



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“Cuantificación de la hojarasca bajo cuatro tipos de cobertura en
el Bosque de Llaviuco del Parque Nacional Cajas”**

*Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniera agrónoma*

AUTOR:

Giomara Michelle Cherrez Cherrez

CI: 1400678304

DIRECTOR:

Ing. Pablo Marcelo Borja Ramón. PhD.

C.I: 0102949088

CUENCA - ECUADOR

5 de septiembre 2019



RESUMEN

Información acerca de la producción de hojarasca es de relevancia para determinar la dinámica en las coberturas forestales presentes en los Andes del sur del Ecuador y con ello poder contribuir a su conservación y manejo. El objetivo de este estudio fue estimar la producción de hojarasca total y de cada uno de sus componentes bajo diferentes coberturas forestales, así como la evaluación de la estacionalidad en un periodo de ocho meses. Las coberturas estudiadas fueron: 1) Bosque Maduro (BM), 2) Bosque Secundario (BS), 3) Bosque secundario con eucalipto (BSE) y 4) Bosque secundario con pino (BSP). Para ello se ubicaron cuatro parcelas de 20 x 25 m por cada tipo de cobertura. Dentro de estas parcelas se colocaron nueve trampas colectoras de hojarasca ubicadas sistemáticamente. La recolección de hojarasca se realizó cada 15 días. Se obtuvo la producción promedio total para cada cobertura y para cada uno de los componentes de la hojarasca, la relación entre la producción de hojarasca con la pendiente y la altitud, la variación de la producción de hojarasca por cada cobertura durante el periodo de estudio y su relación con las variables climáticas de temperatura y precipitación. Los resultados mostraron diferencias a nivel de coberturas mostrando una producción estimada de hojarasca de 4479,3 kg ha⁻¹, 3698,3 kg ha⁻¹, 3578,6 kg ha⁻¹ y 4020,6 kg ha⁻¹ para BM, BS, BSE y BSP, respectivamente, siendo las hojas el componente que apporto mayor cantidad de biomasa. La estacionalidad estuvo marcada por la influencia de la precipitación y la temperatura en la producción de hojarasca de los cuatro tipos de cobertura. Pero solo se encontraron diferencias de producción de hojarasca entre los meses de estudio para BSE y BSP. Los componentes de la hojarasca no mostraron diferencias de producción durante el tiempo de estudio. Finalmente, la producción



de hojarasca estuvo influenciada por la pendiente en BM y BSE. Y la altitud no mostró una clara relación con la producción de hojarasca en los cuatro tipos de cobertura.

PALABRAS CLAVE: Bosque maduro, Bosque secundario, Acumulación hojarasca, Eucalipto, Pino, Biomasa.



ABSTRACT

Information about litter production is relevant to determine the forest cover dynamics in the Andes of southern Ecuador and in this way, contribute to the conservation and management of the Andean forests. This study aimed to estimate the production of total litterfall material and its components under different forest covers, as well as the evaluation of seasonality over a period of eight months. The studied covers were: 1) Mature Forest (BM), 2) Secondary Forest (BS), 3) Secondary forest with eucalyptus (BSE) and 4) Secondary forest with pine (BSP). Four 20 x 25 m plots were located for each type of cover. Nine leaf - litter traps were systematically installed in each plot. The litterfall material was collected every 15 days. The total average production was computed for each forest cover and also for each fraction of the litterfall. The relationship between litterfall production with slope and altitude was assessed by correlation analysis. The variation of litterfall production for each forest cover during the study period and its relation with the climatic variables of temperature and precipitation was also assessed by correlation analysis. The results showed differences in cover level showing an estimated litterfall production of 4479.3 kg ha⁻¹, 3698.3 kg ha⁻¹, 3578.6 kg ha⁻¹ and 4020.6 kg ha⁻¹ for BM, BS, BSE and BSP, respectively. The leaf litterfall was the component that contributed the most biomass. Seasonality was marked by the influence of precipitation and temperature on litter production of the four types of coverage. But only litterfall production differences were found between the months of study for BSE and BSP. The litterfall components showed no production differences during the study time. Finally, the slope in BM and BSE influenced litterfall production. And the altitude did not show a clear relationship with litter production in the four types of coverage.



KEY WORDS: Mature forest, Secondary forest, Litterfall accumulation, Eucalyptus, Pine, Biomass.



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
ABSTRACT	4
TABLA DE CONTENIDOS	6
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA	13
AGRADECIMIENTOS	16
DEDICATORIA.....	17
1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo general	21
2.2. Objetivos específicos	21
3. HIPOTESIS	22
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	23
4.1. Producción Primaria Neta	23
4.2. Importancia de los Ecosistemas forestales	23
4.3. Hojarasca.....	24
4.4. Especies forestales	25
4.4.1. Bosque nativo.....	25
4.4.2. Bosque Secundario.....	26



4.4.3.	Plantaciones forestales	27
4.5.	Estacionalidad	28
4.6.	Factores que influyen en la acumulación de hojarasca	28
4.7.	Estudios relacionados	29
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
5.1.	Área de estudio.....	30
5.2.	Producción de biomasa.....	31
5.2.1.	Métodos de Laboratorio	31
5.2.2.	Clasificación y estimación de la biomasa	32
5.2.2.1.	Identificación de la especie dominante	32
5.2.3.	Relación de la producción de hojarasca con la pendiente y la altitud	33
5.3.	Evaluación de la Estacionalidad.....	33
6.	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	35
6.1.	Diseño de la investigación	35
6.2.	Análisis estadístico.....	36
7.	RESULTADOS	38
7.1.	Producción de Biomasa.....	38
7.1.1.	Acumulación de Hojarasca.....	38
7.1.2.	Acumulación de biomasa por cada componente de hojarasca	39
7.1.2.1.	Identificación de la especie dominante	39
7.1.3.	Producción por componentes de la hojarasca.....	43



7.1.4. Influencia de la pendiente y la altitud en la acumulación de hojarasca.....	44
7.2. Evaluación de la estacionalidad	47
7.2.1. Estacionalidad de la acumulación de hojarasca total	47
7.2.2. Estacionalidad de la acumulación de hojarasca por fracciones.....	51
8. DISCUSIÓN.....	55
8.1. Acumulación de Hojarasca.....	55
8.2. Acumulación por componentes de hojarasca	58
8.3. Influencia de la altitud y la pendiente en la producción de hojarasca.....	60
8.4. Estacionalidad	61
9. CONCLUSIONES.....	64
10. RECOMENDACIONES	66
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	67
11. ANEXOS.....	75
11.1. Anexo 1: Producción de hojarasca.....	75
11.2. Anexo 2: Estacionalidad	76
11.3. Anexo 3: Zona de estudio	77
11.4. Anexo 4: Metodología y diseño en el campo.....	78
11.5. Anexo 5: Metodología laboratorio	79



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Especies encontradas en cada parcela por cada tipo de cobertura y sus características específicas.	40
Tabla 2 Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis ($p < 0,05$) para determinar diferencias de producción de hojarasca por cada una de las coberturas entre meses durante en el periodo de estudio.	48
Tabla 3 Prueba del coeficiente de correlación de Spearman entre la producción de hojarasca de cada cobertura con la precipitación y la temperatura.	49
Tabla 4 Producción total media de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y porcentaje para los 4 tipos de cobertura y para cada una de las fracciones.	75
Tabla 5 Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis diferenciando la producción de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) en los cuatro tipos de cobertura.	75
Tabla 6 Coeficiente de correlación de Spearman para la producción de biomasa por componente de hojarasca con la precipitación y la temperatura.	76
Tabla 7 Coordenadas de las parcelas por cada tipo de cobertura.	77



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la zona de estudio (Bosque de Llaviuco). Fuente: Promas Universidad de Cuenca (polígono Parque Nacional Cajas), Instituto Geográfico M. (polígono provincia del Azuay, polígono Ecuador).31

Figura 2 Diseño para la ubicación de trampas de captura de hojarasca dentro de las parcelas de monitorio (muestreo sistemático).36

Figura 3. Gráfico de cajas de la producción de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1}\text{mes}^{-1}$) obtenida por cada parcela durante los meses de muestreo para los 4 tipos de cobertura: cobertura Bosque Maduro (BM), cob. Bosque Secundario (BS), cob. Bosque Secundario con eucalipto (BSE), cob. Bosque Secundario con pino (BSP).39

Figura 4 Diferencias entre la producción de cada una de las fracciones para los distintos tipos de Cobertura en (kg ha^{-1}), Bosque Maduro (BM), Bosque Secundario (BS), Bosque Secundario con Eucalipto (BSE), Bosque Secundario con Pino (BSP).44

Figura 5 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque Secundario (BS).45

Figura 6 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque Secundario (BS).45

Figura 7 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque secundario con eucalipto (BSE).45

Figura 8 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque Secundario con pino (BSP).45

Figura 9 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la pendiente en la cobertura de Bosque Maduro (BM).46



Figura 10 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la pendiente en la cobertura de Bosque Secundario (BS).....46

Figura 11 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la pendiente en la cobertura de Bosque Secundario con eucalipto (BSE).....47

Figura 12 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la pendiente en la cobertura de Bosque Secundario con pino (BSP).....47

Figura 13 Relación entre la precipitación y la producción total mensual de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) para los 4 tipos de cobertura estudiados: Bosque Maduro (BM), Bosque Secundario (BS), Bosque Secundario con eucalipto (BSE) y Bosque Secundario con pino (BSP).50

Figura 14 Relación entre la temperatura y la producción total mensual de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) para los 4 tipos de cobertura: Bosque Maduro (BM), Bosque Secundario (BS), Bosque Secundario con eucalipto (BSE) y Bosque Secundario con pino (BSP).51

Figura 15 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque maduro: hd: hojas de la especie dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.....53

Figura 16 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque Secundario: hd: hojas de la especie dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.53

Figura 17 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque Secundario con Eucalipto: hd: hojas de la especie



dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.54

Figura 18 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque Secundario con Pino: hd: hojas de la especie dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.54

Figura 19 Parcela de muestreo..... 78

Figura 20 Trampas colectoras, Modelo para colector instalado; 1. colector, 2. varillas de sujeción..... 78

Figura 21 Recolección hojarasca por medio de trampas. 78

Figura 22 Pesado y secado de muestras húmedas..... 79

Figura 23 Clasificación en de cada una de las fracciones de hojarasca..... 79

Figura 24 Pesado biomasa seca de las hojas de la especie dominante. 79

Figura 25 Pesado de la biomasa seca de hojas de la especie secundaria. 80

Figura 26 Pesado de la biomasa seca de ramas..... 80

Figura 27 Pesado de órganos reproductivos. 80

Figura 28 Pesado de misceláneos y corteza..... 80



ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

BM: cobertura Bosque Maduro

BS: cobertura Bosque Secundario

BSE: cobertura Bosque Secundario con Eucalipto

BSP: cobertura Bosque Secundario con Pino

PPN: Productividad Primaria Neta

MO: Materia orgánica

CO₂: Dióxido de Carbono

GR: Área basal expresada en porcentaje

G ha⁻¹: Área basal por hectárea

DAP: Diámetro a la altura del pecho



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Giomara Michelle Cherrez Cherrez en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Cuantificación de la hojarasca bajo cuatro tipos de cobertura en el Bosque de Llaviuco del Parque Nacional Cajas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de septiembre 2019

Giomara Michelle Cherrez Cherrez

C.I: 1400678304



Cláusula de Propiedad Intelectual

Giomara Michelle Cherrez Cherrez, autora del trabajo de titulación “Cuantificación de la hojarasca bajo cuatro tipos de cobertura en el Bosque de Llaviuco del Parque Nacional Cajas”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 5 de septiembre 2019

Giomara Michelle Cherrez Cherrez

C.I: 1400678304



AGRADECIMIENTOS

A mi director, Ing. Pablo Borja por su ayuda, amistad, enseñanzas y apoyo brindado en el desarrollo del trabajo de tesis. Al Ing. Pablo Quichimbo por ser con quien se estableció el vínculo para desarrollar este proyecto y de igual manera por su amistad y apoyo en trabajo de esta investigación.

A la Dra. Ximena Palomeque que, por su intermedio se obtuvo los permisos de ingreso a la zona protegida de Llaviuco en el PNC, del mismo a la empresa pública ETAPA EP, por conceder los permisos de ingreso a la zona de estudio.

A los miembros del Tribunal de tesis: Ing. Pablo Quichimbo, Ing. Oswaldo Jadán y Dr. Fernando Bermúdez por los aportes y correcciones en el mejoramiento del trabajo escrito.

A la encargada de las instalaciones del Laboratorio de suelos la Ing. Jessica Merecí por la facilitación de las Instalaciones y el uso de los equipos para el procesamiento de las muestras.

A Byron Ortega y Jean Pierre Honores por su generosa ayuda en la recolección de muestras en campo, y apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

Giomara Michelle Cherrez Cherrez



DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme cumplir una de mis metas, así como también por las nuevas oportunidades que me ofrecerá a lo largo de la vida.

A mis padres Omar y Patricia, quienes han estado apoyándome siempre en todas mis actividades y han sido un pilar fundamental en mi formación personal y académica.

A las personas especiales que considero en mi vida, familia, amigas y amigos que me han venido acompañando durante todos los días en el desarrollo y transcurso de esta meta.

Giomara Michelle Cherrez Cherrez



1. INTRODUCCIÓN

Los bosques montanos de los Andes cumplen un papel muy importante, debido a las funciones que cumplen. Entre estas esta la alta provisión, regulación y el mantenimiento del agua, así como la estabilidad del suelo evitando de esta manera la erosión. Todo ello nos hace depender de ellos significativamente ya que estos recursos son fundamentales para los consumidores directos que se encuentran en las ciudades (Doornbos, 2015).

Los bosques han sido intervenidos durante muchos años por las presiones antropogénicas. Un efecto de aquello es la deforestación, quemas y la alta presión de la tierra, alteraciones que han conllevado el cambio de usos de suelo a otros usos agrícolas como pastos y áreas de cultivo. Así como también la urbanización, asentamientos, infraestructura vial y áreas invadidas con vegetación foránea (Doornbos, 2015). Actualmente dentro de los bosques altoandinos se han ido evidenciando esta serie de problemas, resultando en una considerable disminución en la cobertura nativa de este tipo de bosques (Cavelier, et al., 2001), trayendo consecuencias tanto para la biota de la zona como para los asentamientos humanos (Velasco Linares y Vargas, 2008).

De manera más específica estos problemas causan disturbios en el suelo provocando erosión, además de la pérdida de capacidad hídrica y la fuente básica de energía y bioelementos para la micro flora y fauna edáfica, la cual está constituida principalmente por la acumulación de hojarasca en el suelo; ésta interacción entre la vegetación y el suelo, es la que se revela en un proceso cíclico tanto de entrada y salida de nutrientes dentro de un ecosistema (Sanchez et al., 2003). Este material que cae durante un intervalo de tiempo y cubre el suelo, conocido como hojarasca, forma un estrato orgánico y lo protege de los



cambios de humedad y temperatura (Schlatter, Gerding, y Calderón, 2006). Así se convierte, en fuente de energía para los microorganismos los cuales mediante la nutrición heterótrofa permiten que retornen elementos nutritivos en una cantidad importante logrando de esta manera el desarrollo y crecimiento de los bosques (Morán et al., 2012). Estas características importantes hacen que se considere a la hojarasca como una parte fundamental dentro de la Productividad Primaria Neta (PPN) del bosque (Ryan, 1991). Por todo ello la presencia de esta hojarasca constituye un tema relevante ya que nos permite conocer sobre el ciclaje y cantidad de nutrientes acumulados y presentes en el suelo, sirviendo como un antecedente para comprender el gran impacto ecológico que genera sobre los ecosistemas forestales (Quichimbo et al., 2016).

La producción de hojarasca en bosques tropicales en los Andes y plantaciones forestales representa un componente fundamental (Vargas y Varela, 2007), y por ello el desarrollo de investigaciones en la actualidad ligados a este tema permitirá aportar al conocimiento sobre la contribución de este componente (hojarasca) en la producción primaria neta de ecosistemas forestales naturales y plantados (Valle, 2003).

En el Ecuador, son escasos los estudios que llenen los vacíos de conocimiento sobre la eficiencia en aporte de nutrientes por parte de los distintos tipos de ecosistemas forestales (Quichimbo et al., 2019), cada uno de ellos con su propia composición de especies, estructura, y su asociación a factores bióticos (microorganismos) y abióticos (variables clima, topografía) (Clark et al., 2001; Cleveland et al., 2011), y de cómo estos aportan o impactan la producción de hojarasca dentro de los bosques altoandinos. Por ello la pertinencia de desarrollar este estudio en el Parque Nacional Cajas, el cual posee importantes comunidades vegetales, hábitats de un sinnúmero de especies y elementos claves para el mantenimiento de procesos funcionales y servicios ambientales como la regulación hídrica,



la captación de carbono y otras (SUIA, 2014). Elementos que han estado perdiéndose por la degeneración de la cobertura en los bosques. (Proaño et al., 2018).

Bajo estos antecedentes, el planteamiento y ejecución de esta investigación sobre la dinámica existente en las coberturas vegetales presentes en el bosque de Llaviuco, ecosistema altoandino, ubicado en el Parque Nacional Cajas de la región sur de los Andes del Ecuador, pretende aportar al conocimiento sobre procesos intrínsecos de estos ecosistemas forestales y plantaciones de especies exóticas, especialmente en la producción primaria neta a través del aporte de la hojarasca, así mismo la generación de información que contribuya a la valoración integral de los ecosistemas forestales para su correcto manejo y conservación.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del tipo de cobertura forestal sobre la producción de hojarasca de corto periodo de residencia en la zona de Llaviuco, Parque Nacional Cajas.

2.2. Objetivos específicos

- Estimar la producción de hojarasca en coberturas forestales nativas (bosques maduros y secundarios) y exóticas (plantaciones de pino y de eucalipto), y sus fracciones principales: hojas de especie dominante, hojas de otras especies o especies secundarias, órganos reproductivos, ramas, cortezas y misceláneos, en la zona de Llaviuco, Parque Nacional Cajas.
- Evaluar la estacionalidad de la producción de hojarasca por cada tipo de cobertura forestal bajo el periodo de estudio.



3. HIPOTESIS

Ho: No hay diferencia en la producción total y de los componentes de la hojarasca entre coberturas forestales nativas y exóticas.

Ho: No hay variación temporal en la producción de hojarasca por tipo de cobertura para el periodo de estudio.



4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Producción Primaria Neta

La producción primaria neta (PPN) en los ecosistemas forestales es la relación entre fotosíntesis y respiración. Esta producción se define como la materia orgánica total producida en un intervalo específico de tiempo dentro de un ecosistema (Mosquera et al., 2007). Se la puede estimar mediante la suma de todos los materiales equivalentes a la materia orgánica (MO) nueva retenida (incremento de biomasa aérea) y la cantidad de (MO) que fue producida y perdida (la acumulación de la hojarasca fina), siendo su suma el equivalente a la PPN sobre el nivel del suelo (Clark et al., 2001).

Entre todo el material orgánico que se almacena en un área, dentro de un período de tiempo determinado sobresale el incremento en biomasa de hojas, fuste, ramas y raíces, además de materiales provenientes de órganos reproductivos (flores, inflorescencias, frutos y semillas) (Fernández et al., 1991). Las estimaciones precisas de productividad primaria neta son el fundamento para entender la capacidad de almacenamiento e incremento de biomasa en los ecosistemas forestales (Mosquera et al., 2007). También la relación directa que tiene con el incremento de CO₂ atmosférico, cuando no existen la presencia de las coberturas forestales (Girardin et al., 2010).

4.2. Importancia de los Ecosistemas forestales

Las actividades antropogénicas han aumentado las concentraciones de CO₂, haciendo que crezca la incertidumbre acerca del balance mundial de carbono, por lo que se ha venido dando la necesidad de investigaciones que nos ayuden a comprender la producción primaria



netas (PPN) de los bosques. Esto debidamente justificado ya que estos ecosistemas cumplen un papel importante dentro de este balance de carbono al ser considerados como sumideros y reservorios de este elemento (Girardin et al., 2010). Entendiendo así, que pequeños cambios entre estos flujos afectan en gran medida a las concentraciones de CO₂, causando cambios constantes en la PPN forestal (Clark et al., 2001).

Por otro lado, los efectos de estos cambios se ven reflejados en eventos como el cambio climático, que amenaza estos ecosistemas específicamente en su biodiversidad y servicios ambientales. Esto se vería reflejado en su alteración, disminución, transformación y cambios en procesos como la dinámica de materia orgánica y ciclaje de nutrientes, aumentando o manteniendo los niveles de CO₂. Ahí radica el grado de importancia que poseen los bosques y los páramos que mediante la evaluación de su capacidad de almacenaje de carbono, podrían contribuir a suavizar este impacto (CEPAL, 2012).

4.3. Hojarasca

La hojarasca foliar es una fuente principal de nutrientes de los suelos forestales (Ramírez et al., 2007). Esta representa más del 80 % de nutrientes retornados al suelo como aporte de los detritos de los árboles (Regina, 1995). La cantidad de esta hojarasca producida por una comunidad vegetal se considera como la sumatoria de los detritos vegetales aéreos finos aportados al suelo durante un periodo, expresados en biomasa de peso seco, en los que se incluyen hojas, flores, frutos, semillas, ramas entre otros (Lodge, et al., 1991; Meentemeyer, et al., 1982). Todo el contenido químico de esta biomasa es necesario para cuantificar el retorno anual de los elementos químicos y la materia orgánica al suelo (Pitman et al., 2010).



La producción de hojarasca está regulada fundamentalmente por procesos biológicos, fisiológicos, climáticos, topográficos, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y estructura aérea del bosque (Návar y Jurado, 2009). Los efectos de los factores antropogénicos y naturales relacionados con el cambio climático también podrían influir tanto en la producción de la hojarasca como en su descomposición. Además, proporcionan información temporal y cuantitativa sobre el desarrollo fenológico de las especies a través de la cuantificación de la cantidad de follaje, patrones de floración y fructificación (Pitman et al., 2010). Esta fenología es evaluada mediante mediciones directas de la variación año a año como una reacción a los patrones climáticos a corto y a largo plazo (Pitman et al., 2010).

4.4. Especies forestales

La composición de las especies arbóreas es un factor importante para la producción de hojarasca. Su producción es variable y depende de la capacidad de defoliación de las especies (González, 2012). Estas también pueden asimilar, reabsorber, almacenar y perder los nutrientes de manera distinta, afectando su calidad con respecto al contenido de nutrientes (Quichimbo et al., 2019).

4.4.1. Bosque nativo

Los bosques montanos tropicales son ecosistemas frágiles que contienen una diversidad biológica caracterizada por su alto grado de singularidad y rareza. Los bosques con árboles maduros poseen un hábitat muy variable dependiendo de la altitud pudiendo cambiar su composición florística y el tamaño de su estrato arbóreo. También este tipo de bosques



pueden poseer fuertes pendientes lo que los hace vulnerables a la erosión cuando existe abundante precipitación (Bussmann, 2005). Algunos bosques montano alto están representados por vegetación monotípica que posee un solo estrato arbóreo 5 – 10 m, y raramente 15 m de altura (Bussmann, 2005). Según Crespo y Pinos (2007), la zona de bosque de Llaviuco posee partes densas formando un dosel de copas uniformes con árboles que pueden llegar a 20 m de altura.

4.4.2. Bosque Secundario

Los bosques secundarios son ecosistemas consecuencia del abandono de tierras agrícolas, sometidas a procesos de regeneración natural o de sucesión secundaria (Yepes et al., 2010). Pueden ser muy variables en la estructura de la vegetación y composición de especies dependiendo de la edad o la historia de su alteración (Chazdon, 2003). En la zona de estudio se puede encontrar zona formadas por especies pioneras como *Rubus sp.* y *Weinmannia sp.*, también como *Salvia sp.*, *Calceolaria sp.* y *Fuchsia sp.* que crecen junto a pastizales y senderos y otras zonas donde se puede encontrar la presencia de *Miconia sp.* (Crespo y Pinos, 2007). Estos bosques secundarios a pesar de tener menor número de especies en comparación con los bosques maduros son eficaces en restaurar procesos como la descomposición y la producción de biomasa. Por todo ello la recuperación de materia orgánica en el suelo de bosques secundarios es relativamente rápida (Brown et al., 1990). Pero en el caso de la conservación de la biodiversidad y almacenamiento de carbono estos pueden tardar más tiempo en recuperarse (Barlow et al., 2007).



4.4.3. Plantaciones forestales

Muchos de los bosques montanos tropicales han sufrido la presión de la deforestación (Jaime Cavelier y Santos, 1999). Donde las plantaciones de especies exóticas como pino y eucalipto han sido establecidas debido al ciclo corto de producción en madera que proveen (Morris, 1997). Estas plantaciones forestales ocupan amplios rangos altitudinales y pueden representar un problema para las especies nativas, primeramente, causando disturbios en los suelos (son retenedores de agua), y también por estar presentes en zonas estratégicas de regulación de agua, haciendo que disminuya los servicios ambientales que brinda el bosque. Además, que inciden de manera negativa sobre la diversidad y composición florística de los ecosistemas nativos a medida que aumentan su cobertura (Hofstede, Lips, y Jongasma, 1998). Por otro lado estas plantaciones también pueden tener un efecto neutro o positivos en el suelo, cuando se usan para rehabilitar zonas fuertemente degradadas (Cavelier y Santos, 1999).

Las plantaciones de especies exóticas presentan una regeneración natural con menor riqueza de especies comparado con la regeneración de un bosque nativo. En el caso del pino, la causa principal se debe a la acumulación de las acículas y a la presencia de resinas que dificulta la regeneración de la vegetación, lo que hace que la frecuencia o germinación de especies herbáceas sea dificultosa (Craine y Orians, 2004). En plantaciones de eucalipto el crecimiento también se ve restringido por la presencia de fenoles. (Velasco y Vargas, 2008).



4.5. Estacionalidad

Las diferencias en la producción de hojarasca pueden estar relacionada con las variaciones climáticas por factores como precipitación, temperatura y humedad relativa. (Roderick et. al, 2001). Según Liu et al., (2004) con el incremento de la temperatura y la precipitación, el total de hojarasca aumenta. Pero cuando se trata de un estudio a escala local el efecto del clima en la hojarasca no es solo dependiente de la temperatura y la precipitación sino también de otras características estructurales como las edáficas y otras condiciones atmosféricas (Brown y Lugo, 1990). Sanches et al., (2003) indica que la producción de hojarasca en bosques tropicales aumenta en épocas de menor precipitación debido al déficit hídrico produciéndose una reacción por parte de las especies, las cuales se desprenden de su follaje. La variación mensual de la cantidad de hojarasca puede estar influenciada por los periodos de los ciclos vegetativos y las etapas fenológicas de las especies (Prause, Arce de Caram, y Angeloni, 2003)

4.6. Factores que influyen en la acumulación de hojarasca

También otros factores que influyen en la acumulación de hojarasca son los edáficos cuando existe presencia de suelos saturados impidiendo el desarrollo de raíces y con ellos la producción de biomasa. Por otro lado, los factores biológicos como la estructura de los árboles, el indice de área foliar entre otros pueden marcar en mayor o menor magnitud la producción de hojarasca dentro de un bosque (Bruijnzeel y Veneklaas, 1998). Otros factores que pueden influir de manera significativa son la pendiente y la altitud. Según Kitayama y Aiba (2002) la hojarasca total anual decrece linealmente con el incremento de la altitud, al



igual que también se produce una disminución de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio. Röderstein, Hertel, y Leuschner (2005) en relación con la pendiente afirma que la producción de hojarasca disminuye al igual que la productividad de las plantas a lo largo de la pendiente.

4.7. Estudios relacionados

En relación a los Andes del Ecuador el estudio de (Röderstein et al., 2005) muestran en su estudio realizado en Bosques Lluviosos Montanos, que la producción anual de hojarasca específicamente para la fracción hojas va desde 2630 a 8620 kg ha⁻¹ año⁻¹. Aquí según varios estudios compilados, el promedio de producción de hojarasca está en 5380 kg ha⁻¹ año⁻¹ para bosques tropicales montanos tomando en cuenta solo la cuantificación de las hojas sin incluir los demás componentes.

Otros estudios relacionados en otras regiones están el de Vargas Parra y Varela (2007), en el cual estimaron la producción de hojarasca total, de fracciones y del menor nivel taxonómico de identificación de hojas en un Bosque de Niebla encontrando valores de 6270 kg ha⁻¹ año⁻¹ de producción promedio total del cual para las fracciones correspondió el 74,4 % a hojas, 10,8 % ramas, 10,6 % partes reproductivas, 3,6 % epífitas y 0,6 % material no identificado. También Mosquera et al., (2007), en un estudio realizado en la zona de vida de Bosque Pluvial Tropical a Bosque muy Húmedo Tropical en donde determinaron la productividad de hojarasca en 7200 kg ha⁻¹ año⁻¹ representada en: 60,7 % hojas, 29,8 % tallos, 3,37 % frutos, 0,84 % flores, 0,56 % semillas, 0,56 % vegetación asociada y 4,18 % material indeterminado. Esta producción estuvo relacionada con la precipitación mensual y con las características de vegetación (área basal, diámetro, altura, número de árboles).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El sitio donde fue realizado el estudio es el área de Bosque altoandino de Llaviuco (Figura 1). El área natural posee 1550 ha de superficie distribuidas entre los 2900 y 3400 msnm. Su precipitación promedio se encuentra por los 1111 mm y la temperatura con un promedio de 9,78 °C; y se encuentra dentro del Parque Nacional Cajas el cual es considerado como un área de relevancia ecológica (Proaño et al., 2018).

Este bosque alberga una gran e importante biodiversidad, además aporta a los sistemas hidrológicos que proveen de agua a comunidades aledañas. Según la clasificación de Sierra et al. (1999), pertenece a la formación vegetal de Bosque siempre verde montano alto. Está conformada por un mosaico de hábitats propios de la zona andina como los son bosques maduros, paramo y sistemas lacustres (Flores, 2016). Todo el bosque está asentado sobre un relieve accidentado y pendientes muy pronunciadas. La cobertura vegetal se encuentra un estado de sucesión secundaria en mayor parte de su superficie; también existen ciertos parches con especies exóticas como *Pinus spp.* y *Eucalyptus spp.* y pequeñas zonas de pastoreo (Rincón et al., 2017).

Este estudio fue desarrollado dentro del proyecto marco que evaluó la producción y descomposición de hojarasca de distintos tipos de cobertura en el Parque Nacional El Cajas. Este proyecto marco estuvo asociado al proyecto “Regeneración natural del bosque secundario altoandino bajo la influencia de diferentes tipos de cobertura vegetal nativa y de plantaciones exóticas en el Parque Nacional El Cajas en la provincia del Azuay”, realizado por la Universidad de Cuenca.

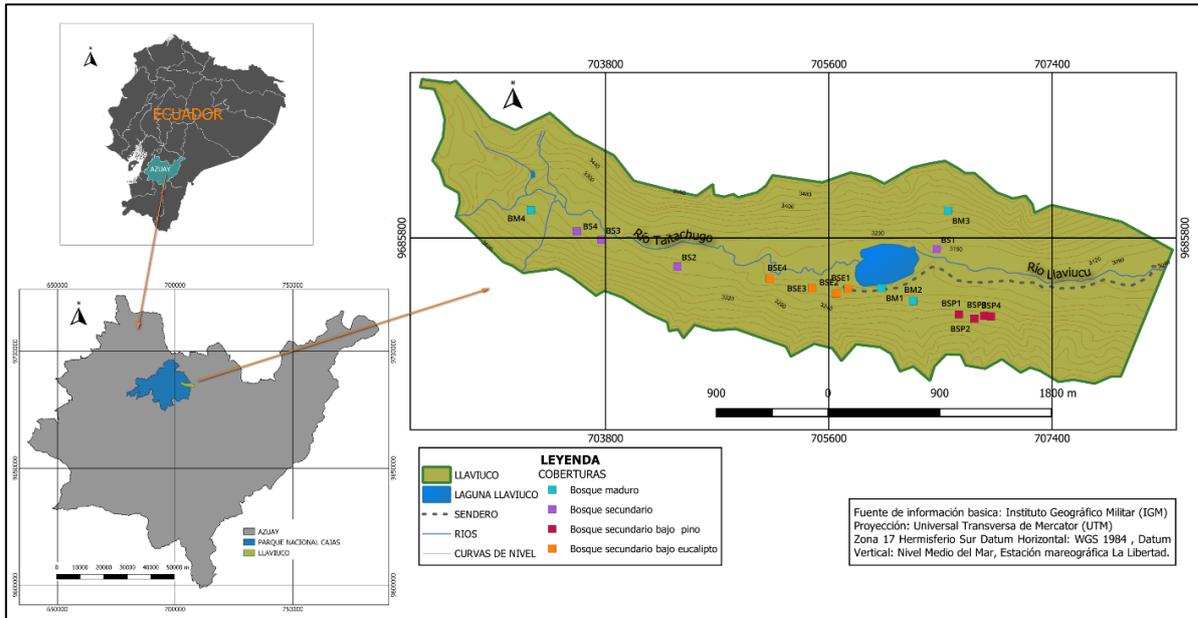


Figura 1 Ubicación de la zona de estudio (Bosque de Llaviuco). Fuente: Promas Universidad de Cuenca (polígono Parque Nacional Cajas), Instituto Geográfico M. (polígono provincia del Azuay, polígono Ecuador).

5.2. Producción de biomasa

5.2.1. Métodos de Laboratorio

El material (hojarasca), fue colectado en fundas plásticas, e ingresado al laboratorio para su respectivo tratamiento que consistió en el pesado de las muestras húmedas y luego su secado a una temperatura de 65 °C en una estufa, por 48 horas. Posteriormente este material fue pesado en seco.



5.2.2. Clasificación y estimación de la biomasa

Las muestras fueron clasificadas y pesadas para determinar la biomasa de cada una de las siguientes fracciones: a) hojas de la “especie dominante”; b) hojas de las otras especies u “hojas secundarias”; c) órganos reproductivos que incluyeron a flores, frutos y semillas; d) “ramas”; e) “corteza” y f) “misceláneos”.

La estimación de la materia seca (MS) expresada en kg ha^{-1} , se calculó mediante la siguiente ecuación (Berg y Laskowski, 2005; Quichimbo et al., 2016):

$$MS = (m1 - m0) * a^{-1} * b$$

Donde:

MS: materia seca por área (kg ha^{-1}).

m1: peso del contenedor vacío más muestra seca.

m0: peso del contendor vacío (g).

a: área de captación de la trampa (m^2).

b: factor de transformación para la obtención de kg ha^{-1} .

5.2.2.1. Identificación de la especie dominante

Para la clasificación de la hojarasca de cada muestra recogida se determinó la especie que domina en cada tipo de cobertura. Para ello se obtuvo valores de área basal (m^2) por hectárea (G ha^{-1}) y su correspondiente porcentaje (GR) a partir del diámetro a la altura del pecho



(DAP) de cada individuo perteneciente a una especie presente dentro de las 4 parcelas de cada cobertura. Se determinó como dominante a la que posee mayor área de cobertura.

Para ello se recolectó información de la composición de especies presentes en cada parcela, que fue obtenida en la ejecución del proyecto que evaluó la: “Regeneración natural del bosque secundario altoandino bajo la influencia de diferentes tipos de cobertura vegetal nativa y de plantaciones exóticas en el Parque Nacional El Cajas en la provincia del Azuay”.

5.2.3. Relación de la producción de hojarasca con la pendiente y la altitud

Se obtuvo datos del porcentaje de pendiente de las 4 parcelas correspondientes a cada tipo de cobertura y los valores de altitud a partir de las coordenadas tomadas de la ubicación de cada una de las parcelas. Se comparó con la producción de hojarasca promedio obtenida por cada parcela en los cuatro tipos de cobertura con las dos variables por medio de gráficos de regresión y el coeficiente de correlación de Spearman.

5.3. Evaluación de la Estacionalidad

Se determinó si existe diferencias de la producción total de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$), por cada tipo de cobertura y entre los meses del periodo de estudio. Para su visualización se realizó gráficos con líneas de tendencia que muestran la producción de hojarasca en comparación con la precipitación y la temperatura. Expresando de manera descriptiva los valores altos y bajos obtenidos en producción de hojarasca mensual y comparándolos con los meses de mayor y menor precipitaciones, así como los de mayor y menor temperatura.



Los datos de precipitación y temperatura fueron obtenidos de la estación meteorológica presente en la zona de Llaviuco, a través de ETAPA EP.



6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.1. Diseño de la investigación

En el bosque de Llaviuco se encuentran instaladas 16 parcelas rectangulares de 500 m² (20 m x 25 m) (*Figura 2*), que están distribuidas de la siguiente manera: 4 parcelas de bosque maduro, 4 de bosque secundario, 4 de bosque secundario bajo eucalipto y 4 de bosque secundario bajo pino. La producción de las estructuras vegetativas fue monitoreada mediante la cuantificación de su biomasa que fue recolectada en nueve trampas de captura, las mismas que fueron distribuidas sistemáticamente en cada una de las 4 parcelas pertenecientes a cada cobertura (en total 144 trampas), cada trampa de captura de hojarasca posee un área de captación de 0.33 m²; estas fueron colocadas horizontalmente, niveladas al suelo y fijadas con varillas para evitar el contacto con el suelo. Además, se realizó pequeños agujeros en cada base de las trampas para garantizar un drenaje de agua adecuado (*Anexo 4: Figura 20, Figura 21*). El material fue colectado durante el periodo junio 2018 – enero 2019 con un intervalo de 15 días entre cada monitoreo.

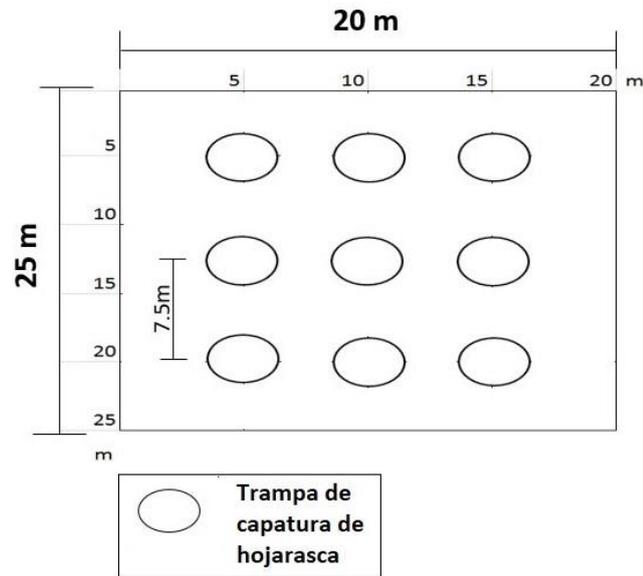


Figura 2 Diseño para la ubicación de trampas de captura de hojarasca dentro de las parcelas de monitoreo (muestreo sistemático).

6.2. Análisis estadístico

Para la caracterización de la biomasa total producida se empleó estadística descriptiva (promedios y desviación estándar). Esto se hizo para los datos de cada parcela y cobertura y expresándolo finalmente en kg ha^{-1} .

Se utilizó la prueba de Shapiro Wilk ($P < 0,05$) para determinar si existe normalidad en los datos. Para las diferencias de la producción de hojarasca entre tipos de cobertura se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Los datos de producción de hojarasca total por cada tipo de cobertura fueron relacionados con la pendiente y altitud mediante regresiones y el cálculo de la correlación de Spearman ($p < 0,05$).

Para la evaluación de la estacionalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0,05$) para determinar si existe diferencias de producción de hojarasca entre tipos de cobertura y entre los meses de estudio expresada en $\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$. Y la prueba de



correlación de Spearman ($p < 0,05$), para determinar si existe una asociación entre la producción de hojarasca por cada tipo de cobertura con la precipitación y la temperatura. El mismo procedimiento se realizó para las fracciones de la hojarasca.

Todos los análisis fueron desarrollados con el software (R) Core Team (2017). Y los gráficos de estacionalidad con el software estadístico (Infostat, 2017).



7. RESULTADOS

7.1. Producción de Biomasa

7.1.1. Acumulación de Hojarasca

La producción promedio de hojarasca para la cobertura de Bosque Maduro (BM) fue de $4479,4 \pm 709,8 \text{ kg ha}^{-1}$, en la cobertura de Bosque Secundario (BS) fue de $3698,3 \pm 1316,1 \text{ kg ha}^{-1}$ y para las coberturas de Bosque Secundario con eucalipto (BSE) y pino (BSP) fue de $3578,6 \pm 191,6 \text{ kg ha}^{-1}$ y $4020,7 \pm 117,7 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, durante el periodo de estudio comprendido desde junio 2018 – enero 2019 (Anexo1: Tabla 4).

Los datos de producción de hojarasca no fueron normales (Shapiro - Wilks, $p = 1.35E-08$). Es así como al aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis, se evidenció que existen diferencias a nivel de coberturas ($p = 0,0044$) (Figura 3). Así pues, las coberturas de BS, BSE se ubicaron en el mismo grupo en relación con sus medianas, pero se diferencian del BSP y la cobertura de BM como otro grupo separado.

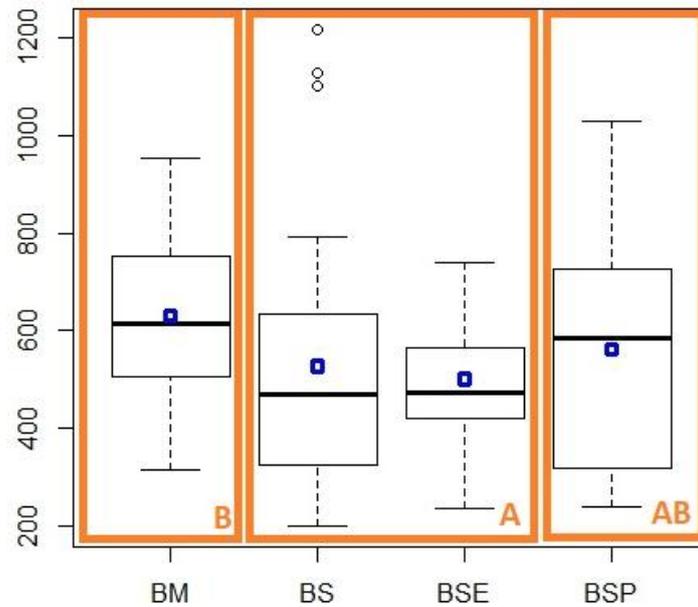


Figura 3. Gráfico de cajas de la producción de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1}\text{mes}^{-1}$) obtenida por cada parcela durante los meses de muestreo para los 4 tipos de cobertura: cobertura Bosque Maduro (BM), cob. Bosque Secundario (BS), cob. Bosque Secundario con eucalipto (BSE), cob. Bosque Secundario con pino (BSP).

7.1.2. Acumulación de biomasa por cada componente de hojarasca

7.1.2.1. Identificación de la especie dominante

En la Tabla 1 se muestran las especies identificadas y presentes en cada parcela y correspondientes a cada una de las coberturas del sitio de estudio. Aquí, se muestra el nombre de la especie, la familia a la que pertenece, altura, área basal por hectárea y porcentaje de área basal (GR). Para la cobertura de BM se registraron 10 familias, dentro de las cuales la especie arbórea *Hedyosmum luteynii* representa un 54 % de área basal estableciéndose como la especie dominante para este tipo de cobertura. En el caso de la cobertura de BS, se pudo determinar 13 familias representativas, y de las cuales la especie



que domina es *Miconia pustulata* con un 43.8 % de área basal. Para la cobertura de BSE se encontraron 14 diferentes familias, siendo *Eucalyptus globulus* la dominante con 28 % y para la cobertura de BSP se pudo observar menor variedad de familias con solo 7, de las cuales la especie *Pinus patula* es la que domina con un 92.8 % de la cobertura total.

Tabla 1 Especies encontradas en cada parcela por cada tipo de cobertura y sus características específicas.

Espece	Familia	Altura (m)	G/ha	GR
Cobertura de Bosque Maduro				
<i>Hedyosmum luteynii</i> Todzia	Chloranthaceae	12.13	36.29	54.0
<i>Miconia pustulata</i> Naudin	Melastomataceae	12.38	11.31	16.8
<i>Weinmannia fagaroides</i> (Kunth)	Cunoniaceae	13.33	4.34	6.5
<i>Piper andreanum</i> C. DC.	Piperaceae	3.85	3.69	5.5
<i>Symplocos quitensis</i> Brand	Symplocaceae	13.29	3.29	4.9
<i>Indeterminada</i>	Indeterminada	11.00	2.21	3.3
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	Myrtaceae	12.50	2.15	3.2
<i>Verbesina latisquama</i> S.F. Blake	Asteraceae	12.67	1.42	2.1
<i>Ocotea heterochroma</i> Mez & Sodiro	Lauraceae	11.20	1.28	1.9
<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	Rubiaceae	10.60	0.76	1.1
<i>Brugmansia sanguinea</i> (Ruiz & Pav.) D. Don	Solanaceae	4.44	0.34	0.5
<i>Critoniopsis floribunda</i> (Kunth) H. Rob.	Asteraceae	11.00	0.05	0.1
<i>Cestrum</i> sp.	Solanaceae	2.75	0.03	0.0
Total general			67.16	100.0
Cobertura de Bosque Secundario				
<i>Miconia pustulata</i> Naudin	Melastomataceae	10.30	13.32	43.8
<i>Piper andreanum</i> C. DC.	Piperaceae	3.48	4.24	14.0



<i>Cestrum sp.</i>	Solanaceae	4.46	3.03	10.0
<i>Indeterminada</i>	Indeterminada	6.97	2.70	8.9
<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	Myrsinaceae	9.00	1.57	5.2
<i>Hedyosmum luteynii</i> Todzia	Chloranthaceae	8.32	1.41	4.7
<i>Ocotea heterochroma</i> Mez & Sodiro	Lauraceae	8.94	1.28	4.2
<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	Rubiaceae	7.63	0.60	2.0
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	Myrtaceae	7.75	0.44	1.5
<i>Vallea stipularis</i> L.f.	Elaeocarpaceae	11.00	0.45	1.5
<i>Miconia bracteolata</i> (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	4.17	0.38	1.2
<i>Oreopanax avicenniifolius</i> (Kunth) Decne. & Planch.	Araliaceae	6.60	0.26	0.9
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Caprifoliaceae	6.88	0.29	0.9
<i>Verbesina latisquama</i> S.F. Blake	Asteraceae	6.63	0.13	0.4
<i>Solanum nutans</i> Ruiz & Pav.	Solanaceae	8.50	0.10	0.3
<i>Critoniopsis floribunda</i> (Kunth) H. Rob.	Asteraceae	10.00	0.09	0.3
<i>Salvia corrugata</i> Vahl	Lamiaceae	2.44	0.06	0.2
<i>Saracha quitensis</i> (Hook.) Miers	Solanaceae	3.00	0.04	0.1
Total general			30.38	100.0
Cobertura de Bosque Secundario con Eucalipto				
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Myrtaceae	10.52	4.12	28.2
<i>Hedyosmum luteynii</i> Todzia	Chloranthaceae	5.90	2.48	17.0
<i>Indeterminada</i>	Indeterminada	5.72	1.78	12.2
<i>Critoniopsis floribunda</i> (Kunth) H. Rob.	Asteraceae	8.00	1.38	9.5
<i>Verbesina latisquama</i> S.F. Blake	Asteraceae	5.63	0.58	4.0
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	Myrtaceae	6.75	0.57	3.9
<i>Piper andreanum</i> C. DC.	Piperaceae	2.99	0.55	3.7
<i>Ocotea heterochroma</i> Mez & Sodiro	Lauraceae	6.50	0.47	3.3
<i>Escallonia myrtilloides</i> L. f.	Grossulariaceae	10.00	0.45	3.1
<i>Miconia bracteolata</i> (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	3.38	0.36	2.5



<i>Cestrum sp.</i>	Solanaceae	6.00	0.33	2.3
<i>Miconia pustulata</i> Naudin	Melastomataceae	7.25	0.31	2.1
<i>Miconia crocea</i> (Desr.) Naudin	Melastomataceae	9.00	0.26	1.8
<i>Oreopanax avicenniifolius</i> (Kunth) Decne. & Planch.	Araliaceae	5.00	0.17	1.2
<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	Myrsinaceae	8.50	0.17	1.1
<i>Solanum nutans</i> Ruiz & Pav.	Solanaceae	4.86	0.16	1.1
<i>Valeriana hirtella</i> Kunth	Valerianaceae	2.63	0.13	0.9
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Caprifoliaceae	6.50	0.07	0.5
<i>Barnadesia arborea</i> Kunth	Asteraceae	3.81	0.07	0.5
<i>Cestrum peruvianum</i> Willd. Ex Roem. & Schult	Solanaceae	4.50	0.08	0.5
<i>Myrica parvifolia</i> Benth	Myricaceae	5.00	0.06	0.4
<i>Weinmannia fagaroides</i> (Kunth)	Cunoniaceae	7.25	0.03	0.2
<i>Solanum sp.</i>	Solanaceae	8.50	0.01	0.1
Total general			14.59	100.0
Cobertura de Bosque Secundario con Pino				
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham	Pinaceae	17.70	33.02	92.8
<i>Weinmannia fagaroides</i> (Kunth)	Cunoniaceae	9.14	1.10	3.1
<i>Indeterminada</i>	Indeterminada	8.43	0.58	1.6
<i>Gynoxys</i> Cassini	Asteraceae	7.21	0.39	1.1
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Betulaceae	6.25	0.23	0.6
<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	Myrsinaceae	7.50	0.16	0.5
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam) R. Br.	Proteaceae	8.50	0.08	0.2
<i>Verbesina latisquama</i> S.F. Blake	Asteraceae	9.00	0.02	0.1
<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	Rubiaceae	3.00	0.01	0.0
Total general			35.59	100.0

G ha⁻¹: Área basal por hectárea; GR: área basal en porcentaje (%). Obtenido del proyecto: "Regeneración natural del bosque secundario altoandino bajo la influencia de diferentes tipos de



cobertura vegetal nativa y de plantaciones exóticas en el Parque Nacional El Cajas en la provincia del Azuay”

7.1.3. Producción por componentes de la hojarasca

En el caso de las fracciones (Figura 4), la que más contribuyó a la producción total fue la de las hojas. Para las coberturas de BM, BS y BSE las hojas de la especie dominante obtuvieron un $1243,9 \pm 447,57 \text{ kg ha}^{-1}$ (28 %); $1097,8 \pm 1378,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (30 %) y $644,7 \pm 75,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (18 %) de producción de biomasa, respectivamente. Las hojas de otras especies o especies secundarias aportaron con mayor biomasa en relación con las de la especie dominante con un $1867,7 \pm 270,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (42 %) en el BM; $1523,9 \pm 954,7 \text{ kg ha}^{-1}$ (41 %) para BS y $2203,9 \pm 382,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (62 %) para el BSE respectivamente.

Solo para el caso de la Cobertura de BSP la producción de biomasa de las hojas de las especies secundarias fue menor en relación con las otras coberturas con un $890,9 \pm 777,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (22 %), mientras que las hojas de la especie dominante alcanzaron $2419,1 \pm 885,6 \text{ kg ha}^{-1}$, correspondiente al mayor porcentaje de producción de biomasa (60 %) en comparación con las otras coberturas.

En cambio, la fracción que presentó menor porcentaje de aporte fue la corteza igualmente para la cobertura de BM (1 %), BS (1 %) y BSE (2 %). Para el BSP fueron los misceláneos los que tuvieron menor porcentaje (2 %). Las ramas de la cobertura del BM obtuvieron mayor producción de biomasa con $915,9 \pm 294,6 \text{ kg ha}^{-1}$, siguiéndole con un $838,3 \pm 424,1 \text{ kg ha}^{-1}$ para el BS, en el caso de la cobertura de BSE y la de BSP los valores fueron de un $633,5 \pm 170,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (18 %) y $279,5 \pm 217,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (7 %). Referente a las estructuras reproductivas la cobertura BSP fue la que obtuvo mayor producción de biomasa $429,7 \pm$

83,2 kg ha⁻¹ (11 %), seguida de la cobertura de BM con 310,8 ± 218,2 kg ha⁻¹ (7 %), y la de BS con 272,42 ± 145,28 kg ha⁻¹ (7 %) y la menor producción de 139,8 ± 37,7 kg ha⁻¹ (4 %) para la cobertura de BSE.

Los valores altos de desviaciones estándar para las fracciones como los órganos reproductivos y ramas se deben a la alta dispersión que existe en los datos (Anexo 1: Tabla 1).

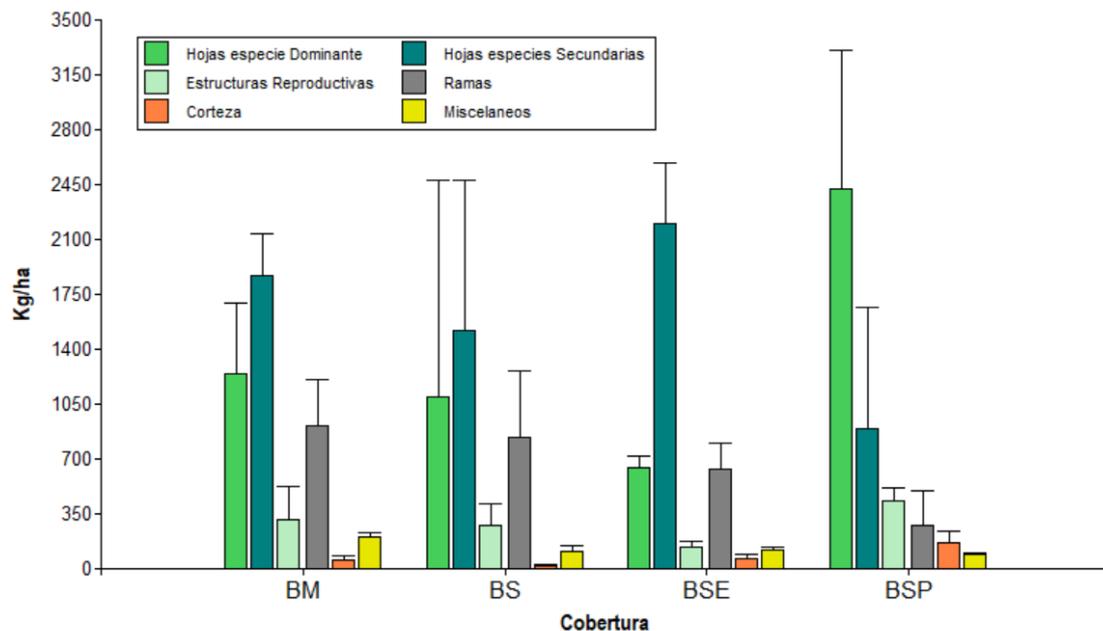


Figura 4 Diferencias entre la producción de cada una de las fracciones para los distintos tipos de Cobertura en (kg ha⁻¹), Bosque Maduro (BM), Bosque Secundario (BS), Bosque Secundario con Eucalipto (BSE), Bosque Secundario con Pino (BSP).

7.1.4. Influencia de la pendiente y la altitud en la acumulación de hojarasca

En las regresiones entre altitud con la producción de hojarasca de cada tipo de cobertura se pudo evidenciar que, para BM y BSP el coeficiente de correlación de Spearman ($p = 0,41$, $\rho = 0,6$) indica una relación positiva moderada entre las dos variables (Figura 5 y 8). En

la cobertura de BS, los valores bajos de $\rho = 0,2$ ($p = 0,91$), indica un bajo ajuste por lo que no hay asociación entre la producción de hojarasca y la altitud en este tipo de cobertura (Figura 6). Para la cobertura de BSE, se encontró un valor de $\rho = 0,8$ ($p = 0,33$) (Figuras: 14 y 15), que expresa una fuerte y positiva relación entre la producción de hojarasca de esta cobertura y la altitud (Figura 7).

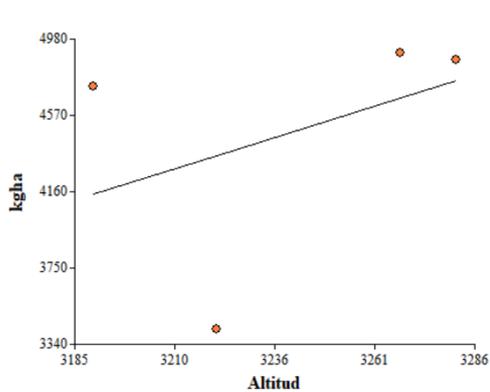


Figura 5 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque Secundario (BS).

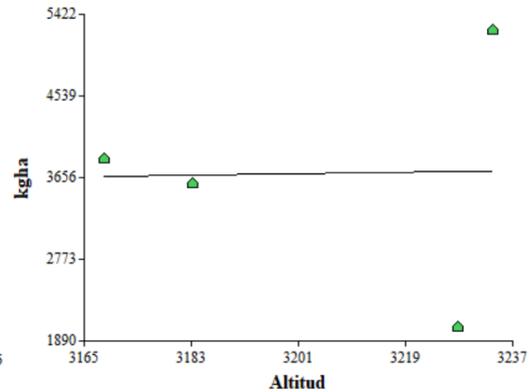


Figura 6 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque Secundario (BS).

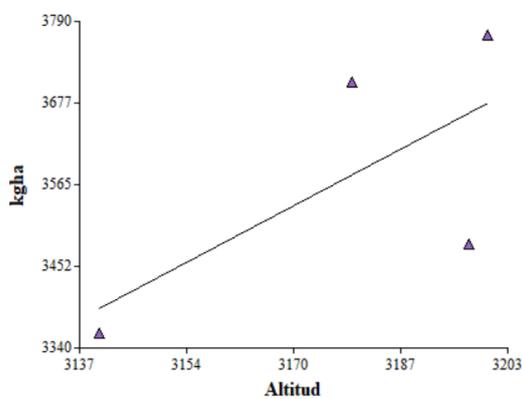


Figura 7 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque secundario con eucalipto (BSE).

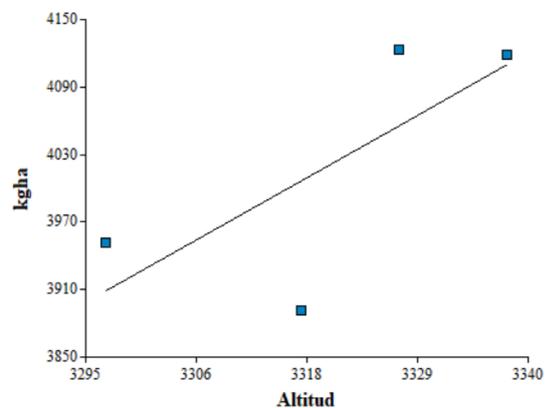


Figura 8 Relación entre la producción (kg ha^{-1}) y la altitud en la cobertura de Bosque Secundario con pino (BSP).

La relación entre la producción de hojarasca y la pendiente de la cobertura de BM fue negativa fuerte ($\rho = -0,8$; $p = 0,33$) indicando que a medida que aumenta la pendiente la producción de hojarasca en BM disminuye (Figura 9). La cobertura de BS presentó un valor de $\rho = 0,4$ y $p = 0,75$ el cual muestra un valor bajo de ajuste por lo que no hay una relación entre la producción de hojarasca y pendiente (Figura 10). Para el BSE se obtuvo un coeficiente de $0,8$ y $p = 0,33$ que muestra una relación positiva y fuerte entre la pendiente y la producción de hojarasca de esta cobertura (Figuras 11). La cobertura de BSP indicó un coeficiente de correlación de Spearman de 0 ; $p = 1$ lo cual significa que no existe una relación entre la producción de su hojarasca con la pendiente (Figura 12).

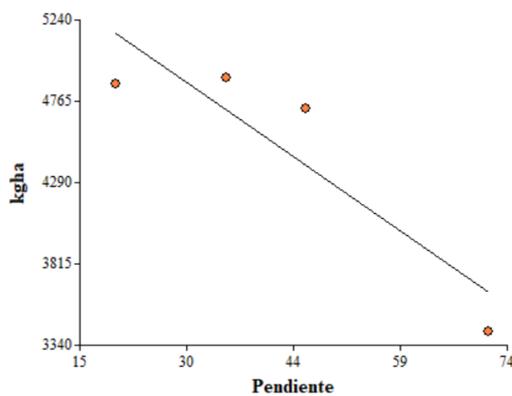


Figura 9 Relación entre la producción (kg ha⁻¹) y la pendiente en la cobertura de Bosque Maduro (BM).

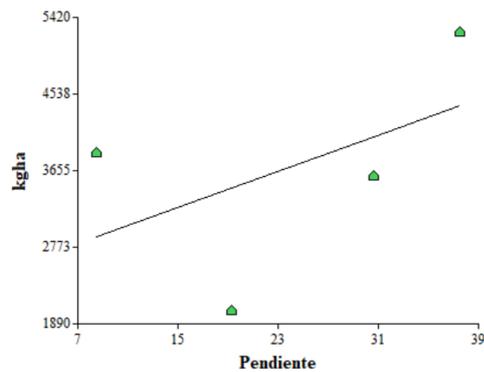


Figura 10 Relación entre la producción (kg ha⁻¹) y la pendiente en la cobertura de Bosque Secundario (BS).

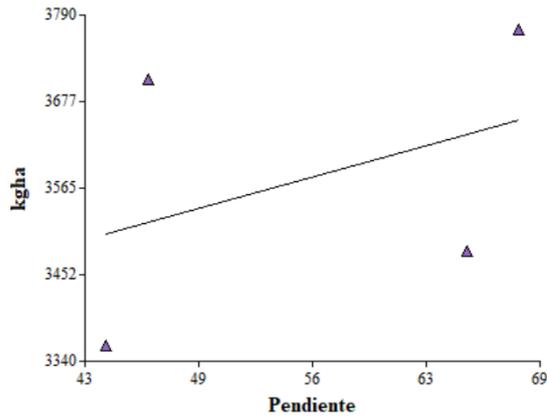


Figura 11 Relación entre la producción (kg ha⁻¹) y la pendiente en la cobertura de Bosque Secundario con eucalipto (BSE).

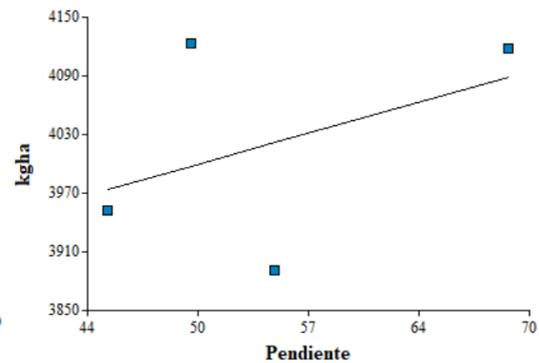


Figura 12 Relación entre la producción (kg ha⁻¹) y la pendiente en la cobertura de Bosque Secundario con pino (BSP).

7.2. Evaluación de la estacionalidad

7.2.1. Estacionalidad de la acumulación de hojarasca total

La producción hojarasca (kg ha⁻¹ mes⁻¹) durante el tiempo de estudio mostró estadísticamente diferencias entre meses (Kruskal Wallis, $p < 0,05$) para las coberturas de BSE y BSP (Tabla 2).

Tabla 2 Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis ($p < 0,05$) para determinar diferencias de producción de hojarasca por cada una de las coberturas entre meses durante en el periodo de estudio.

Prueba no parametrica Kruskal Wallis $p < 0,05$	
Cobertura	p
BM	0,05
BS	0,34
BSE	0,002
BSP	0,0005

La precipitación total en el año 2018 fue de 991,1 mm en la zona de estudio, dentro del periodo comprendido entre junio 2018 y enero 2019. Los meses de mayor precipitación fueron en noviembre y diciembre con 135 y 107 mm, respectivamente, el mes de octubre también presentó precipitaciones elevadas (68 mm) en comparación con los otros meses. Para el mes de septiembre que fue uno de los meses con menores precipitaciones (45 mm), se encontró la mayor la producción de hojarasca para las tres primeras coberturas. Para el BM 847,1 kg ha⁻¹ mes⁻¹, BS 896,2 kg ha⁻¹ mes⁻¹, BSE 725,1 kg ha⁻¹ mes⁻¹. Seguido del mes de octubre donde el BM obtuvo 782,0 kg ha⁻¹ mes⁻¹, BS 544,9 kg ha⁻¹ mes⁻¹ y BSE 566,6 kg ha⁻¹ mes⁻¹. En el caso del BSP los meses de mayor producción de hojarasca fueron octubre 871,3 kg ha⁻¹ mes⁻¹, noviembre 729,6 kg ha⁻¹ mes⁻¹ y diciembre 761,4 kg ha⁻¹ mes⁻¹. Para las coberturas de BM, BS y BSE el mes de diciembre presentó los valores más bajos de acumulación de hojarasca donde se obtuvo valores de 487,3 kg ha⁻¹ mes⁻¹, 357,8 kg ha⁻¹ mes⁻¹ y 389,9 kg ha⁻¹ mes⁻¹. Para el caso de la cobertura con pino los meses de menor producción de hojarasca fueron junio 297,6 kg ha⁻¹ mes⁻¹ y agosto 296,8 kg ha⁻¹ mes⁻¹, meses en donde se presentó las menores precipitaciones 30 y 45 mm (Figura 13).

La temperatura promedio anual para el año 2018 fue de 10.3 °C, los meses más fríos comprendidos entre junio a agosto presentó la menor producción de hojarasca en el BSP. En los meses entre septiembre y diciembre donde la temperatura promedio fue de 11 °C, donde la producción de hojarasca presentó los valores más altos (Figura 14).

Según el coeficiente de correlación de Spearman realizado entre la producción de hojarasca de cada cobertura con la precipitación y la temperatura para determinar asociación entre estas variables. Se encontró un alto coeficiente de correlación de la producción de hojarasca del BSP con la precipitación ($p = 0,03$; $\rho = 0,76$) y con la temperatura ($p = 0,004$; $\rho = 0,9$). Para las otras tres coberturas BM, BS y BSE no se encontraron diferencias significativas, ni valores del coeficiente de correlación de Spearman altos entre la producción de hojarasca y la precipitación y la temperatura (Tabla 3).

Tabla 3 Prueba del coeficiente de correlación de Spearman entre la producción de hojarasca de cada cobertura con la precipitación y la temperatura.

Prueba de coeficiente de correlación de Spearman		
	Precipitación	
	valor de p	rho
BM	0,32	-0,40
BS	0,66	-0,19
BSE	0,70	-0,16
BSP	0,03	0,76
Temperatura		
	valor de p	rho
BM	0,88	-0,07
BS	0,88	0,07
BSE	0,66	0,19
BSP	0,004	0,90

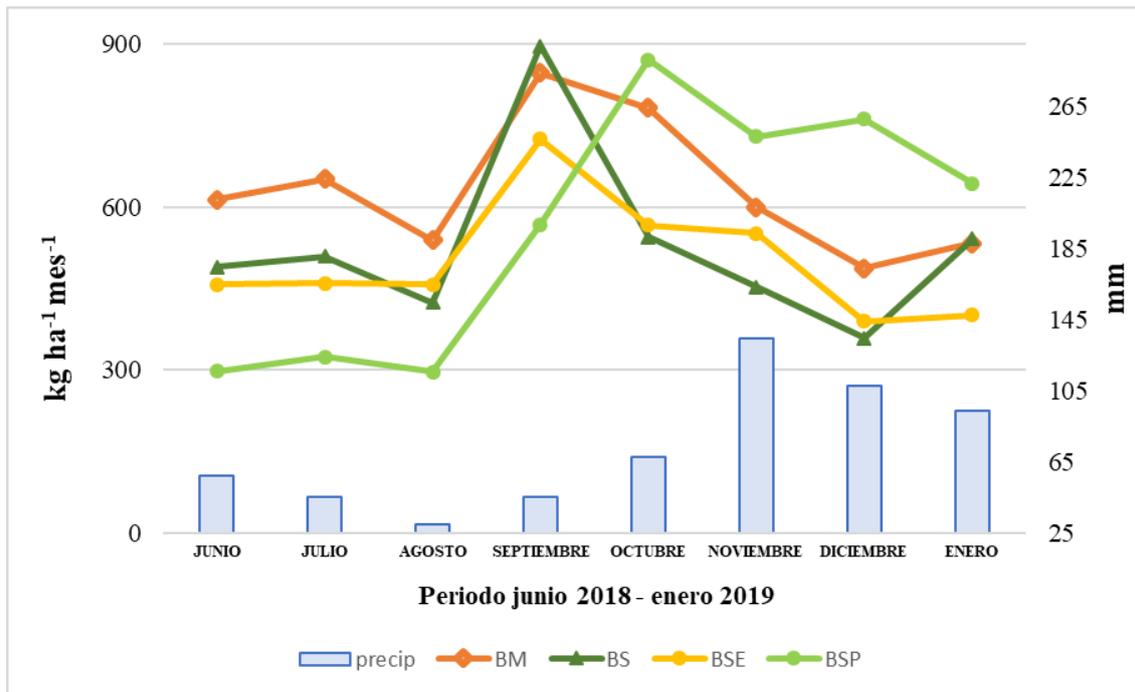


Figura 13 Relación entre la precipitación y la producción total mensual de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) para los 4 tipos de cobertura estudiados: Bosque Maduro (BM), Bosque Secundario (BS), Bosque Secundario con eucalipto (BSE) y Bosque Secundario con pino (BSP).

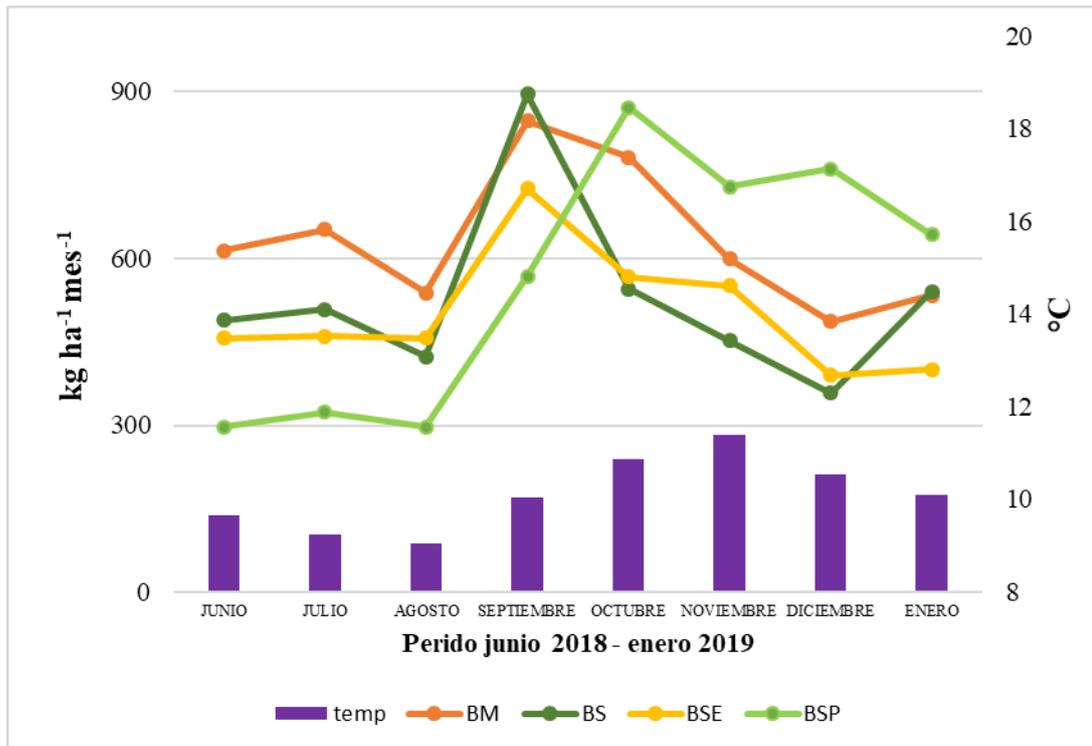


Figura 14 Relación entre la temperatura y la producción total mensual de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) para los 4 tipos de cobertura: Bosque Maduro (BM), Bosque Secundario (BS), Bosque Secundario con eucalipto (BSE) y Bosque Secundario con pino (BSP).

7.2.2. Estacionalidad de la acumulación de hojarasca por fracciones

No se encontraron diferencias en la producción de cada uno de los componentes de la hojarasca en los meses de estudio (Kruskal - Wallis $p > 0,99$) para los cuatro tipos de cobertura. Según el coeficiente de correlación de Spearman tampoco se observó ninguna asociación entre la producción de biomasa de cada fracción de hojarasca con la precipitación y la temperatura (Anexo 2, Tabla 6).

Para la cobertura BM las hojas de la especie dominante obtuvo los mayores valores de producción en los meses de septiembre con $215,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ y enero $264,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$. El mes con menor cantidad de biomasa de hojas de la especie dominante fue en noviembre

con $130,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. Las hojas de las especies secundarias también presentaron los valores más altos en los meses de septiembre con $350,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ y enero $328,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. Y el más bajo en el mes de noviembre $181,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. Los demás componentes no mostraron cambios marcados en la producción durante los meses de estudio (Figura 15).

Para la cobertura de BS, los picos de producción para hojas de especie dominante fueron en septiembre $213,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ y para las hojas de otras especies también en septiembre con $266 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ y diciembre $277,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ respectivamente. Para las ramas en el mes de diciembre presento mayor producción de biomasa $191,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. Los otros componentes igualmente presentaron valores similares de producción de biomasa durante el tiempo de estudio (Figura 16).

En la cobertura de BSE, las hojas de las especies secundarias obtuvieron la mayor producción en relación con las de la dominante (eucalipto) durante todos los meses y sus picos se concentraron en el mes de septiembre siendo para las hojas de la especie dominante $102,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ y para las hojas de las especies secundarias $364,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. Para las otras fracciones no se observó cambios notables en la producción durante el periodo de estudio (Figura 17).

Finalmente, para la cobertura BSP, las hojas de la especie dominante marcan el mayor porcentaje de biomasa producida en comparación con las demás fracciones. En este caso su mayor producción de biomasa se concentra desde el mes de septiembre $601,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ y luego se registró el valor más bajo para el mes de octubre $175,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. Para las hojas de especies secundarias solo se observó un ligero crecimiento de producción en el periodo de diciembre – enero $245,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. En el mes de agosto se notó que existe mayor acumulación de las estructuras reproductivas $202,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$. Las demás fracciones no mostraron mayores cambios (Figura 18).

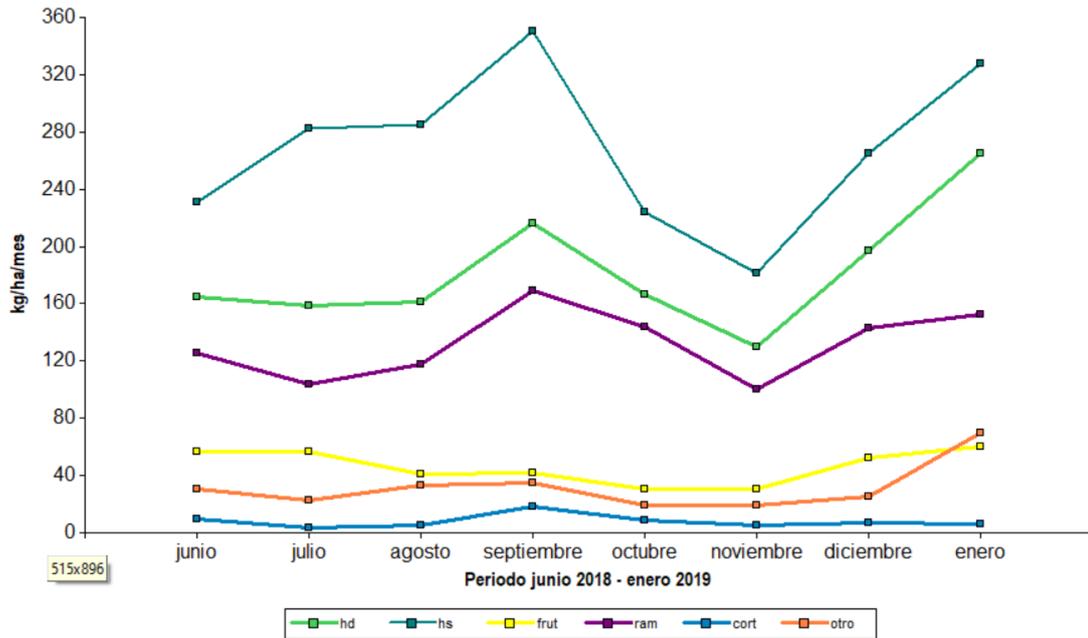


Figura 15 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque maduro: hd: hojas de la especie dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.

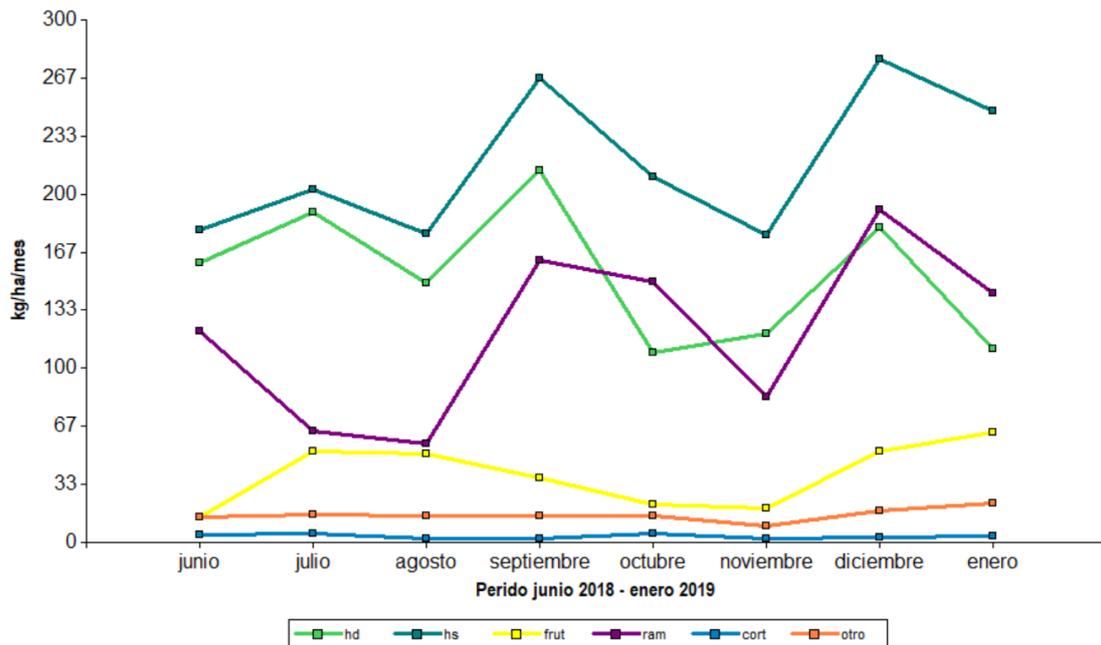


Figura 16 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque Secundario: hd: hojas de la especie dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.

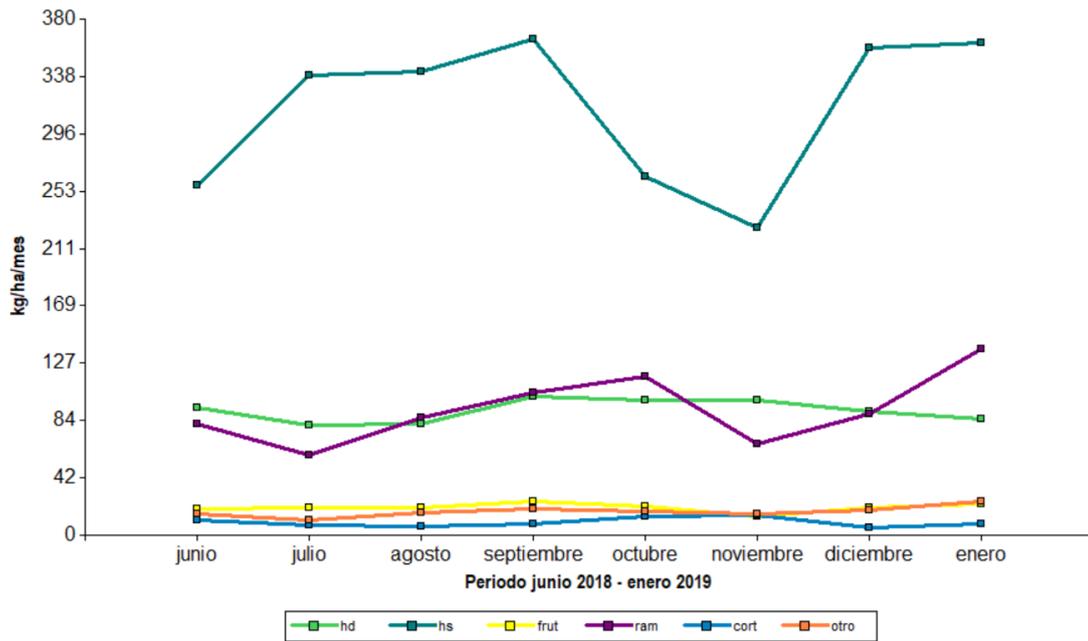


Figura 17 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque Secundario con Eucalipto: hd: hojas de la especie dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.

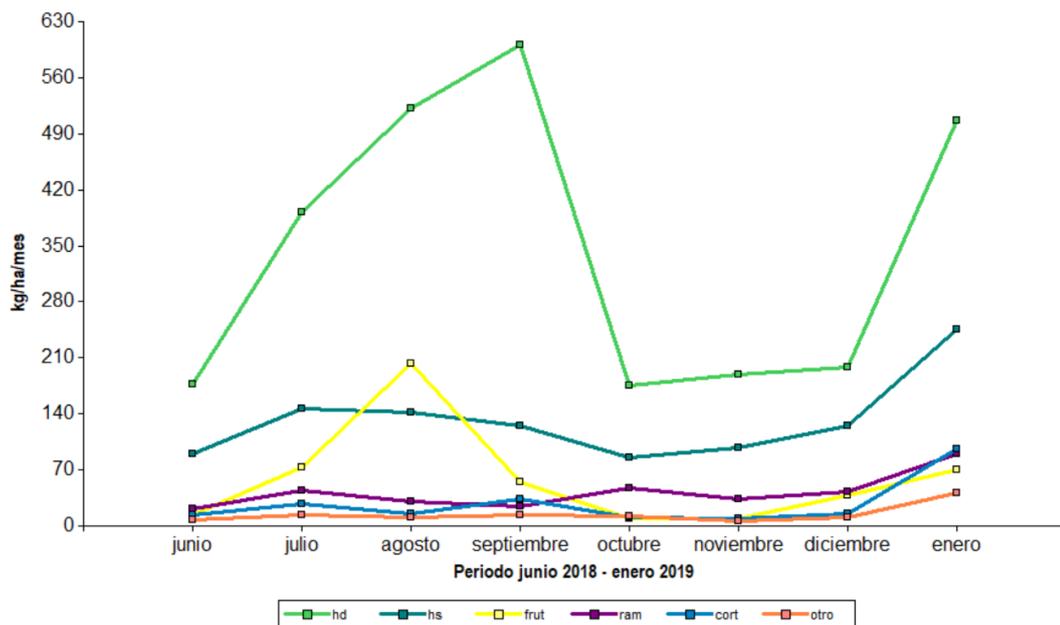


Figura 18 Producción en $\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ en el período de estudio, para cada una de las fracciones para la cobertura de Bosque Secundario con Pino: hd: hojas de la especie dominante, hs: hojas de las especies secundarias, frut: órganos reproductivos, ram: ramas, cort: corteza, otro: misceláneos.

8. DISCUSIÓN

8.1. Acumulación de Hojarasca

En el presente estudio se pudo evidenciar que la producción de hojarasca fue mayor en la cobertura de BM en comparación con las otras coberturas, ya que obtuvo un total de 4479,3 kg ha⁻¹ durante el periodo de estudio. Estudios específicos en este tipo de bosque son muy escasos. No obstante se destaca, el realizado por Vargas Parra y Varela (2007), en un bosque de niebla andino entre los 1300 y 2100 m.s.n.m.. Aquí se registraron productividades entre 5240 y 7320 kg ha⁻¹ año⁻¹, los cuales son similares a los de este trabajo si se extrapolaran los resultados obtenidos a un año. Este mismo autor menciona que estos resultados se encuentran dentro del rango de producción total de hojarasca encontrados en varios estudios realizados en bosques montanos.

En el caso del BS, la producción registrada de 3698,3 kg ha⁻¹ obtenida durante el periodo de 8 meses en esta investigación se encuentra en el rango de producción de 5100 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 14740 kg ha⁻¹ año⁻¹ reportado por Chave et al., (2010) para este tipo de cobertura. El valor de productividad para bosque secundario en el estudio de Chave alcanzó los 8100 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Para la cobertura de BSE, información de producción de hojarasca no ha sido reportada. Sin embargo, existen estudios para bosques plantados con eucalipto. Como la investigación en plantaciones comerciales de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake de distintas edades evaluadas durante un año (Hernández et al., 2017). Aquí se registró variaciones en la producción con respecto a la edad; y el promedio anual de producción de hojarasca estimado fue de 4068 a 5628 kg ha⁻¹ año⁻¹. Otro estudio que estimó el contenido de carbono en

plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Perú, obtuvo valores de 4990 kg ha⁻¹ de hojarasca para bosques en donde está presente esta especie (Gamarra, 2001). El resultado de 3578,6 kg ha⁻¹ encontrado en esta investigación durante los ocho meses y estimado a un año es mayor a los encontrados en estas investigaciones. El efecto contrario que se produce puede explicarse a que esta cobertura es una asociación de especies de bosque secundario con eucalipto, por lo que más especies aportan a la acumulación total de hojarasca en este tipo de cobertura.

La producción media de 4020,6 kg ha⁻¹, encontrada en la cobertura de BSP se asemeja a otros bosques de origen tropical con *Pinus patula*. Un ejemplo de ello es el realizado por Ramírez Correa et al., (2007) los cuales obtuvieron una producción de 7808.7 y 8916.2 kg ha⁻¹ año⁻¹ durante dos años. Otras investigaciones realizadas en cuantificación de hojarasca bajo plantaciones de pino en los Andes del sur de Ecuador (2209 y 2399 m.s.n.m.), muestran una producción mensual entre 1067 - 1907 kg ha⁻¹ (Quichimbo et al., 2016). Valores que varían posiblemente por el periodo de estudio, las características ambientales o la altitud que son diferentes entre los dos sitios de estudio.

En este estudio se encontraron diferencias en valores totales de acumulación de hojarasca por cada tipo de cobertura, pero según varios estudios mencionados anteriormente estas coberturas se pueden encontrar dentro de un mismo rango de producción. Estos resultados concuerdan con lo dicho por Pallardy (2008), quien menciona que la producción de hojarasca en bosques con especies latifoliadas y bosques con especies de coníferas en zonas templadas producen relativamente la misma cantidad de hojarasca por unidad de superficie. Aunque según Liu et al., (2004) los bosques con angiospermas producen mayor cantidad de hojarasca en todas las zonas climáticas en comparación con los bosques de coníferas debido a que estos bosques depositan mayor parte de su biomasa en las hojas.



Por otro lado, esta acumulación de hojarasca de los distintos tipos de ecosistemas está asociada con las diferencias en las tasas de ciclaje de nutrientes provenientes de la descomposición de la biomasa en el suelo. Esto implica que, los bosques con especies latifoliadas son los que contienen mayores concentraciones de nutrientes minerales y también la descomposición de esta hojarasca es más rápida que en los bosques con coníferas. Bajo estos antecedentes podríamos decir que las coberturas de BM y BS son más eficientes en el aporte de nutrientes por medio de la hojarasca al suelo en comparación con las coberturas de BSE y BSP.

Lo manifestado anteriormente con respecto a los aportes a la fertilidad del suelo se puede observar en el estudio realizado por Plaza, (2018) desarrollado en el mismo bosque de Llaviuco. En el cual encontró que la cobertura de bosque Maduro también posee los más altos niveles de capacidad intercambio catiónico $CIC = 16$ y elevada cantidad de $MO\% = 38$ con relación a las otras coberturas. En el mismo sitio de investigación, Cedillo y Jara (2019) muestran que la descomposición de la hojarasca de esta cobertura es moderada (30 a 40 % en 225 días) y afirman que; la abundante producción de hojarasca de esta cobertura podría contribuir con los porcentajes de MO y proveer de abundantes nutrimentos gracias a los elementos disponibles. En el caso del BS se observó un comportamiento similar al BM, comparando con estos dos trabajos.

En el caso de estas dos coberturas, BSE y BSP, la que está asociada con pino obtuvo mayor acumulación de hojarasca. Según Ribeiro et. al, (2007) sucede lo contrario en otros procesos como la descomposición y la formación de materia orgánica que se lleva a cabo a partir de la acumulación de la biomasa. Por lo que en su estudio señala que, la tasa de descomposición de las acículas es inferior a la de las hojas de eucalipto, esto atribuido a principalmente a los elevados contenidos de lignina en las acículas del pino. El conocimiento



de estos procesos se torna relevantes al momento de determinar la eficacia de uno de los dos ecosistemas.

Según Cedillo y Jara (2019), en su estudio realizado en la misma zona de estudio de este trabajo y en los mismos tipos de cobertura; reportaron que en el BSE la hojarasca producida era la que se descomponía con mayor rapidez en relación con las otras coberturas. Y que el BSP el que más lento descompone la biomasa depositada en el suelo. Además que es la cobertura que menos capacidad de intercambio catiónico presentó (Plaza, 2018). Con lo que podríamos decir, que, aunque la hojarasca de la cobertura con eucalipto se descompone en menor tiempo no es eficiente en acumulación de biomasa. Además, que la cobertura con pino posee alta acumulación de biomasa, pero no es eficaz en la descomposición, lo que podría hacer dificultosa la disponibilidad y aprovechamiento de nutrientes en el suelo.

8.2.Acumulación por componentes de hojarasca

Los resultados del presente estudio demuestran que el principal componente de la hojarasca son las hojas seguido por las ramas, órganos reproductivos, misceláneos y corteza. Esto coincide con estudios como el de Ramírez y Ataroff (2001) realizado en un bosque nublado y el de González y Rodríguez et al., (2013), en un matorral desértico micrófilo y a pesar de ser dos zonas completamente distintas.

En el estudio de Vargas y Varela (2007), se afirma que independientemente del tipo de cobertura de bosque siempre serán las hojas las que mayor contribuyen a la producción de hojarasca, debido a que ellas presentan entre el 30 y el 70 % del total de los nutrientes almacenados anualmente. Esto se debe a la alta demanda de nutrientes que tiene con respecto al resto de órganos del árbol (Piatek y Lee, 2000).



Muchos de los estudios como el reportado por Vargas y Varela (2007) analizan el porcentaje total de producción para el componente hojas. En el caso de la fracción hojas, de esta investigación se cuantificó por separado las hojas de la especie dominante y las hojas de las otras especies o especies secundarias. Por lo que si se toma en cuenta la producción total de hojas sin clasificaciones los resultados que se obtienen son comparables con el resto de los estudios en bosques montanos de Centro y Sudamérica.

Otro ejemplo, es la investigación realizada por McDonald y Healey (2000) en bosques secundarios de Jamaica. Donde sus resultados para el componente hojas en la acumulación de hojarasca fue de 6000 kg ha^{-1} que representaba el 86 % del total de biomasa, lo cual es mayor a $2621,6 \text{ kg ha}^{-1}$ correspondiente al total de hojas de especie dominante más las de las especies secundarias en la cobertura de BS obtenido en este estudio. Estos estudios difieren con esta investigación en la metodología para la clasificación de las muestras de hojarasca.

En el BSE el mayor aporte registrado de las hojas de especies secundarias con respecto a las de la especie dominante, posiblemente puede explicarse a la no existencia de efectos alelopáticos. Esto se puede evidenciar con la presencia de otras especies pertenecientes a la cobertura de bosque secundario creciendo conjuntamente con las plantas de eucalipto, lo cual no coincide con lo reportado por Cavelier et al., (2001) en donde el crecimiento de especies nativas es limitado por la presencia del eucalipto.

Según Brockerhoff (2008), los procesos sucesionales en plantaciones forestales puede variar respecto a la edad, condiciones o la estructura de la plantación haciendo posible la dispersión de semillas de bosques nativos vecinos. Por lo que el efecto de la composición y estructura que poseen los eucaliptos en la zona de este estudio, podrían estar permitiendo el crecimiento de otras especies debido a que el eucalipto posee una densidad arbórea baja por lo que podría existir mejores condiciones como luz y la humedad para el establecimiento de otras especies.

Los porcentajes obtenidos en la producción de biomasa de las fracciones en la cobertura de BSP son similares a los reportados por Malla (2016) en plantaciones de pino en el sur del Ecuador. Aquí se reporta valores del 72 % para acículas, 13.2 % frutos, 8.9 % ramas, 2.2 % corteza y 2.5 % para misceláneos u otros. El porcentaje menor de acículas que se da en este estudio en comparación con el de Malla (2016), puede explicarse probablemente a que esta especie posee una fenofase que utiliza como estrategia competitiva cuando pertenece a un ecosistema de composición mixta, en este caso en asocio con bosque secundario (Zapata, Ramirez, León, y Gonzalez, 2007).

8.3. Influencia de la altitud y la pendiente en la producción de hojarasca

La altitud influyó de manera positiva y fuerte la producción de hojarasca en la cobertura de BSE. En las de BM y BSP la dependencia de la producción hojarasca con la altitud fue menor. Y en el BS no se encontró una relación de dependencia entre las dos variables. Por lo que de manera general en el rango de este estudio de 3140 a 3338 msnm, se observó una relación lineal positiva entre la producción de hojarasca y la altitud. Estos resultados son diferentes a los descritos por Kitayama y Aiba, (2002) que menciona que la hojarasca total anual decrece linealmente con el incremento de la altitud. El cual analizaba la productividad de bosque lluviosos tropicales a lo largo de gradientes altitudinales.

Por otro lado un estudio realizado por Röderstein et al. (2005), en Bosques montanos tropicales del Ecuador, halló también una disminución en la cantidad de hojarasca a medida que la altitud aumentaba, pero también indicaba que en varios análisis similares de acumulación de hojarasca en bosques montanos tropicales de distintos países, no se muestran cambios significativos de acumulación de hojarasca entre los 1000 y 3060 msnm, con lo que

se puede entender y explicar que la relación entre la altitud y la producción de hojarasca de los datos encontrados en el presente no nos muestran una clara dependencia de la cantidad de hojarasca producida con la altitud, debido a que las altitudes a las que se encuentran las parcelas de este estudio se encuentran solo desde los 3140 a 3338 msnm.

En el caso de la relación entre la producción de hojarasca con la pendiente, el BM, según el coeficiente de Spearman, indica que a medida que aumenta la pendiente hay una disminución en la producción de hojarasca de esta cobertura. Estos resultados concuerdan con el estudio desarrollado por Röderstein et al. (2005) en donde la acumulación de la biomasa disminuía a la par con la productividad de las plantas a lo largo de la pendiente. Lo cual es contrario a lo encontrado en la cobertura de BSE que también mostro una relación fuerte pero positiva, la cual aumentaba la producción de hojarasca a medida que aumentaba la pendiente.

Las coberturas de BS y BSP no mostraron relación entre las dos variables. Lo que puede ser explicado, por los porcentajes de pendientes de las parcelas en estudio, ya que no poseen un amplio rango de diferencia, para poder apreciar de mejor manera el comportamiento, como si se observa en el bosque maduro.

8.4. Estacionalidad

La acumulación de hojarasca estuvo marcada por una estacionalidad a nivel de coberturas donde se observó un comportamiento similar entre las coberturas de BM y BS, las cuales no presentaron diferencias significativas de producción durante los meses de monitoreo a diferencia de las coberturas de BSE y BSP que si tuvieron.

Según los resultados, se observó que la producción de hojarasca para las coberturas de BM, BS y BSE fueron bajas en los meses con mayor precipitación y altas en los de menor lluvia. Liu et al., (2004), afirma que si las precipitaciones son bastante abundantes (en su estudio Precipitaciones > 2500 mm anuales), la caída de hojarasca puede disminuir debido a que los días se tornan nublados y hay menos radiación solar y se realiza menos fotosíntesis, dando como resultado baja productividad de hojas y con ello menor producción y caída de hojarasca dentro de los bosques.

En el caso de BSP, que presentó los valores más altos de producción de hojarasca en los meses con mayores precipitaciones y temperaturas; de acuerdo a Liu et al., (2004), ante un aumento de la temperatura y las precipitaciones, también el total de hojarasca puede aumentar, aunque esto se puede observar más en los bosques con especies de hoja ancha en comparación con los bosques de coníferas como el de pino. Un factor contribuyente a un aumento de la producción de hojarasca en los meses de mayor precipitación puede ser el efecto mecánico que ocasiona la lluvia acompañado además del viento (Sanches et al., 2003), por ejemplo, este último fue un factor significativo en la producción de hojarasca en un estudio realizado por Malla (2016) en una plantación de pino en el sur del Ecuador. Adicionalmente a la precipitación, el efecto de la temperatura también se vio marcado en la producción de la hojarasca.

Según Arenas (1995), citado en (Mosquera et al., 2007), los bosques montanos como se encuentran a elevaciones superiores a 1000 m, su temperatura es generalmente baja, como se demuestra en este estudio entre los meses de junio a agosto. Ellos afirman que esta característica puede constituir una limitante de la productividad de biomasa, ya que cuando las temperaturas bajan significativamente dan como resultando disminuciones en la caída de hojarasca. Aplicando esto a este estudio, la acumulación total de hojarasca disminuye en todos los tipos de cobertura durante esos meses de temperaturas más bajas. Pero si se toma

en cuenta la acumulación de cada fracción, específicamente a las hojas de la especie dominante, se pudo observar que, en las coberturas de BM, BS y BSE es baja en comparación al BSP que según la (Figura: 18) se observa que las bajas temperaturas provocan la caída y acumulación de más acículas (hojas de la especie dominante, pino).

A nivel de fracciones no se encontró diferencias significativas en la producción de hojarasca de cada cobertura durante todos los meses. Sin embargo, según las gráficas de tendencia se observó cambios de comportamiento en la producción de biomasa de hojas, ramas y estructuras reproductivas entre las coberturas. Estas pueden atribuirse a las diferencias estructurales dentro de cada parcela como la composición de las especies, pudiendo constituir en un factor determinante en la caída de biomasa. También puede influir la densidad de individuos y la fenología vegetativa y reproductiva de cada una de las especies haciendo que la producción de cada componente de hojarasca sea mayor en un periodo determinado y más bajo en otro (Vargas Parra y Varela, 2007).

Los órganos reproductivos en las Coberturas de BM y BS, no se encontraron diferencias temporales en la producción. Algunos mencionan que esto puede deberse a la fenología de las especies. En los bosques andinos, dependiendo de la especie, la producción de flores y frutos se da en períodos distintos y no de manera sincrónica en los individuos de la misma especie (Correa, 1999 citado en (González Rodríguez et al., 2013)).

En la cobertura de BSP se observó un pico en el mes de agosto en la acumulación de las estructuras reproductivas que se relaciona a lo encontrado por Amaya y Villegas, (2017), que evaluaron la producción de hojarasca en *Pinus patula* donde acumulación las estructuras reproductivas se dio mayormente en los meses de agosto a octubre.



9. CONCLUSIONES

De las cuatro coberturas estudiadas en el bosque montano de Llaviuco, se encontró diferencias en la producción total de hojarasca a nivel de coberturas con lo que se rechaza la hipótesis nula planteada. El BM constituido por las especies nativas fue el que más aportó con hojarasca. En segundo lugar, el BSP, siguiendo a este, la cobertura de BS y finalmente la cobertura de BSE.

En las coberturas de BM, BS y BSE la producción de biomasa de las hojas de la especie dominante fue menor en comparación con las hojas de las otras especies o especies secundarias. Y para el BSP la producción de las hojas dominantes fue mayor que las secundarias.

El componente de la hojarasca correspondiente a la corteza fue el que presento menor porcentaje de producción para BM, BS y BSE. Para BSP los misceláneos fueron los de menor producción de biomasa.

En el caso de la relación con la altitud no se pudo encontrar diferencias notorias en las coberturas de BM, BS y BSP, esto puede ser debido a que las parcelas se encontraban en un rango de 3140 a 3338 msnm. Sin embargo, para la cobertura de BSE sí se encontró una relación positiva entre su producción de hojarasca y la altitud.

En el caso de la pendiente, se determinó que la producción de hojarasca de BM disminuye cuando aumenta el valor de la pendiente y la producción de hojarasca de BSE aumenta cuando el porcentaje de pendiente aumenta.

La estacionalidad observada en la producción de hojarasca puede asumirse como reflejo de las variaciones climáticas influenciada por factores como precipitación y temperatura, las cuales tienen mayor influencia en la cobertura de BSP que en las otras coberturas. A pesar



de ello se observó diferencias de producción de hojarasca en los meses de estudio para BSE y BSP, con lo cual se rechaza la hipótesis nula.

Los valores más altos de producción mensual de hojarasca para BM, BS y BSE fueron en los meses de septiembre y octubre donde la precipitación fue baja; mientras que los más altos en el mes de diciembre donde hubo mayores precipitaciones. En tanto que, para el BSP los valores más altos de producción de hojarasca fueron en octubre seguido de noviembre y diciembre donde la precipitación obtuvo los valores más altos. Y la menor producción en los meses de más baja precipitación (junio y agosto). La producción de hojarasca fue mayor en los meses con más altas temperaturas.

En las fracciones o componentes de la hojarasca no se encontraron diferencias en cuanto a la producción mensual por lo que se afirma la hipótesis nula. Tampoco se encontró ninguna asociación entre la producción de biomasa de cada componente con la precipitación y la temperatura.

La cobertura con pino a pesar de tener alta acumulación del componente hojas de la hojarasca posee un proceso de descomposición menos eficiente que las otras coberturas. Por lo que no podrían estar contribuyendo al ciclaje de nutrientes en el suelo. La cobertura de BSE, que produjo la menor cantidad de hojarasca, posee niveles más altos de descomposición en relación a las otras coberturas.



10. RECOMENDACIONES

Se sugiere prolongar el estudio de la producción y variabilidad temporal de la hojarasca, ya que este trabajo incluyó una fracción del año.

Además, se recomienda realizar un análisis de producción de hojarasca, específicamente a nivel de la fracción hojas determinando la producción por especies o géneros.

Se recomienda realizar un estudio con los mismos tipos de coberturas, pero a distintos niveles de altitud para poder encontrar mejores diferencias.



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Amaya, C., & Villegas, B. (2017). *Evaluación de la Producción de hojarasca y del contenido de nutrientes en su fracción dominante en Pino (Pinus patula) y Aliso (Alnus acuminata) en el sur del Ecuador*. Universidad de Cuenca.
- Barlow, J., Gardner, T. A., Ferreira, L. V, & Peres, C. A. (2007). Litter fall and decomposition in primary , secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon, 247, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.017>
- Berg, B., & Laskowski, R. (2005). *Litter Decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. Advances in ECOLOGICAL RESEARCH. Ecology.* <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Brockhoff, E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., & Sayer, J. (2008). Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17(5), 925–951. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9380-x>
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1990). Tropical Secondary Forests. *Journal of Tropical Ecology*, 6(1), 1–32.
- Bruijnzeel, L. A., & Veneklaas, E. J. (1998). Climatic conditions and tropical, montane forest productivity: The fog has not lifted yet. The Structure and Functioning of Montane Tropical Forests: Control by Climate, Soils, and Disturbance. *Ecology*, 79(3), 3–9. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[0003:CCATMF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[0003:CCATMF]2.0.CO;2)
- Bussmann, R. W. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Comps. Rev. Peru. Biol*, 12(2), 203–216. Retrieved from <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/biologiaNEW.htm>
- Cavelier, J., Lizcaíno, D., & Pulido, M. T. (2001). Bosques Nublados del Neotrópico. In A. D. Brown & M. Kappelle (Eds.).



- Cavelier, J., & Santos, C. (1999). Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 775–784.
- Cedillo, C., & Jara, L. (2019). *Evaluación de la descomposición de biomasa foliar bajo diferentes tipos de cobertura forestal en un ecosistema altoandino al sur del Ecuador*. Universidad de Cuenca.
- CEPAL. (2012). *La economía del cambio climático en el Ecuador 2012*. Santiago de Chile.
- Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L. E. O. C., Bonal, D., ... Malhi, Y. (2010). Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences*, 7(1), 43–55. <https://doi.org/10.5194/bg-7-43-2010>
- Chazdon, R. L. (2003). Tropical forest recovery : legacies of human impact and natural disturbances, 6(Itto 2002), 51–71.
- Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, D. W., Chambers, J. Q., John, R., Ni, J., & Holland, E. (2001). Net Primary Production in Tropical Forests : An Evaluation and Synthesis of Existing Field Data. *Ecological Applications*, 11(2), 371–384. <https://doi.org/10.2307/3060895>
- 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.
- Cleveland, C. C., Townsend, A. R., Taylor, P., Alvarez-Clare, S., Bustamante, M. M. C., Chuyong, G., ... Wieder, W. R. (2011). Relationships among net primary productivity, nutrients and climate in tropical rain forest: A pan-tropical analysis. *Ecology Letters*, 14(9), 939–947. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01658.x>
- Craine, S. I., & Orians, C. M. (2004). Pitch pine (*Pinus rigida* Mill .) invasion of Cape Cod pond shores alters abiotic environment and inhibits indigenous herbaceous species, 116,



- 181–189. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00188-5)
- Crespo, A., & Pinos, N. (2007). *Determinación del Rango de Variación del Índice de Vegetación con Imágenes Satelitales en Parque Nacional Cajas*. Universidad del Azuay. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3281/1/10055.pdf>
- Doornbos, B. (2015). *El valor de los bosques andinos en asegurar agua y suelo en un contexto de creciente riesgo climático: ¿Reconocemos lo imperdible?* (Vol. 3). Peru.
- Fernández, J. M., García, E., López, R. J., & Luzardo, M. C. (1991). Aproximación a la estima de la biomasa y producción primaria neta aéreas en una estación de la Laurisilva tinerfeña. *VIERAEA*, 20, 11–20.
- Flores, H. A. (2016). *Dinámica poblacional de ectoparasitos en las especies de pequeños mamíferos terrestres en bosques montanos del Parque Nacional Cajas*. Universidad del Azuay.
- Gamarra, J. (2001). Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junin, Perú. *Ecotecnia Para El Desarrollo Sostenible Urbano Rural*, 1–21.
- Girardin, C. A. J., Malhi, Y., Aragão, L. E. O. C., Mamani, M., Huaraca Huasco, W., Durand, L., ... Whittaker, R. J. (2010). Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology*, 16(12), 3176–3192. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02235.x>
- González-Rodríguez, H., 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*, 19(2), 249–262. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.048>



- González, E. (2012). Seasonal patterns of litterfall in the floodplain forest of a large Mediterranean river. *Limnetica*, 31(1), 173–186.
- Hernández, A., Valdez, J., Ángeles-Pérez, G., De los Santos Posadas, H., Hernández, 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, 343–358.
- Hofstede, R., Lips, J., & Jongsma, W. (1998). *Geografía, Ecología y Forestación de la sierra alta del Ecuador* (Abya-Yala). Quito.
- Infostat. (2017). No Title. Grupo Infostat, FCA, Universidad de Córdoba. Retrieved from <https://www.infostat.com.ar/>
- Kitayama, K., & Aiba, S. I. (2002). Ecosystem Structure and Productivity of Tropical Rain Forests along Altitudinal Gradients with Contrasting Soil Phosphorus Pools on Mount Kinabalu , Borneo Author (s): Kanehiro Kitayama and Shin-Ichiro Aiba Published by : British Ecological Society Stab. *Journal of Ecology*, 90(1), 37–51.
- Liu, C., Wang, G. Z., Berg, B., Man, R., Westman, C. J., Ilvesniemi, H., & Kutsch, W. (2004). Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography*, 13(2), 105–114. <https://doi.org/10.1111/j.1466-882x.2004.00072.x>
- Lodge, D. J., Scatena, F. N., Asbury, C. E., & Sanchez, M. J. (1991). Fine Litterfall and Related Nutrient Inputs Resulting From Hurricane Hugo in Subtropical Wet and Lower Montane Rain Forests of Puerto Rico Authors (s): D . Jean Lodge , F . N . Scatena , C . E . Asbury and M . J . Sanchez Source : Biotropica , Vol . 23. *Biotropica*, 23(4), 336–342. <https://doi.org/10.2307/2388249>
- Malla Godoy, J. E. (2016). *Influencia del clima en la producción de hojarasca en una plantación de pino en el sur del Ecuador*. Universidad Técnica particular de Loja.



- McDonald, M. A., & Healey, J. R. (2000). Nutrient cycling in secondary forests in the Blue Mountains of Jamaica. *Forest Ecology and Management*, 139(1–3), 257–278. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00442-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00442-4)
- Meentemeyer, V., Box, E. O., & Thompson, R. (1982). World Patterns and Litter Amounts of Terrestrial Plant Production. *BioScience*, 32(2), 125–128. <https://doi.org/10.2307/1308565>
- Morán, Y., Portillo, M., Burbano, H., Vélez, J., Ruiz, H., & Navia, J. (2012). Efecto de la incorporación de hojarasca de especies arbóreas sobre el CO₂, pH y Fósforo en un suelo Vitric Haplustand. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 29(2), 16–25. Retrieved from <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/453>
- Morris, A. (1997). Afforestation Projects in highland Ecuador: Of success and failure, 17(1), 31–42.
- Mosquera, H., Ramos, Y. A., & Abadía 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*, (26), 28–41. <https://doi.org/10.18636/BIODESARROLLO.V26I1.464>
- Návar Cháidez, J. de J., & Jurado Ybarra, E. (2009). Productividad Foliar Y Radicular En Ecosistemas Forestales Del Noreste De México. *Revista Ciencia Forestal En México*, 34, 89–106.
- Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of Woody Plants. Physiology of Woody Plants*. <https://doi.org/10.1016/B978-012088765-1.50001-4>
- Piatek, K. B., & Lee Allen, H. (2000). Site preparation effects on foliar N and P use, retranslocation, and transfer to litter in 15-years old *Pinus taeda*. *Forest Ecology and Management*, 129(1–3), 143–152. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00150-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00150-4)
- Pitman, R., Bastrup-Birk, A., Breda, N., & Rautio, P. (2010). Manual on methods and criteria

- for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Part XIII. Sampling and Analysis of Litterfall. *UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre*, 16. Retrieved from <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
- Plaza, J. (2018). *Impacto del tipo de cobertura forestal sobre las propiedades edáficas en una zona de bosque montano en el Parque Nacional el Cajas , provincia del Azuay*. Universidad de Cuenca.
- Prause, J., Arce de Caram, G., & Angeloni, P. (2003). Variación mensual en el aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Húmedo (Argentina). *Quebracho*, 10, 39–45.
- Proaño, C., Moscoso, D., Rivera, J. P., & Loaiza, E. (2018). Actualización Del Plan De Manejo Del Parque Nacional Cajas. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/ACUERDO-001-ANEXO-PAQUE-NACIONAL-CAJAS.pdf>
- Quichimbo, P., Jiménez, L., Veintimilla, D., Potthast, K., Tischer, A., Günter, S., ... Hamer, U. (2019). Nutrient dynamics in an Andean forest region: a case study of exotic and native species plantations in southern Ecuador. *New Forests*, (123456789). <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09734-9>
- Quichimbo, P., Veintimilla, D., Carrión, Y., & Jiménez, L. (2016). Litterfall production under pine plantations in the southern Andes region of Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(3), 14–25.
- R. (2017). A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org/>.
- Ramírez, M. E., & Ataroff, M. (2001). Producción de hojarasca en una selva nublada andina: estacionalidad, descomposición y nitrógeno. *Memorias Del IV Simposio Internacional*



de Desarrollo Sustentable En Los Andes.

<https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e318260fe86>

Ramírez Correa, J. A., Zapata Duque, C. M., León Peláez, J. D., & González Hernández, M.

I. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*, 32(5), 303–311.

Regina, S. (1995). Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Béjar (Salamanca).

Retorno de bioelementos por medio del agua de lluvia. *Pirineos*, 145–146(0), 65–80.

<https://doi.org/10.3989/pirineos.1995.v145-146.147>

Ribeiro, C., Cortez, N., Martins, A., Azevedo, A., & Madeira, M. (2007). Decomposição de

agulhas de *Pinus pinaster* e de folhas de *Eucalyptus globulus* em regiões do interior e do litoral de Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, 30(2), 142–158.

Rincón, J., Merchán, D., Sparer, A., Rojas, D., & Zarate, E. (2017). Leaf-litter breakdown

as a tool to assess the functional integrity of high Andean streams of Southern Ecuador [La descomposición de la hojarasca como herramienta para evaluar la integridad funcional de ríos altoandinos del sur del Ecuador]. *Revista de Biología Tropical*, 65(1),

321–334. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1.23233>

Roderick, M. L., Farquhar, G. D., Berry, S. L., & Noble, I. R. (2001). On the direct effect of

clouds and atmospheric particles on the productivity and structure of vegetation.

Oecologia, 129(1), 21–30. <https://doi.org/10.1007/s004420100760>

Röderstein, M., Hertel, D., & Leuschner, C. (2005). Above- and below-ground litter

production in three tropical montane forests in southern Ecuador. *Journal of Tropical*

Ecology, 21(5), 483–492. <https://doi.org/10.1017/S026646740500249X>

Ryan, M. G. (1991). A simple method for estimating gross carbon budgets for vegetation in

forest ecosystems. *Tree Physiology*, 9(1–2), 255–266.

<https://doi.org/10.1093/treephys/9.1-2.255>



- Sanches, M., Prieto, D., Peral, F. C., Tamburi, C., Caseri, R., & Berazaín Iturralde, R. (2003). Producción de hojarasca en un bosque semidecicuo estacional de Sao Pedro, Poterendaba, esta do de Sao Paulo, Brasil. *Jardín Botánico Nacional*, 24, 173–176. Retrieved from https://www.jstor.org/stable/42597200?seq=1#page_scan_tab_contents
- Schlatter, J. E., Gerding, V., & Calderón, S. (2006). Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 27(2), 115–125. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002006000200006>
- SUIA. (2014). *Plan de manejo integral del Parque Nacional Cajas*.
- Valle, J. I. (2003). Cantidad, Calidad y Nutrientes Reciclados Por La Hojarasca Fina Del Pacífico Sur Colombiano. *Interciencia*, 28, 443–449.
- Vargas Parra, L., & Varela, A. (2007). Producción De Hojarasca De Un Bosque De Niebla En La Reseva Natural La Planada (Nariño, Colombia). *Universitas Scientiarum*, 12(1), 35–49.
- Velasco Linares, P., & Vargas, O. (2008). Problemática de los Bosques Altoandinos. In O. Vargas (Ed.), *Estrategias para la restauración ecologica de los bosques altoandinos* (2nd ed.). Universidad nacional de Colombia.
- Yepes, A. P., Valle, J. I., Jaramillo, S. L., & Orrego, S. A. (2010). Structural recovering in Andean successional forests from Porce Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce, (March).
- Zapata, C., Ramirez, J., León, J. D., & Gonzalez, M. I. (2007). Producción de Hojarasca fina en bosques alto Andinos de Antioquia, Colombia. *Facultad Nacional de Agronomía*, 60(1), 3771–3784.

11. ANEXOS

11.1. Anexo 1: Producción de hojarasca

Tabla 4 Producción total media de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y porcentaje para los 4 tipos de cobertura y para cada una de las fracciones.

	Cobertura de Bosque Maduro	Cobertura de Bosque Secundario	Cobertura de Bosque Secundario con Eucalipto	Cobertura de Bosque Secundario con Pino
H. Especie Dominante	1243,89 ± 447,57	1097,79 ± 1378,46	644,72 ± 75,89	2419,11 ± 885,59
%	28	30	18	60
H. Especies Secundarias	1867,74 ± 270,57	1523,86 ± 954,66	2203,92 ± 382,54	890,92 ± 777,19
%	42	41	62	22
Estructuras Reproductivas	310,80 ± 218,18	272,42 ± 145,28	139,81 ± 37,70	429,67 ± 83,2
%	7	7	4	11
Ramas	915,98 ± 294,55	838,28 ± 424,07	633,54 ± 170,53	279,47 ± 217,2
%	20	23	18	7
Corteza	56,73 ± 24,19	22,93 ± 4,43	65,85 ± 26,17	167,10 ± 73,77
%	1	1	2	4
Otros	205,46 ± 29,25	106,79 ± 44,37	118,19 ± 15,60	90,78 ± 7,29
%	5	3	3	2
Producción Total	4479,36 ± 709,83	3698,34 ± 1316,07	3578,61 ± 191,62	4020,68 ± 117,70

(promedio ± desviación estándar)

Tabla 5 Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis diferenciando la producción de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en los cuatro tipos de cobertura.

Prueba no parametrica Kruskal Wallis			
Cobertura	Medianas	Grupos	
BS	467,33	A	
BSE	472,95	A	
BSP	584,38	A	B
BM	613,25		B
chi-cuadrado = 9,25; df = 3 , probabilidad = 0,02608			

11.2. Anexo 2: Estacionalidad

Tabla 6 Coeficiente de correlación de Spearman para la producción de biomasa por componente de hojarasca con la precipitación y la temperatura.

Coeficiente de Correlación de Spearman					
Cobertura	Componente de hojarasca	Precipitación		Temperatura	
		valor de p	rho	valor de p	rho
BM	hd	0,79	0,11	0,84	0,09
	hs	0,19	-0,52	0,15	-0,57
	frut	0,79	-0,11	0,29	-0,42
	ram	1	0	0,84	0,09
	cort	1	0	0,84	0,09
	otro	0,38	-0,357	0,21	-0,5
BS	hd	0,32	-0,40	0,24	-0,47
	hs	0,75	0,14	0,75	0,14
	frut	0,97	0,02	0,7	-0,16
	ram	0,24	0,47	0,19	0,52
	cort	0,58	-0,23	0,66	-0,19
	otro	0,88	-0,07	0,61	-0,21
BSE	hd	0,29	0,42	0,11	0,61
	hs	0,58	-0,23	0,53	-0,26
	frut	0,53	-0,26	0,84	-0,09
	ram	0,66	0,19	0,50	0,28
	cort	0,38	0,35	0,17	0,54
	otro	0,50	0,28	0,46	0,30
BSP	hd	0,24	-0,47	0,19	-0,52
	hs	0,42	-0,33	0,21	-0,5
	frut	0,08	-0,66	0,02	-0,80
	ram	0,46	0,30	0,38	0,35
	cort	0,29	-0,42	0,19	-0,52
	otro	0,58	-0,23	0,66	-0,19



11.3. Anexo 3: Zona de estudio

Tabla 7 Coordenadas de las parcelas por cada tipo de cobertura.

Coordenadas		Sitio	Tipo de Cobertura	N° de Parcela	Abrevitura
X	Y				
706025	9685394	Llaviuco	Bosque maduro	1	BM
706279	9685289	Llaviuco	Bosque maduro	2	BM
706559	9686022	Llaviuco	Bosque maduro	3	BM
703199	9686026	Llaviuco	Bosque maduro	4	BM
706469	9685709	Llaviuco	Bosque secundario	1	BS
704380	9685567	Llaviuco	Bosque secundario	2	BS
703769	9685785	Llaviuco	Bosque secundario	3	BS
703570	9685854	Llaviuco	Bosque secundario	4	BS
705755	9685387	Llaviuco	Bosque secundario con eucalipto	1	BSE
705660	9685350	Llaviuco	Bosque secundario con eucalipto	2	BSE
705467	9685394	Llaviuco	Bosque secundario con eucalipto	3	BSE
705125	9685469	Llaviuco	Bosque secundario con eucalipto	4	BSE
706648	9685180	Llaviuco	Bosque secundario con pino	1	BSP
706773	9685146	Llaviuco	Bosque secundario con pino	2	BSP
706851	9685168	Llaviuco	Bosque secundario con pino	3	BSP
706907	9685163	Llaviuco	Bosque secundario con pino	4	BSP



Figura 19 Parcela de muestreo

11.4. Anexo 4: Metodología y diseño en el campo

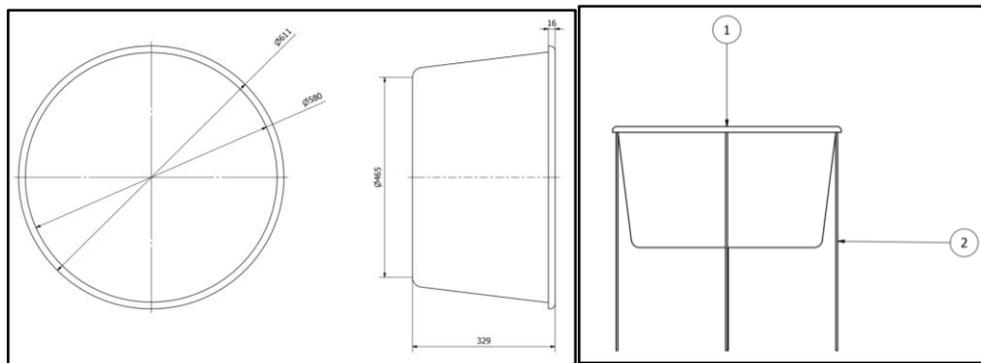


Figura 20 Trampas colectoras, Modelo para colector instalado; 1. colector, 2. varillas de sujeción.



Figura 21 Recolección hojarasca por medio de trampas.

11.5. Anexo 5: Metodología laboratorio

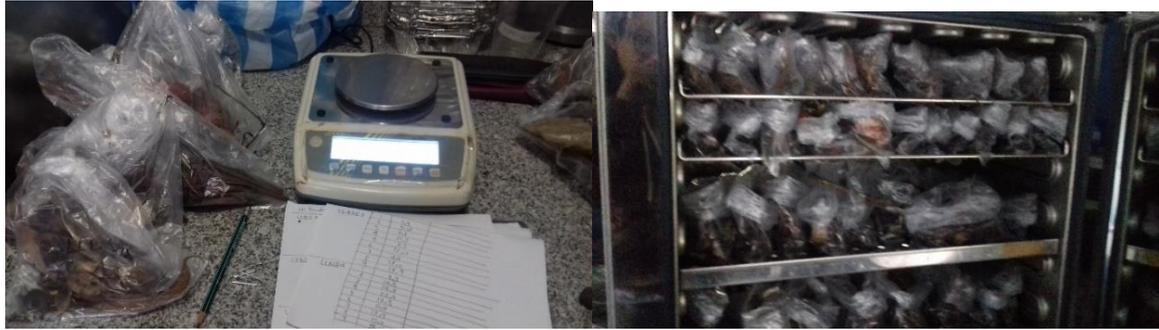


Figura 22 Pesado y secado de muestras húmedas.



Figura 23 Clasificación en de cada una de las fracciones de hojarasca.



Figura 24 Pesado biomasa seca de las hojas de la especie dominante.



Figura 25 Pesado de la biomasa seca de hojas de la especie secundaria.



Figura 26 Pesado de la biomasa seca de ramas.



Figura 27 Pesado de órganos reproductivos.



Figura 28 Pesado de misceláneos y corteza.