gaviria, J., Gutierrez, N., Jørgensen, P. M., León, B., Camacho, R. L., Malizia, L., Millán, B., Moraes, M., Pacheco, S., Benayas, J. M. R., & Reynel, C. (2012). *Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales*.

García, Morales, M., Quintero, J., Aroca, G., & Cardona, C. A. (2017). Environmental assessment of hydrogen production based on *Pinus patula* plantations in Colombia. *Energy*, 139, 606-616. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.012>

García, Plascencia-Escalante, F. O., Ángeles-Pérez, G., Montoya-Reyes, F., Beltrán-Rodríguez, L., García-Osorio, M. T., Plascencia-Escalante, F. O., Ángeles-Pérez, G., Montoya-Reyes, F., & Beltrán-Rodríguez, L. (2020). Producción y tasa de descomposición de hojarasca en áreas bajo rehabilitación en El Porvenir, Hidalgo, México. *Madera y bosques*, 26(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632099>

Garkoti, S. C., & Singh, S. P. (1995). Forest floor mass, litterfall and nutrient return in Central Himalayan high altitude forests. *Vegetatio*, 120(1), 33-48. <https://doi.org/10.1007/BF00033456>

Geng, A., Tu, Q., Chen, J., Wang, W., & Yang, H. (2022). Improving litterfall production prediction in China under variable environmental conditions using machine learning algorithms. *Journal of Environmental Management*, 306, 114515. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114515>

Gobierno Autónomo Descentralizado Rural de Tarquí. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Tarquí Actualización 2015*. [http://app.sni.gob.ec/snalink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0160026230001\\_Diagnostico\\_29-10-2015\\_22-12-42.pdf](http://app.sni.gob.ec/snalink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0160026230001_Diagnostico_29-10-2015_22-12-42.pdf)

González, & Gallardo. (1982). *El efecto hojarasca: Una revisión*. CSIC - Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología José María Albareda. <http://hdl.handle.net/10261/57227>

González, López-Hernández, J. M., Ramírez-Lozano, R. G., Gómez-Meza, M. V., Cantú-Silva, I., Sarquís-Ramírez, J. I., & Mora Olivo, A. (2019). Litterfall deposition and nutrient return in pine-oak forests and scrublands in northeastern Mexico. *Madera y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531514>

González, Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Cotera-Correa, M., Carrillo-Parra, A., & Marroquín-Castillo, J. J. (2013). PRODUCCIÓN DE HOJARASCA Y RETORNO DE NUTRIENTES VÍA FOLIAR EN UN MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO EN EL NORESTE DE MÉXICO. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XIX(2), 249-262. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.048>

Hernández-Ramos, A., Valdez-Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., Santos-Posadas, H. M. de los, Hernández-Ramos, J., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2017). PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA AÉREA EN PLANTACIONES COMERCIALES DE Eucalyptus urophylla S.T. Blake EN HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO. *Agrociencia*, 51(3), 343-358.

Hofstede, R., Coppus, R., Mena, P., Segarra, P., & Sevink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *EcoTropicos*, 15, 3-18.

Izco, J., Pulgar, I., Aguirre, Z., & Santin, F. (2007). Estudio florístico de los páramos de pajonal meridionales de Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 14(2), 237-246.

Kessler, M. (2006). *Bosques de Polylepis*. 110.

Kitayama, K., & Aiba, S. (2002). Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Ecology*, 90(1), 37-51. <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00634.x>

Krishna, M. P., & Mohan, M. (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: A review. *Energy, Ecology and Environment*, 2(4), 236-249. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>

León, Bonifaz, & Gutiérrez. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador* (1ra edición:). Editorial Universitaria Abya-Yala.

León, J. D., González, M. I., & Gallardo, J. F. (2011). Ciclos biogeoquímicos en bosques naturales y plantaciones de coníferas en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 1883-1894. <https://doi.org/10.15517/rbt.v59i4.33193>

León, S., Valencia, N., Pitmam, L., Endara, C., Ulloa, C., & Navarrete, H. (2019). *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador,. <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo>

Liu, Ogaya, Barbata, Yang, & Peñuelas. (2015). Contrasting impacts of continuous moderate drought and episodic severe droughts on the aboveground-biomass increment and litterfall of three coexisting Mediterranean woody species. *Global Change Biology*, 21(11), 4196-4209. <https://doi.org/10.1111/gcb.13029>

Liu, X., Chen, S., Li, X., Yang, Z., Xiong, D., Xu, C., Wanek, W., & Yang, Y. (2022). Soil warming delays leaf litter decomposition but exerts no effect on litter nutrient release in a subtropical natural forest over 450 days. *Geoderma*, 427, 116139. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116139>

López, González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Estrada-Castillón, A. E., Contreras-Guajardo, N. L., & Del Valle-Arango, J. I. (2022). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en diferentes comunidades vegetales del Noreste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2891>

López-Hernández, J., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R., Silva, I., Gómez-Meza, M., Pando-Moreno, M., & Estrada, E. (2012). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, 41-64.

Lu, S.-W., & Liu, C.-P. (2012). Patterns of litterfall and nutrient return at different altitudes in evergreen hardwood forests of Central Taiwan. *Annals of Forest Science*, 69(8), 877-886. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0213-4>

Lucky, D. (2023). Litter production in two mangrove forests along the coast of Ghana. *Helicon*, e17004. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17004>

- Machuca, F. L. M., Acevedo, Á. S. A., Carvajal, D. S., Peláez, J. D. L., & Bolívar-Santamaría, S. (2023). Producción y descomposición de hojarasca en un robledal: Análisis de determinantes ambientales y la vegetación. *Colombia forestal*, 26(2), Article 2. <https://doi.org/10.14483/2256201X.19524>
- MAE & FAO. (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*.
- Margalef, R. (1980). *Ecología*. Ediciones Omega.
- Martínez, Valladares, Camarero, Arias, Serrano, & Rodríguez. (2007). The uncoupling of secondary growth, cone and litter production by intradecadal climatic variability in a mediterranean scots pine forest. *Forest Ecology and Management*, 253(1-3), 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.043>
- Matthews, E. (1997). Global litter production, pools, and turnover times: Estimates from measurement data and regression models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D15), 18771-18800. <https://doi.org/10.1029/97JD02956>
- Meentemeyer, V., Box, E., & Thompson, R. (1982). World Patterns and Amounts of Terrestrial Plant Litter Production. *Bioscience*, 32. <https://doi.org/10.2307/1308565>
- Meza, & Armenteras. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la Amazonía, Colombia. *Colombia forestal*, 21(2), 205-223. <https://doi.org/10.14483/2256201X.12330>
- Morocho, C. C., & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), Article 2.
- Murga, Jorge, Abanto-Rodríguez, & Lobo. (2021). Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales. *Madera y bosques*, 27(3). <https://www.redalyc.org/journal/617/61770807018/html/>
- Orwa, A., Mutua, A., kindt, R., & Anthony, S. (2009). *Agroforestry Database: A tree reference and selection guide*. [https://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Pinus\\_patula.PDF](https://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Pinus_patula.PDF)
- PDOT GAD Baños. (2015). *Diagnóstico memoria técnica –SNI Diagnóstico-Baños*. 635. <https://multimedia.planificacio.gob.ec/PDOT/descargas.html>

Pinos, E., & Bermeo, A. (2004). *Manejo de los recursos naturales: Suelos fuentes de agua, flora y fauna en el bosque y vegetación protectores de Sunsun -Yanasacha* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Cuenca.

Pinos, J., Studholme, A., Carabajo, A., & Gracia, C. (2017). Leaf Litterfall and Decomposition of *Polylepis reticulata* in the Treeline of the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development*, 37(1), 87-96. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00004.1>

Pitman, R., Bastrup-Birk, A., Breda, N., & Rautio, P. (2010). Part XIII: Sampling and analysis of litterfall. In: *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*.

Puerto, A. (1982). CONCEPTOS DE ECOLOGIA. Instituto de Orientación y Asistencia Técnica del Oeste. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/23695/1/TEMASMONOGRAFICOS7.pdf>

Quichimbo, P., Veintimilla, D., Carrión, Y., & Jiménez, L. (2016). Producción de hojarasca bajo plantaciones de pino en los Andes del Sur del Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(3), 14-25. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.102>

Quinto, H., Ramos-Palacios, Y., & Bonilla, D. (2007). Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*, ISSN 1657-3498, Vol. 26, Nº. 1, 2007, pags. 28-41.

Rai, S. N., & Proctor, J. (1986). Ecological Studies on Four Rainforests in Karnataka, India: II. Litterfall. *Journal of Ecology*, 74(2), 455-463. <https://doi.org/10.2307/2260267>

Robertson, G. P., & Paul, E. A. (2000). Decomposition and Soil Organic Matter Dynamics. En O. E. Sala, R. B. Jackson, H. A. Mooney, & R. W. Howarth (Eds.), *Methods in Ecosystem Science* (pp. 104-116). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1224-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1224-9_8)

Rocha, A. G., & Ramírez, N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Botanical Sciences*, 84, 1-12. <https://doi.org/10.17129/botsci.2287>

Röderstein, M., Hertel, D., & Leuschner. (2005). Above- and below-ground litter production in three tropical montane forests in southern Ecuador. *Journal of Tropical Ecology*, 21(5), 483-492.

Rubiano, Arcila-Cardona, Jiménez-Carmona, & Armbrecht. (2013). PRODUCTION, ACCUMULATION, AND DECOMPOSITION OF LEAF LITTER IN A COLOMBIAN SUBANDEAN FOREST AND NEIGHBORING AREAS OF RESTORATION. *BOLETÍN CIENTÍFICO CENTRO DE MUSEOS MUSEODE HISTORIAN*, 17(2), 47-59.

Salas, J., & Infante, A. (2006). *Producción Primaria Neta Aérea en Algunos Ecosistemas y Estimaciones de Biomasa en Plantaciones Forestales*.

Sánchez, Crespo, G., & Hernández, M. (2008). Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. 31(2).

Sánchez, Hudak, Boschetti, Silva, Robertson, Loudermilk, L., Bright, B., Callaham, M., & Taylor, M. (2023). A spatially explicit model of tree leaf litter accumulation in fire maintained longleaf pine forests of the southeastern US. *Ecological Modelling*, 481, 110369. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110369>

Sánchez, S., Crespo, G., & Hernández, M. (2007). Acumulación de hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. 30(3).

Santos, K. F. D., Ludvichak, A. A., Baroso Queiro, T., Richer Momolli, D., Garlet, C., Valdir Schumacher, M., & Araújo, E. F. D. (2021). Quantification of litter in different genotypes of Eucalyptus in São Gabriel, RS, Brazil. *Idesia (Arica)*, 39(2), 17-22. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000200017>

Schubert, A., Cabrera, S., & Romero, M. (2015). *Plan Maestro Áreas de Conservación y Gestión Sostenible en el Austro del Ecuador*.

Silva, T. R., Rodrigues, S. B., Bringel, J. B. D. A., Sampaio, A. B., Sano, E. E., & Vieira, D. L. M. (2023). Factors affecting savanna and forest regeneration in pastures across the cerrado. *Journal of Environmental Management*, 330, 117185. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117185>

Steinhardt, U. (1979). Untersuchungen über den wasser- und nährstoffhaushalt eines andinen wolkenwaldes in Venezuela. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 56, 1-185.

- Stephens, S. S., & Wagner, M. R. (2007). Forest Plantations and Biodiversity: A Fresh Perspective. *Journal of Forestry*, 105(6), 307-313. <https://doi.org/10.1093/jof/105.6.307>
- Tanner, E. V. J. (1980). Litterfall in Montane Rain Forests of Jamaica and its Relation to Climate. *Journal of Ecology*, 68(3), 833-848. <https://doi.org/10.2307/2259459>
- Thébaud, C., & Simberloff, D. (2001). Are Plants Really Larger in Their Introduced Ranges? *The American Naturalist*, 157(2), 231-236. <https://doi.org/10.1086/318635>
- Turner, W., Bradley, B., Estes, L., Hole, D., Oppenheimer, M., & Wilcove, D. (2010). Climate change: Helping nature survive the human response. *Conservation Letters*, 3, 304-312. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00128.x>
- Valiente, S., Kunst, C., & Feldman, S. R. (2021). Efectos de secuencias de disturbios sobre la acumulación de biomasa y su calidad forrajera en un pajonal de *Spartina spartinae* (Trin.) Merr. Ex Hitchc. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 47(2), 170-175.
- Van Wesenbeeck, B. K., Van Mourik, T., Duivenvoorden, J. F., & Cleef, A. M. (2003). Strong effects of a plantation with *Pinus patula* on Andean subpáramo vegetation: A case study from Colombia. *Biological Conservation*, 114(2), 207-218. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00025-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00025-9)
- Vargas, L., & Varela, A. (2007). PRODUCCIÓN DE HOJARASCA DE UN BOSQUE DE NIEBLA EN LA RESERVA NATURAL LA PLANADA (NARIÑO, COLOMBIA). *Universitas Scientiarum*, 12.
- Veneklaas, E. J. (1991). Litterfall and nutrient fluxes in two montane tropical rain forests, Colombia. *Journal of Tropical Ecology*, 7(3), 319-336. <https://doi.org/10.1017/S0266467400005587>
- Villalobos, L., Arce, J., & WingChing, R. (2013). Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 91-103.

- Wang, Z., Yin, X., & Li, X. (2015). Soil mesofauna effects on litter decomposition in the coniferous forest of the Changbai Mountains, China. *Applied Soil Ecology*, 92, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.03.010>
- Waring, R., & Schlesinger, W. (1985). *Forest ecosystems: Concepts and management*. Academic Press.
- Washington, A. (1997). *Manual de producción de: Pino*. EDI-U Ecuador. <http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/Other%20Publications/op-14%20s%20pino.pdf>
- Zapata, C. M. Z., Ramírez, J. A., Peláez, J. D. L., & Hernández, M. I. G. (2007). Producción De Hojarasca Fina En Bosques Alto Andinos De Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 60(1), 3771-3784.
- Zhou, Y., Su, J., Janssens, I. A., Zhou, G., & Xiao, C. (2014). Fine root and litterfall dynamics of three Korean pine (*Pinus koraiensis*) forests along an altitudinal gradient. *Plant and Soil*, 374(1), 19-32. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1816-8>

## 10. Anexos

**Anexo A.** Prueba paramétrica de Z para la producción de hojarasca entre las coberturas BN y BP.

**Tabla 3.** Prueba paramétrica de Z para la producción total entre las coberturas de BN y BP.

	<b>BN</b>	<b>BP</b>
n	20	20
Media	1335,02	2007,52
Media (1) - Media (2)	-672,5	
LI (95)	-1074,93	
LI (95)	-270,07	
z	-3,38	
p-valor	<b>0,0017</b>	

**Anexo B.** Prueba de normalidad de datos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para las diferentes fracciones de la hojarasca.

**Tabla 4.** Prueba de Shapiro-Wilk y Levene para las diferentes fracciones de la hojarasca.

<b>Fracciones</b>	<b>Shapiro-Wilk (<math>p&lt;0,05</math>)</b>	<b>Levene (<math>p&lt;0,05</math>)</b>
Hoja dominante	0,9672	0,2872
Hojas secundarias	1,387e-05	9,559e-03
Órganos reproductivos	5,134e-09	0,7198
Ramas	2,537e-05	4,333e-02
Cortezas	0,01812	0,7658
Misceláneos	7,62e-03	7,092e-03

**Anexo C.** Prueba paramétrica de Z para la producción de hojarasca en la fracción hoja dominante entre las coberturas BP y BN.

**Tabla 5.** Prueba paramétrica de Z para la producción de hojarasca en la fracción de hoja dominante entre las coberturas BN y BP.

	BN	BP
n	20	20
Media	757,58	1808,96
Media (1) - Media (2)	-1051,38	
LI (95)	-1397,90	
LI (95)	-704,87	
z	-6,14	
p-valor	<b>0,0001</b>	

**Anexo D.** Prueba de U-Mann-Whitney para la producción de hojarasca en las fracciones de hojas secundarias, órganos reproductivos, ramas y misceláneos entre las coberturas BP y BN.

**Tabla 6.** Prueba de U-Mann-Whitney para la producción de hojarasca para las diferentes fracciones entre las coberturas BP y BN.

<b>Prueba no paramétrica de U-Mann-Whitney</b>	
Fracciones	p-value
Hojas secundarias	3,066e-06
Órganos reproductivos	0,1417
Ramas	9,25e-07
Cortezas	0,1022
Misceláneos	9,92e-09

## Anexo E. Coordenadas de la zona de estudio.

**Tabla 7.** Localización de las parcelas en el Bosque Protector Sunsun Yanasacha.

Nº de Parcela	Código	Coordenadas		
		x	y	z
1	BN1	702962	9667237	3424
2	BN2	703203	9667309	3423
3	BN3	703182	9667338	3417
4	BN4	703036	9667144	3451
5	BP1	702487	9667104	3506
6	BP2	702316	9667011	3508
7	BP3	702361	9667255	3529
8	BP4	702249	9667191	3531
9	PA1	702771	9667136	3425
10	PA2	702766	9667095	3431
11	PA3	702703	9667076	3439
12	PA4	702602	9667102	3425
13	PO1	704689	9668888	3278
14	PO2	704693	9668876	3274
15	PO3	704706	9668875	3275
16	PO4	704720	9668875	3279

## Anexo F. Metodología de campo.



**Figura 8.** Trampa para la captura de hojarasca (bosque nativo).



**Figura 9.** Recolección de la hojarasca (bosque nativo).



**Figura 10.** Recolección de la hojarasca (bosque de pino).

## Anexo G. Metodología de laboratorio.



**Figura 11.** Colocación de las muestras en la estufa.



**Figura 12.** Pesado en seco de la hojarasca (bosque de pino).



**Figura 13.** Pesado en seco de la hojarasca (pajonal).



**Figura 14.** Pesado en seco de la hojarasca (potrero).



**Figura 15.** Clasificación en cada una de las fracciones de hojarasca (bosque nativo).



**Figura 16.** Fracción de hoja dominante (bosque nativo).



**Figura 17.** Fracción de hojas secundarias (bosque nativo).



**Figura 18.** Fracción de órganos reproductivos (bosque nativo).



**Figura 19.** Fracción de ramas (bosque nativo).



**Figura 20.** Fracción de corteza (bosque nativo).



**Figura 21.** Fracción de misceláneos (bosque nativo).



**Figura 22.** Fracción de hoja dominante (bosque de pino).



**Figura 23.** Fracción de hojas secundarias (bosque de pino).



**Figura 24.** Fracción de órganos reproductivos (bosque de pino).



**Figura 25.** Fracción de ramas (bosque de pino).



**Figura 26.** Fracción de corteza (bosque de pino).



**Figura 27.** Fracción de misceláneos (bosque de pino).