

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TÍTULO:

**“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”**

**TESÍS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

AUTORES: Christian Patricio Amaya Rodas.

CI: 0106834500

Bruno Enrique Villegas Lituma.

CI: 0105506638

DIRECTOR: Ing. Pablo Geovanny Quichimbo Miguitama. MSc.

CI: 0104750377

CUENCA – ECUADOR

2017



RESUMEN

El estudio del ciclaje de nutrientes a través de la caída de hojarasca representa una importante aproximación hacia la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas forestales. La hojarasca constituye la principal entrada de nutrientes al suelo en ambientes forestales. En este contexto, en dos plantaciones forestales de pino (*Pinus patula* Schldl.et Cham.) y en dos bosques nativos de aliso (*Alnus acuminata* Kunth.), localizados en la región sur de los Andes del Ecuador, se estimó la producción de hojarasca. Aquí se estudiaron los patrones temporales de producción, se evaluó el contenido de nutrientes de la fracción que más aporte a la biomasa general de la hojarasca producida. Para el efecto, este trabajo estudio trimestralmente durante un año la producción de hojarasca empleándose 16 trampas (0.09 m²), tanto para las plantaciones forestales como para los bosques nativos con el fin de recoger el material desprendido. Posteriormente se separó en fracciones y se realizó análisis químicos de su fracción dominante (hoja dominante). La producción promedio de hojarasca fue de 10800 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 7218 kg ha⁻¹ año⁻¹ en pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) respectivamente. El pico de mayor producción de hojarasca fue durante el periodo de agosto a octubre y el de menor producción fue de febrero a abril, para las plantaciones forestales y para los bosques nativos. La fracción dominante de la hojarasca correspondió a las hojas dominantes de cada especie, existiendo diferencias en la concentración de nutrientes, con mayores concentraciones en aliso (*A. acuminata*), lo que evidencia diferencias en la calidad química del componente foliar de la hojarasca entre una plantación forestal y un bosque nativo.

PALABRAS CLAVE: PRODUCCIÓN DE HOJARASCA, NUTRIENTES EN LA HOJARASCA, *Pinus patula*, *Alnus acuminata*.



ABSTRACT

The study of nutrient cycling through litterfall represents an important approach to understand the functioning of forest ecosystems. The litterfall is the main input of nutrients to the soil in forest environments. In this context, into two *Pinus patula* Schldl. et Cham. forest plantations and two native *Alnus acuminata* Kunth. forests, located in the southern Andes region of Ecuador, the production of litterfall. In here, was estimated, the temporal production patterns, were evaluated the nutrient content of the dominant fraction of the collected litterfall was evaluated. For this purpose, this work studied quarterly litterfall production using 16 traps (0.09 m²), both for forest plantations and for native forests in order to collect the forest material. Subsequently it was separation into fractions and chemical analyzes of its dominant fraction. The average litterfall production was 10800 kg ha⁻¹ year⁻¹ and 7218 kg ha⁻¹ year⁻¹ in pine (*P. patula*) and alder (*A. acuminata*) respectively. The peak of the greatest litter production was during the period from August to October and the lowest production was from February to April, for forest plantations and for native forests. The dominant fraction corresponded to the dominant leaves of each species, with differences in nutrient concentration, with a higher concentration in alder (*A. acuminata*), which shows differences in the chemical quality of the leaf component among forest plantations and native forests.

KEYWORDS: LITTER PRODUCTION, NUTRIENTS IN THE LITTER, *Pinus patula*, *Alnus acuminata*.



INDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INDICE	3
LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
DEDICATORIA	11
AGRADECIMIENTOS	12
CAPÍTULO I.....	13
INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Generalidades	13
1.2. Planteamiento del problema	15
1.3. Justificación e importancia.....	15
1.4. Objetivos.....	16
1.4.1. Objetivo general.....	16
1.4.2. Objetivos específicos.....	16
1.5. Preguntas de investigación.....	17
CAPÍTULO II.....	18
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. La hojarasca	18
2.2. Condicionantes en la producción de hojarasca	18
2.2.1 Clima	18
2.2.2 Suelo	19
2.2.3 Especies forestales.....	19
2.2.3.1 Pinus patula.....	20
2.2.3.2 Alnus acuminata.....	21
2.2.4 Estructura forestal.....	22
2.3 Otros factores	22
2.4 Estudios similares a diferentes escalas	23
2.5 Nutrientes en la hojarasca	23
CAPÍTULO III.....	26
MATERIALES Y MÉTODOS	26



3.1.	Área de estudio.....	26
3.2.	Métodos de campo.	26
3.3.	Métodos de laboratorio	28
3.3.1	Clasificación y estimación de la biomasa	28
3.3.2	Análisis del contenido de nutrientes	28
3.3.2.1.	Determinación de carbono	29
3.3.2.2.	Determinación de nitrógeno.	29
3.3.2.3.	Determinación de macro y micro nutrientes.	31
3.4.	Análisis estadístico	31
CAPÍTULO IV		33
RESULTADOS		33
4.1.	Estimación de la producción de hojarasca	33
4.2.	Patrones temporales de distribución.....	33
4.3.	Contenido de nutrientes.....	37
CAPÍTULO V		40
DISCUSIÓN.....		40
5.1.	Producción de hojarasca	40
5.2.	Patrones temporales de distribución.....	42
5.3.	Contenido de nutrientes.....	44
CAPÍTULO VI		47
CONCLUSIONES.....		47
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		48
ANEXOS		58



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción de hojarasca en $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1} \pm \text{DS}$ (desviación estándar) y porcentaje $\pm \text{DS}$ para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*). 33

Tabla 2. Comparaciones de la producción trimestral de la hojarasca para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) (Trimestres: a = noviembre-enero; b = febrero-abril; c = mayo-julio; d = agosto-octubre). 34

Tabla 3. Concentración de nutrientes en la fracción que más aporte a la biomasa total de la hojarasca (hoja dominante) para las especies bajo estudio. 37



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización del área de estudio. 27
- Figura 2. Diseño para la ubicación de las trampas de captura de hojarasca dentro de las parcelas de monitoreo (muestreo sistemático). 27
- Figura 3. Variación temporal trimestral de la producción total de hojarasca para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) (Trimestres: a = noviembre-enero; b = febrero-abril; c = mayo-julio; d = agosto-octubre). 35
- Figura 4. Variación temporal trimestral de la producción total de las diferentes fracciones de la hojarasca para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) (Trimestres: a = noviembre-enero; b = febrero-abril; c = mayo-julio; d = agosto-octubre). 36
- Figura 5. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) en la fracción que más aporta en la hojarasca en las dos masas forestales bajo estudio: promedio y errores estándar, letras indican diferencias significativas (Mann-Whitney, $p < 0.05$). 38
- Figura 6. Concentración de micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mn) en la fracción que más aporta en la hojarasca, en las dos masas forestales: promedio y errores estándar, letras indican diferencias significativas (Mann-Whitney, $p < 0.05$). 39



Clausula de derechos de autor

Yo, Christian Patricio Amaya Rodas, autor del Trabajo de Titulación **“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”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de título que Ingeniero Agrónomo. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Abril de 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christian Amaya Rodas', written over a horizontal line.

Christian Patricio Amaya Rodas

C.I: 0106834500



Clausula de derechos de autor

Yo, Bruno Enrique Villegas Lituma, autor del Trabajo de Titulación **“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”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de título que Ingeniero Agrónomo. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Abril de 2017

Bruno Enrique Villegas Lituma

C.I: 0105506638



Clausula de propiedad intelectual

Yo, Christian Patricio Amaya Rodas, autor del Trabajo de Titulación “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”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Abril de 2017

Christian Patricio Amaya Rodas

C.I: 0106834500



Clausula de propiedad intelectual

Yo, Bruno Enrique Villegas Lituma, autor del Trabajo de Titulación “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”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Abril de 2017

Bruno Enrique Villegas Lituma

C.I: 0105506638



DEDICATORIA

A Dios por darme y permitirme disfrutar de la vida día a día.

A mis padres, Manuel y Carmita, quienes fueron, son y serán el pilar fundamental en mi vida, quienes con su amor, consejos, apoyo, trabajo, sacrificio y humildad contribuyeron en la formación de mi persona y me permiten lograr esta meta a nivel estudiantil.

A mis hermanos, Alex y Boris, quienes a pesar de las peleas, diferencias y dificultades siempre estuvieron ahí apoyándome.

A Tatiana, quien con su amor me ayudo a seguir adelante y a no rendirme.

Christian Patricio

Esta investigación es dedicada a mis padres María y Enrique, quienes me dieron su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida, a ellos les debo todo y por intermedio de ellos he logrado una meta más en la universidad.

A mis hermanos Fernando y Carina por formar parte de mi vida, su amistad y su cariño sin límites.

A mi primo Rene por estar en los momentos que más lo hemos necesitado.

Bruno Enrique



AGRADECIMIENTOS

A nuestro director, Ing. Pablo Quichimbo Miguitama MSc., por su amistad, tiempo, ayuda y sus enseñanzas a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Luis Minchala, por su amistad, tiempo y ayuda al establecer el vínculo con la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP-QUITO), para poder realizar los análisis requeridos dentro de nuestra investigación.

Al Dr. Yamil Cartagena, director del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP-QUITO), quien nos facilitó el uso de las instalaciones y equipos del mismo, para realizar los análisis de nuestra investigación.

A Milton Ortega por su ayuda en la recolección de las muestras vegetales en la provincia de Loja y al Ing. Danny Farías por su capacitación en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP-QUITO); quienes mostraron su amistad y tiempo en el desarrollo de nuestra investigación.

Christian Patricio

Bruno Enrique



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Los andes tropicales, son considerados como uno de los lugares más biodiversos y endémicos a nivel del mundo (Myers et al. 2000). Es así que, los bosques montanos tropicales son reconocidos como los ecosistemas más diversos (Bussmann 2005). Este tipo de bosques, son de gran importancia por su alta diversidad de especies endémicas y por sus funciones ecológicas, como por ejemplo: la captación de agua y en el control de la erosión (Brown y Kappelle 2015).

Los bosques montanos tropicales muestran una gran sensibilidad a los cambios climáticos (Bush 2011), a la dinámica de cobertura y uso de la tierra (Cuesta et al. 2009). Así uno de los problemas que amenaza la sostenibilidad de estas áreas de bosques, es la deforestación, que a nivel mundial alcanzo una disminución de bosques anual neta de 3.3 millones de ha⁻¹ año⁻¹ entre 2010 y 2015, según la (FAO 2015); y según la misma publicación, en Ecuador la área deforestada fue de 47497 ha⁻¹ año⁻¹ entre 2008 y 2014.

Ante esto, en nuestro país la reforestación ha girado en torno a la introducción de especies exóticas especialmente de pino (*P. patula*), las cuales en un inicio fueron establecidas como una panacea ante los problemas de la deforestación (Aguirre et al. 2006). Esto debido al existir, pocos estudios que hayan evaluado científicamente estrategias o alternativas de reforestación, por lo que dan cuenta de menos ventajas (deposito natural de carbono que contribuye a reducir la cantidad del mismo en el aire) (Díaz-Franco et al. 2007); que desventajas (disminución de la fertilidad de los suelos, disminuye el rendimiento hídrico y alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo), lo que ha provocado problemas de índole ambiental y socioeconómico (Leischner y Bussmann 2003 Buytaert et al. 2007, Chacón et al. 2009, Crespo et al. 2010, Quichimbo et al. 2012).

Esto ha provocado la búsqueda de nuevos métodos de reforestación con especies nativas, encontrando al aliso (*A. acuminata*) como una solución (Becerra et al. 2005).



Ya que es considerada una especie potencial dentro de sistemas de producción mixta, como por ejemplo: sistemas agroforestales y mejorador de la fertilidad del suelo, lo que le ha constituido como nueva alternativa a los nuevos sistemas de reforestación convencional desarrollados en las últimas décadas en nuestro país (Dunn et al. 1990).

Ante esto, el estudio de los ciclos de nutrientes a través de la caída de hojarasca representa una importante aproximación hacia la comprensión de los ecosistemas forestales, dado que aquella constituye la principal entrada de nutrientes al suelo forestal (Zapata Duque et al. 2007; Zhou et al. 2007; Vasconcelos y Luizão 2015). En particular, la cantidad y calidad de la hojarasca influyen en el proceso de edafogénesis y en el mantenimiento de la fertilidad edáfica (Zapata Duque et al. 2007). Constituyendo una reserva de minerales y materia orgánica que influye en la dinámica del ciclo de nutrientes dentro de un ecosistema (Lopes et al. 2015). Es importante mencionar que la producción de hojarasca se ve afectada por factores como el clima, composición de especies arbóreas, estructura del bosque y la fertilidad del suelo (Becker et al. 2015).

Bajo estos antecedentes, este trabajo pretendió medir la producción de materia muerta en ambientes forestales que sería la formación de hojarasca que incluye hojas dominantes (hojas de las especies estudiadas), hojas secundarias (hojas diferentes a las de las especies estudiadas), estructuras reproductivas (flores, frutos y semillas), ramas, restos de corteza y misceláneos (otros) entre los elementos más importantes que han caído de los árboles, y la evaluación de la calidad nutricional de la fracción que más aporta a la biomasa total de la hojarasca.



1.2. Planteamiento del problema

La relevancia de los estudios en la producción primaria neta dentro de ambientes forestales corresponde a la fracción ligera de la biomasa aérea (hojarasca). Es un tema de interés en la actualidad, debido a que la información sobre la producción de biomasa y el contenido de nutrientes es un antecedente importante para comprender el impacto ecológico de la reforestación o aforestación. La misma que anualmente sigue creciendo, debido principalmente a la conversión de bosques a tierras agrícolas, especialmente en los trópicos (Günter et al. 2011).

La siembra deliberada de especies exóticas ha sido alentada lo largo de los trópicos (Evans 1992), con algunos propósitos como: el desarrollo rural (Franzel et al. 1996), producción industrial de madera, producción doméstica de madera, protección ambiental y en los últimos años, ha emergido un propósito adicional como es el secuestro de carbono por medio de plantaciones forestales (Günter et al. 2011).

De acuerdo a FACE (Forest Absorbing Carbon Dioxide Emissions) (2014), el pino tiene algunos impactos sobre el medio ambiente tales como: pérdida de biodiversidad, pérdida de paisaje, pérdida de cobertura vegetal y contaminación de las aguas superficiales / disminución de la calidad del agua.

En el Ecuador estas plantaciones exóticas han alcanzado extensas áreas especialmente en los andes, es así que, existen 22000 hectáreas de pino en los páramos ecuatorianos, así como en otras regiones (FACE (Forest Absorbing Carbon Dioxide Emissions) 2014). El Pino ha sido considerado en planes de reforestación o forestación por su rápido crecimiento y la facilidad con la que se propaga, además su uso ha sido fomentado por la falta de conocimiento acerca de la propagación y establecimiento de especies nativas (Ramírez et al. 2014).

1.3. Justificación e importancia

El ciclo de nutrientes en ambientes forestales está fuertemente condicionado a la caída de biomasa aérea, que permiten luego la liberación de nutrientes al suelo. En este sentido, la hojarasca constituye en uno de los insumos clave dentro de este ciclo y la importancia de su estudio radica en el conocimiento del aporte en cantidad y calidad dentro de plantaciones forestales exóticas o bosques nativos en los Andes.



Este trabajo de investigación compara entre una plantación forestal de pino (*P. patula*) con un bosque nativo de aliso (*A. acuminata*) en los Andes del sur del Ecuador. Para ello se analizó material proveniente del “PROYECTO TRANSFER: New forest for Ecuador” ejecutado dentro de la plataforma alemana de investigación que cuenta con áreas de monitoreo permanente (provincias de Loja y Zamora Chinchipe) para el estudio de la biomasa de la hojarasca. Los resultados de esta investigación aportarán al entendimiento sobre la cantidad y calidad de material que posteriormente se convertirá en suelo por procesos de pedogénesis. Esto a su vez influye en el crecimiento y desarrollo de la vegetación que crece sobre éste suelo. Así este conocimiento se constituye en un insumo necesario que contribuye al manejo sostenible de plantaciones y bosques en la región del Sur del Ecuador.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la producción de hojarasca y el contenido de nutrientes de la fracción dominante en plantaciones forestales de pino (*Pinus patula*) y en bosques nativos de aliso (*Alnus acuminata*) en el sur de los Andes del Ecuador.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estimar la producción anual de la biomasa de la hojarasca y sus fracciones: hojas dominantes, hojas secundarias, estructuras reproductivas (frutos, semilla y flores), ramas (< 2cm de diámetro), cortezas y misceláneos, en las plantaciones forestales y bosques nativos bajo estudio.
- Estudiar los patrones temporales de la distribución de la hojarasca y sus fracciones en las plantaciones forestales y bosques nativos bajo estudio.
- Evaluar el contenido de nutrientes de la fracción que más contribuye a la biomasa de la hojarasca, para las plantaciones forestales y bosques nativos bajo estudio.



1.5. Preguntas de investigación

Esta investigación está direccionada a responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la estimación de la biomasa de la hojarasca en pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) para un área forestal localizada en los Andes del sur del Ecuador?
- ¿Existen patrones temporales de la distribución de la producción de hojarasca en pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) para las zonas bajo estudio?
- ¿Cuál es el aporte de nutrientes por la fracción dominante de la hojarasca en las plantaciones forestales y bosques nativos bajo estudio?



CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. La hojarasca

Esta se compone de materiales provenientes de los estratos aéreos de la vegetación que se depositan sobre el suelo, incluyendo residuos orgánicos de plantas como: hojas, ramas, frutos e inflorescencias (Reyes Carrera et al. 2013). Al mismo tiempo está fuertemente correlacionada con el incremento de la biomasa, la densidad de árboles y la apertura del dosel (López Hernández et al. 2013). Por lo tanto la hojarasca es considerada como un parámetro clave en la medición, modelado y la predicción de la dinámica de los ecosistemas terrestres (ciclos biogeoquímicos) (Zhang et al. 2014).

2.2. Condicionantes en la producción de hojarasca

La hojarasca ha sido estudiada en las últimas décadas como una fuente importante reguladora de nutrientes y materia orgánica; no obstante la hojarasca varía considerablemente entre ecosistemas dependiendo de factores como: el clima, el suelo, especies forestales, estructura forestal y otros factores (Becker et al. 2015).

2.2.1 Clima

En diferentes bosques alrededor del mundo existen varios factores del clima que inciden en la producción de la hojarasca que han sido reportados por Weng et al. (2004), Pérez-Suárez et al. (2009) y Chave et al. (2009) los cuales muestran una relación entre la producción de hojarasca y las variables climáticas, principalmente con la temperatura y precipitación. Por otro lado, la acción físico-mecánica de los fuertes vientos provocan un aumento en la producción de hojarasca (Cuevas y Sajise, citado por Huber y Oyarzún 1983); a esto se adiciona lo dicho por Reyes Carrera et al. (2013) quienes describen la influencia de la humedad relativa en la deposición total de la hojarasca en un 62%; el efecto de los factores es muy variable y difiere entre ecosistemas forestales (Zhang et al. 2014).



2.2.2 Suelo

Según Box (1961) en su estudio señala que las propiedades físicas del suelo podrían influenciar el desarrollo de la vegetación y la producción de hojarasca. También un factor importante son las condiciones químicas del suelo (Lopez Hernandez et al. 2014). A esto se suma lo enunciado por Chave et al. (2009) quienes encontraron una correlación positiva entre la hojarasca total y la fertilidad del suelo, encontrando que en los suelos pobres la hojarasca es significativamente menor que en otros tipos de suelo.

2.2.3 Especies forestales

Algunas especies producen más hojarasca que otras según las características morfológicas y grupos funcionales, así estas especies pueden usar y procesar los nutrientes de forma diferente en términos de asimilación, reabsorción, almacenamiento y pérdida, afectando en última instancia la calidad de la hojarasca (González 2012).

Mantener, restaurar o incrementar la fertilidad del suelo y la producción de biomasa mediante la acumulación de materia orgánica en el suelo y el reciclaje de nutrientes, es factible mediante la implementación de prácticas de gestión a nivel de plantaciones forestales (Smith et al. 2015).

Un estudio llevado a cabo en el sur de los Andes de Ecuador (cerca de la Estación Científica San Francisco, provincia de Zamora Chinchipe), evidencian que plantaciones forestales de especies exóticas pueden llegar a transformarse en ambientes más funcionales y con mayor diversidad florística, mediante el enriquecimiento con especies forestales nativas, como: *A. acuminata*, *C. montana*, *H. americanus*, *T. chrysantha*, *C. officinalis*, *P. discolor*, *C. sp*; cuya biomasa mejoran la estructura del suelo (Aguirre et al. 2006).

Frente a esta potencialidad y debido a que la hojarasca es un mecanismo muy importante en el ciclo de nutrientes que determina la renovación y entrada de materia orgánica al suelo (Guerrero-Campo et al. 1998). Por lo que ha permitido conocer la importancia ecológica y económica de especies arbóreas nativas, entre ellas *A. acuminata*, cuyo excelente comportamiento como especie enriquecedora al



ser plantada en claros y bajo el dosel cerrado de plantaciones de *P. patula*, mostró tasas de sobrevivencia y crecimiento importante (Aguirre et al. 2006).

Además, el aliso (*A. acuminata*) al ser un catalizador para la restauración forestal por su capacidad de crear rápidamente condiciones favorables para el establecimiento de otras especies (Murcia 1997) dan cuenta de la importancia de esta especie en la región. Sin embargo, existe poca información relacionada con especies nativas y sobre su relación de crecimiento con el estado nutricional del sitio y del suelo (Bare y Ashton 2015).

2.2.3.1 *Pinus patula*

P. patula (pino) especie nativa de las zonas subtropicales de México; perteneciente a la familia Pinacea se desarrolla bien sobre suelos con acidez y buen suministro de humedad, por lo que esta especie puede alcanzar alturas de hasta 40 m, su tronco es erecto en forma cónica con una copa extendida con ramas largas y colgantes con un buen sistema radicular (Orwa et al. 2009). El rango altitudinal en los que se desarrolla de manera óptimamente va desde 1800 a 2800 m s.n.m., mientras que a mayores altitudes su crecimiento es menor; en Ecuador se han reportado ensayos a altitudes que van desde los 2500 a 4000 m s.n.m.(Ospina Penagos et al. 2011).

La siembra deliberada de esta especie exótica ha sido alentada a lo largo de los trópicos, la introducción de esta especie fue realizada para ayudar a mitigar la degradación del suelo y la erosión (Ramírez et al. 2014).

Sin embargo uno de los efectos negativos es su alto consumo de agua debido a su alta tasa de evapotranspiración (Crespo et al. 2010). También se ha reportado que las plantaciones del género *Pinus* no permiten la regeneración natural de especies nativas en densidades mayores de 1500 pinos/ha afectando así a la biodiversidad del lugar (localidad de Andalusia, sureste de España) (Gomez Aparicio et al. 2009). No obstante, una ventaja es que estos bosques son considerados como sumideros de carbono cuyas partículas son almacenadas en la biomasa de las plantas (Díaz Franco et al. 2007).



2.2.3.2 *Alnus acuminata*

A. acuminata (aliso) es la única especie de la familia Betulacea, presente en la región alto-aldina (hemisferio sur) (Aceñolaza y Gallardo Lancho 1994). Es un árbol relativamente extendido en el centro y norte de los Andes, y en Ecuador se lo encuentra entre los 1.200 y 3.400 m s.n.m. (Riofrío et al. 2015).

A. acuminata se desarrolla bien en condiciones de humedad y en suelos bien drenados, son árboles rectos y en su madurez llegan a alcanzar alturas mayores a 20 metros con una corona relativamente estrecha y abierta (Riofrío et al. 2015).

El *A. acuminata* es una especie de rápido crecimiento al tiempo que mejora la estructura del suelo y la fertilidad (Dunn et al. 1990), además de otros rasgos que han potenciado su uso en programas de reforestación para la protección de suelos de ladera y cuencas (Salazar-Ramirez et al. 2014). En los sistemas agroforestales, *Alnus acuminata* constituye una fuente de fertilización nitrogenada para el pasto, brinda sombra para el ganado y además ayuda a reducir la presión sobre la tala de nuevas áreas de bosque (Bare y Ashton 2015).

Un estudio realizado en la sierra sur del Ecuador, han encontrado que en determinadas condiciones esta especie alcanza tasas de crecimiento incluso mayores que especies exóticas como eucalipto (*E. sp*) y pino (*P. sp*) (Bare y Ashton 2015). Esto ha llevado a que *A. acuminata* sea ampliamente usado en sistemas de producción mixtos, en donde además los agricultores utilizan su madera como combustible, en la construcción, en cercas vivas, a más de usar varios productos secundarios de la madera (Dunn et al. 1990). Estudios han puesto de manifiesto el potencial de *A. acuminata* como especie enriquecedora de plantaciones forestales exóticas, presentando una alta tasa de supervivencia y evolución del crecimiento tanto bajo el dosel como en claros de estas plantaciones, aportando a la rehabilitación del funcionamiento de estos ecosistemas en términos de biodiversidad y funcionalidad (Aguirre y Weber 2007).



2.2.4 Estructura forestal

Existen características estructurales de las masas forestales que afectan la producción de hojarasca, como son la densidad, área basal, diámetro (diámetro a la altura del pecho), altura de los árboles, entre otras variables dasométricas, y que han sido abordados en varios estudios. Por ejemplo, López et al. (2013) reportó que la hojarasca está fuertemente correlacionada con el incremento de la biomasa, la densidad de árboles y la apertura del dosel.

Ovington, citado por Gonzalez y Gallardo (1982), indica que la producción de hojarasca o material vegetal es proporcional a la edad del bosque, así la hojarasca aumenta inicialmente y decrece paulatinamente conforme madura el bosque, en dicho momento la producción de hojarasca puede duplicar a la de su producción media de su ciclo.

Investigaciones en especies de árboles pioneros presentes en bosques de sucesión, encontraron una correlación significativa entre la producción anual de hojarasca y las variables: diámetro del tallo y ancho de la copa, acelerando el proceso de sucesión a través del ciclo de nutrientes y la acumulación de hojarasca, definiendo la importancia de su uso en planes de restauración forestal (Benvenuti-Ferreira et al. 2009). Mientras que Zapata Duque et al. (2007), encontraron que en plantaciones de especies exóticas existe una correlación lineal positiva entre la producción de hojarasca total y la biomasa del bosque.

2.3 Otros factores

Debido a que la predicción de los procesos forestales se requiere en una resolución más fina frente a los cambios globales, los efectos de la topografía son cada vez más importantes (Takyu et al. 2003). La producción de hojarasca también está relacionada con la posición topográfica y elevación, por ejemplo, Lu y Liu (2012) estudiaron la influencia de la elevación sobre la producción de hojarasca, encontrando que a mayor elevación, decrece la producción de hojarasca. Igualmente, Röderstein et al. (2005), estudió el efecto de la altitud en la parte oriental de los Andes ecuatorianos reportando también una disminución de la producción a medida que aumenta la altitud.



Otro factor importante que afecta la producción de la hojarasca es el sustrato geológico, como lo demuestra Takyu et al. (2003), quien en su estudio encontró variaciones en la magnitud de atributos funcionales (productividad primaria neta aérea y la tasa de descomposición) entre diferentes sustratos geológicos. Por otro lado, Quinto Mosquera et al. (2007) en su estudio señala que las características de la vegetación no muestran correlación con la producción de hojarasca, si no se debe más a la fenología de planta a lo largo de su desarrollo.

2.4 Estudios similares a diferentes escalas

Zhang et al. (2014) examinaron los patrones estacionales de la hojarasca en los principales tipos de bosques en todo el mundo, cuyos resultados sugieren que la hojarasca total anual varía significativamente según los bosques, con un rango de 3000 a 11000 kg ha⁻¹ año⁻¹. A nivel de Sudamérica, Ramírez-Correa et al. (2007), Chave et al. (2009) y Ramírez et al. 2014) en sus investigaciones en zonas tropicales reportaron una producción de 8362, 8610 y 7770 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente; mientras que, para zonas templadas Huber et al. (1964) en su investigación reportó una producción de 975 kg ha⁻¹ año⁻¹. A nivel de los Andes del Ecuador, Röderstein et al. (2005) y Quichimbo et al. (2016), en sus investigaciones reportaron una producción de 13260 Kg ha⁻¹ año⁻¹ y 16956 Kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente.

2.5 Nutrientes en la hojarasca

En el sistema suelo-planta, los nutrientes para las plantas se encuentran en un estado de transferencia continua y dinámica, en el que las plantas absorben los nutrientes del suelo y los utilizan para los procesos metabólicos y a su vez, las plantas devuelven los nutrientes al suelo en forma de hojarasca (Nair et al. 1999).

El ciclo de nutrientes es un proceso ecológico esencial para el funcionamiento de los ecosistemas forestales (Oziegbe et al. 2011). Su estudio a través de la recolección de hojarasca, representa una importante aproximación hacia la comprensión de estos ecosistemas (Zapata Duque et al. 2007). Donde la investigación de las fracciones no foliares, brinda información adicional valiosa y proporciona un análisis más comprensivo de la producción de residuos (Londe et al. 2016). Además, la



comparación de las concentraciones de nutrientes y las cantidades en la hojarasca sirven para inferir la tasa de reciclaje de nutrientes en los bosques (Oziegbe et al. 2011). Lo cual reflejaría la calidad del sitio y la conservación de nutrientes en el ecosistema (Lu y Liu 2012).

La abscisión de las estructuras vegetales que componen la hojarasca, representa la primera fase de los ciclos biogeoquímicos y retorno de nutrientes al suelo en ecosistemas forestales (Aceñalozza et al. 2006). Los procesos biogeoquímicos (carbono, nutrientes y agua) proporcionan a su vez importantes servicios de los ecosistemas como aprovisionamiento, regulación (descomposición de residuos, secuestro de carbono, regulación del clima, entre otros) y servicios de soporte (formación del suelo, ciclo de nutrientes, producción primaria, hábitat para la biodiversidad, etc.). Funciones que colectivamente confieren salud al suelo, permitiéndole generar nutrientes esenciales como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) que sustentan la producción de biomasa en el ecosistema forestal (Smith et al. 2015). Este proceso ayuda a mantener el stock y a regular el ciclo de nutrientes, siendo una de las principales vías de mejora de la fertilidad del suelo y cuyos beneficios sobre éste dependerán de la cantidad y el contenido de nutrientes de la biomasa incorporada (Nair et al. 1999).

El conocimiento de los flujos de nutrientes es fundamental para evaluar el estado funcional de los bosques (Terauda y Nikodemus 2006); por ejemplo Vitousek (2015) evaluó los patrones de los ciclos del nitrógeno, fósforo y calcio a través de la hojarasca, usando información publicada de 62 bosques de regiones tropicales.

En otro estudio llevado a cabo en Colombia, Ramírez et al. (2014), evaluaron la producción de hojarasca y la concentración de nutrientes en plantaciones de pino (*P. patula*) y ciprés (*C. lusitánica*) en comparación con un bosque montano de roble (*Q. humboldtii*), encontrándose que el retorno potencial de nutrientes al suelo fue significativamente mayor en este último que en las plantaciones de especies exóticas. Del mismo modo, una investigación en un bosque tropical montano al sur del Ecuador, determino la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la concentración de nutrientes a nivel foliar a diferentes altitudes. Encontrándose que la concentración de macronutrientes a nivel foliar para N, P, S y K y el stock total de nutrientes en la



capa orgánica para N, S y Mg, se vieron afectados negativamente por el incremento de la altitud ocasionando la reducción de sus niveles de concentración (Soethe et al. 2008).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

En base al monitoreo establecido por el grupo de suelos del proyecto: “TRANSFER: New Forest for Ecuador” (Günter et al. 2011), en el sur del Ecuador (Figura 1), se trabajó con datos provenientes de dos sitios denominados “Rumizhitana” y “Militares” localizados en el cantón Loja, en el sur de los Andes del Ecuador. Estos sitios fueron escogidos porque corresponden a zonas apareadas de pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) en donde el efecto de otros factores ambientales sobre la producción de la hojarasca son mínimos. Así por ejemplo: los suelos son Cambisoles (Alianza Jatun Sacha-CDC (Corporación Centro de Datos para la Conservación) 2003), la zona de vida de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge, 1971 corresponde a Bosque Montano Bajo (INERHI-PREDESUR-CONADE 1994), el clima según la clasificación de Köppen corresponde a clima húmedo temperado sin estación seca (INERHI-PREDESUR-CONADE 1994), y la geología está dada por la presencia de rocas sedimentarias del Paleozoico (Larrea et al. 1999)

3.2. Métodos de campo

En cada sitio (Rumizhitana y Militares) se instalaron dos parcelas correspondientes a plantaciones forestales de pino (*P. patula*) (de una edad superior a 15 años) y dos en bosques naturales de aliso (*A. acuminata*) (con una edad superior a 10 años), obteniendo cuatro parcelas para esta investigación. Estas parcelas tienen un área de 144 m² (12 m x 12 m), donde se instalaron 16 trampas de captura de hojarasca distribuidas en un arreglo sistemático por cada parcela las cuales tienen una área de captación de 0.09 m² (Figura 2). Los datos de captura de la hojarasca corresponden al período noviembre 2014 – octubre 2015; la frecuencia de muestreo fue trimestral.

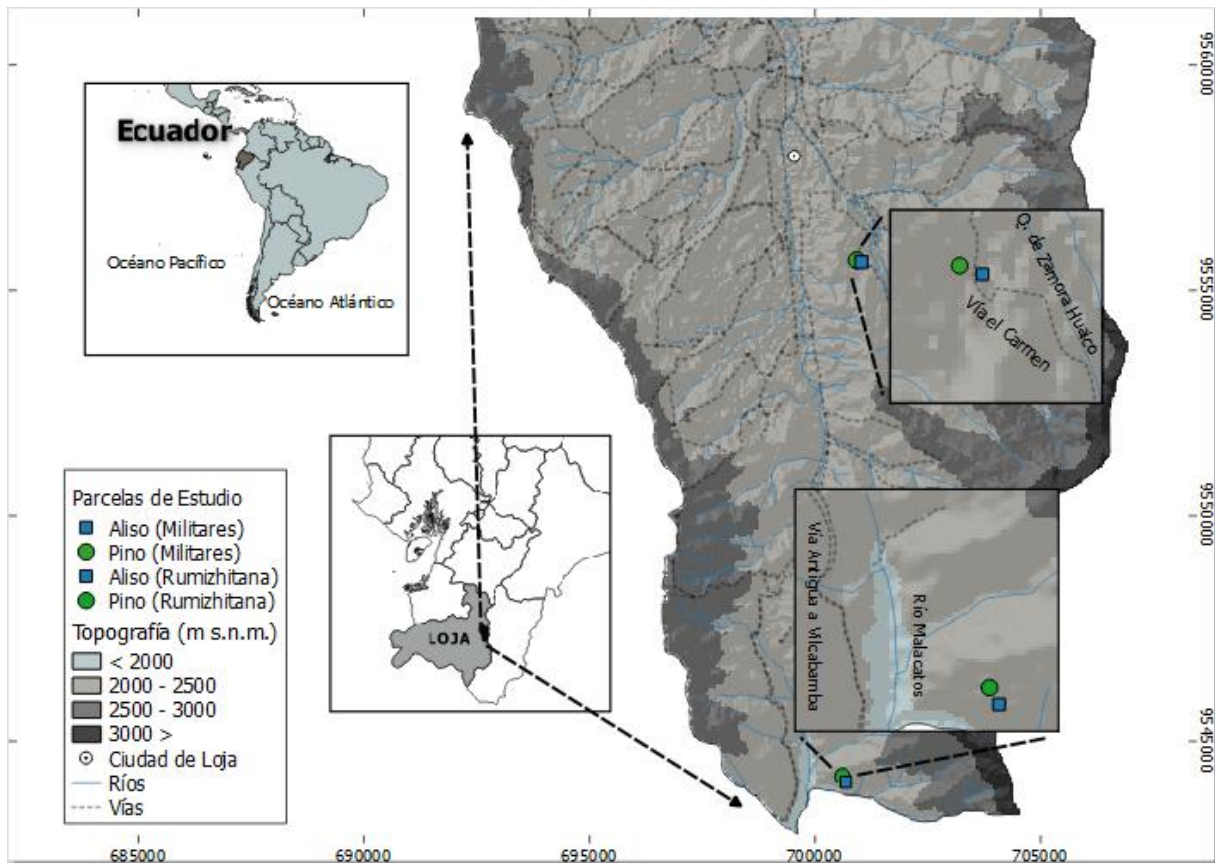


Figura 1. Localización del área de estudio.

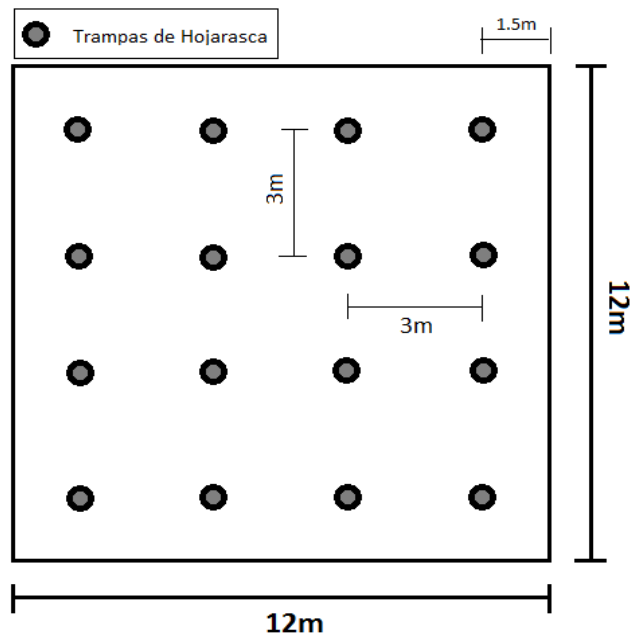


Figura 2. Diseño para la ubicación de las trampas de captura de hojarasca dentro de las parcelas de monitoreo (muestreo sistemático).



3.3. Métodos de laboratorio

Las muestras fueron colectadas en el campo en fundas plásticas y transportadas a los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) para su respectivo pesaje (muestras húmedas) y secado a 40 °C. Luego fueron llevadas a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca para su secado a 65 °C (Estufa Memmert UFE600, Germany) por 48 horas o hasta alcanzar su peso constante.

3.3.1 Clasificación y estimación de la biomasa

Las muestras fueron clasificadas en seis fracciones: hojas dominantes, hojas secundarias, estructuras reproductivas (frutos, semilla y flores), ramas (<2cm de diámetro), cortezas y misceláneos.

La estimación de la materia seca (MS) anual se calculó en kg ha⁻¹año⁻¹; para el cálculo se empleó la siguiente ecuación adaptada de Berg y Laskowski (2005):

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

Donde:

MS: materia seca por área y mes (kg ha⁻¹año⁻¹).

m1: peso del contenedor vacío más muestra seca (40 °C).

m0: peso del contenedor vacío (kg).

a: área de captación de la trampa (0.09 m²).

b: factor de transformación para la obtención de kg ha⁻¹ (10).

3.3.2 Análisis del contenido de nutrientes

La fracción que más contribuye a la biomasa total de la hojarasca se analizó químicamente para determinar su contenido nutricional mediante la determinación de los macronutrientes: C-N-P-K-Ca-Mg-S y micronutrientes: Fe-Cu-Mn-Zn-B. Las determinaciones químicas fueron desarrolladas en el laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP.



A continuación, se detallan los protocolos utilizados para los elementos analizados dentro del laboratorio:

3.3.2.1. Determinación de carbono.

Se pesaron 2 g de material vegetal seco, molido y tamizado en una malla # 40 (0.5 mm). Este material fue colocado en crisoles, para ser calcinados en una mufla (Thermolyne, Duduque III, U.S.A) durante 4 horas a 600 °C; finalmente se pesaron las cenizas restantes.

Para la determinación del carbono se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$C (\%) = (M.O * 0.58)$$

$$M.O (\%) = (100 - (100 * PMQ / PM))$$

Donde:

M.O: materia orgánica.

0.58: constante de conversión de acuerdo a la hipótesis de que la materia orgánica contiene el 58% de C en la generalidad de suelos encontrados en el Ecuador.

100: factor para convertir a porcentaje.

PMQ: peso de la muestra quemada.

PM: peso de la muestra.

3.3.2.2. Determinación de nitrógeno.

Se pesaron 0.1 g de material vegetal seco, molido y tamizado en una malla # 40 (0.5 mm) y se colocaron en tubos de ensayo. Se adicionaron 0.55 g de mezcla de catalizadores (sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de selenio en una cantidad de 400, 40 y 40 g respectivamente) y 1.5 cm⁻³ de ácido sulfúrico concentrado. Se procedió a calentar en la unidad digestora a temperatura media alta (175 °C) hasta que el digestado se torne claro. Se dejó ebulir la muestra por una hora a partir de ese momento, la temperatura debe regularse de modo que los vapores del ácido sulfúrico se condensen en el tercio inferior del cuello del tubo de



ensayo (450 °C). Una vez completada esta etapa se dejó enfriar los tubos de ensayo y se añadió suficiente agua destilada (15 – 20 cm⁻³) para colocar el digestado en suspensión. Se transfirió el digestado líquido a un tubo micro kjendahl en el cual se debe añadir 10 cm⁻³ de hidróxido de sodio (10 N). Hecho esto se coloca el tubo en la cámara del equipo destilador de nitrógeno (Unidad de Destilación Automática, Kjeltec 2200, Suecia) y en la salida del equipo de destilación se colocó un Erlenmeyer de 125 cm⁻³, el que contenía 10 cm⁻³ de solución de ácido bórico al 2% más la mezcla de indicadores (bromocresol y rojo metileno). Se programó al destilador de nitrógeno por un tiempo de 2 minutos en donde la muestra tiene una ebullición con el hidróxido de sodio liberando amonio el cual es atrapado en la solución de ácido bórico más los indicadores contenidos en el Erlenmeyer el cual cambia de un color rojo a un color verde indicando el término de la destilación. Finalmente, con la ayuda de una bureta graduada a 50 cm⁻³, se tituló el destilado con ácido sulfúrico estandarizado (0.05 N). El cambio de color de verde a rojo indica el punto final de la titulación.

Para el cálculo del nitrógeno total se utilizó la siguiente ecuación:

$$N (\%) = ((V_m - V_b) * N_o * 14) / (P * 10)$$

Donde:

V_m: volumen de ácido sulfúrico consumido en titular la muestra (cm⁻³).

V_b: volumen de ácido sulfúrico consumido en titular el blanco (0.1 cm⁻³).

N_o: normalidad exacta del ácido sulfúrico.

14: peso equivalente del nitrógeno.

P: peso de la muestra (g).

10: factor para convertir a porcentaje.



3.3.2.3. Determinación de macro y micro nutrientes.

Se pesaron 0.25 g de material vegetal seco, molido y tamizado en una malla # 40 (0.5 mm) en un erlenmeyer de 50 cm³. Luego se agregó 5 cm³ de una mezcla de ácido nítrico-perclórico relación 5:1. Posteriormente se colocaron los Erlenmeyer en la plancha de digestión, precalentada aproximadamente a 100 °C, se esperó 15 minutos y se elevó la temperatura a 200 °C hasta que los humos pardos del ácido nítrico se evaporen. El proceso de eliminación del ácido nítrico tomo un tiempo de entre 35 a 40 minutos. Luego de esto se aumentó la temperatura a 300 °C; después de 15 a 20 minutos se elevó a 400 °C y se observó el comienzo de la reacción del ácido perclórico. Esto se manifestó por la aparición de humos blancos y la reacción violenta del ácido. Se consideró completa a la digestión cuando dejó de existir la emisión de cualquier tipo de gases y que el digestado sea transparente. Se dejó enfriar las muestras por un tiempo de 20 a 30 minutos; luego se añadió 25 cm³ de agua desmineralizada con la cual se agito y posteriormente se filtró dichos digestados en frascos de 50 cm³. Finalmente usando los filtrados de la digestión húmeda se analizó con el equipo de espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP – AES, PerkinElmer Optima 5300 DV, USA).

3.4. Análisis estadístico

Las estimaciones de la hojarasca y de sus fracciones fueron expresadas por medio de estadísticos descriptivos basándose en medidas de tendencia central y de dispersión (promedios y desviación estándar, respectivamente). Los patrones temporales de la producción de hojarasca fueron evaluados por medio de la comparación en períodos trimestrales de la producción y para lo cual se aplicaron pruebas de ANOVA al 5% de significancia, con la prueba de Tukey como análisis Post-Hoc. Todas las pruebas antes mencionadas fueron aplicadas previo a la comprobación de la normalidad con el test de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$) y de la homocedasticidad por medio del test de Bartlett ($p < 0.05$). Para las variables que no cumplieron con la normalidad se aplicó la transformación de Box-cox.

Las comparaciones de la producción de hojarasca y contenidos de nutrientes entre las dos especies bajo estudio fueron analizadas por medio de la aplicación de prueba de U-Mann-Whitney ya que no se ajustaron a la distribución Gaussiana.



Todos los análisis fueron desarrollados con el uso del software R-Cran (R Development Core Team 2016).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Estimación de la producción de hojarasca

La producción promedio de hojarasca fue de 10800 kg ha⁻¹ año⁻¹ y 7218 kg ha⁻¹ año⁻¹ en pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) respectivamente, durante el periodo de estudio (noviembre 2014 - octubre 2015).

La fracción que más contribuyó a la producción total de hojarasca durante el periodo de estudio corresponde a la hoja dominante con un promedio de 66.47 % y 56.85 %, mientras que la fracción de misceláneos mostro los menores porcentajes de aporte total a la hojarasca, tanto en pino (*P. patula*) como en aliso (*A. acuminata*) (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de hojarasca en kg ha⁻¹ año⁻¹ ± DS (desviación estándar) y porcentaje ± DS para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*).

	Pino	Aliso
Hoja Dominante	7083.30 ± 529.30	3884.31 ± 233.39
%	66.47 ± 9.81	56.85 ± 13.55
Hoja Secundaria	229.30 ± 42.33	412.17 ± 48.07
%	2.05 ± 1.30	6.02 ± 2.67
Estructuras Reproductivas	1551.56 ± 213.69	1702.94 ± 415.60
%	14.58 ± 5.87	19.64 ± 14.51
Ramas	1265.86 ± 268.95	1139.29 ± 206.16
%	10.50 ± 6.93	15.90 ± 9.06
Cortezas	611.27 ± 58.22	54.00 ± 35.31
%	5.84 ± 2.54	1.17 ± 3.14
Misceláneos	59.46 ± 9.85	26.22 ± 9.81
%	0.56 ± 0.34	0.45 ± 0.86
Producción total	10800.73 ± 809.83	7218.91 ± 650.29

4.2. Patrones temporales de distribución

La producción trimestral total mostró diferencias significativas (ANOVA, $p = 0.0214$), correspondiendo la mayor producción al trimestre: agosto a octubre, alcanzando un valor promedio total de 2970 kg ha⁻¹ (Tukey al 5% de significancia (Tabla 2)). Por lo



contrario, la menor producción correspondió al segundo trimestre: febrero a abril con un promedio de 1600 kg ha⁻¹. Para todos los trimestres la producción de pino (*P. patula*) fue superior a la de aliso (*A. acuminata*), en promedio aproximadamente 1.5 veces mayor (Figura 3). Se pudo notar el predominio de las hojas dominantes y estructuras reproductivas como los mayores contribuyentes en todos los trimestres, siendo la contribución de las estructuras reproductivas mayor en los bosques nativos de aliso (*A. acuminata*) frente a las plantaciones forestales de pino (*P. patula*). Sin embargo, los patrones de distribución temporal fueron muy similares para ambas especies, coincidiendo los picos de producción de hojas y estructuras reproductivas en los mismos trimestres para ambas especies (Figura 4).

Tabla 2. Comparaciones de la producción trimestral de la hojarasca para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) (Trimestres: a = noviembre-enero; b = febrero-abril; c = mayo-julio; d = agosto-octubre).

Producción trimestral	
Trimestre	<i>p</i>
b - a	0.9829 (b)
c - a	0.1852 (b)
d - a	0.0789 (b)
c - b	0.1037 (b)
d - b	0.0424 (a)
d - c	0.9511 (b)

(): Indican diferencias significativas

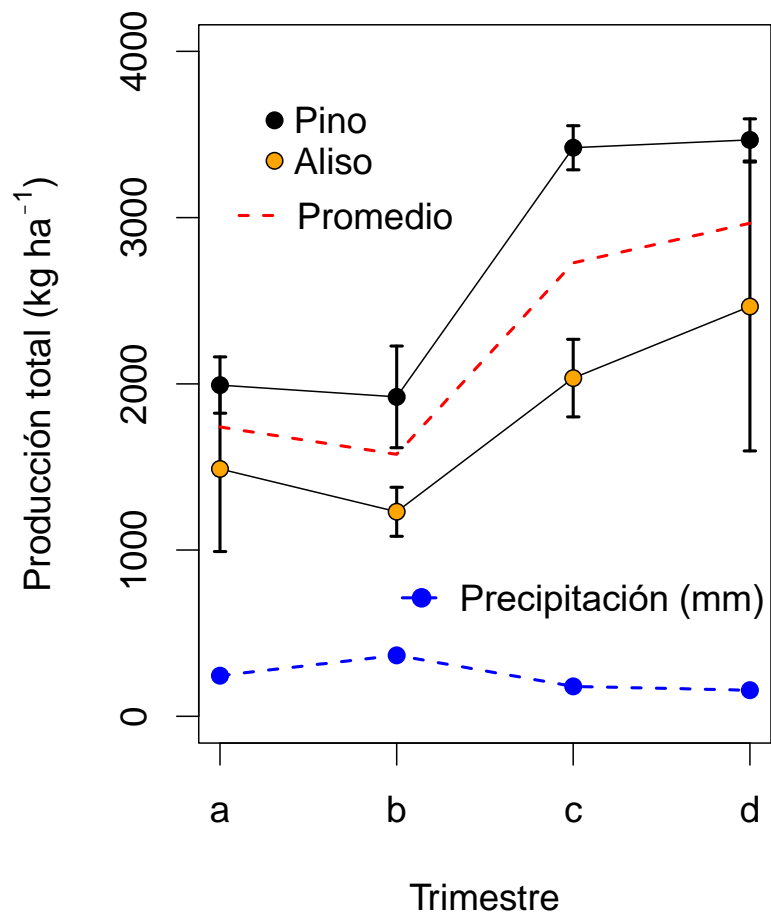
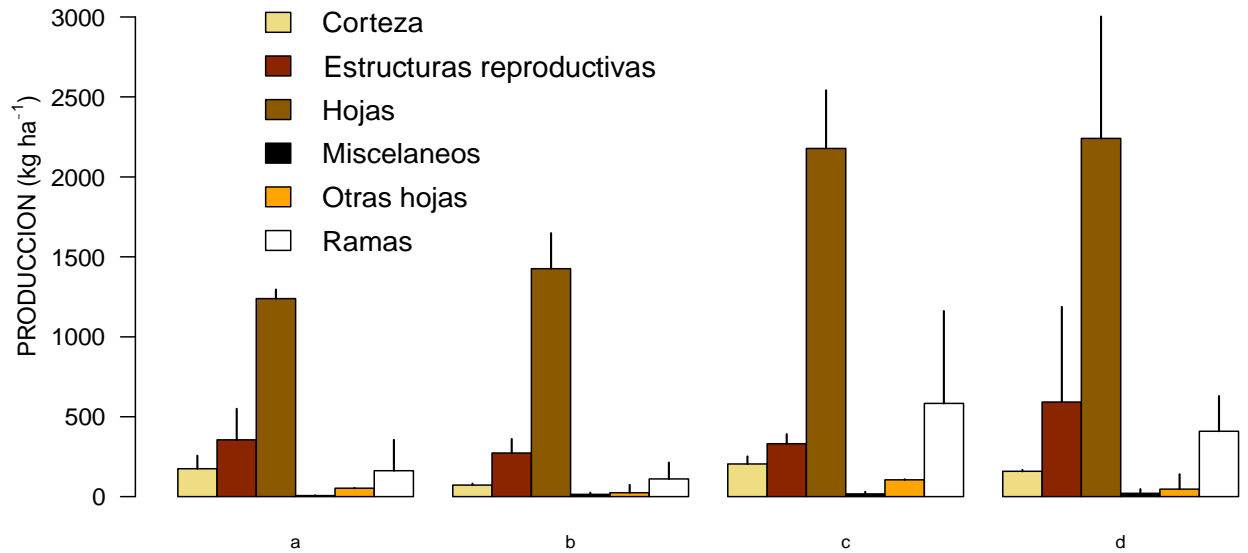


Figura 3. Variación temporal trimestral de la producción total de hojarasca para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) (Trimestres: a = noviembre-enero; b = febrero-abril; c = mayo-julio; d = agosto-octubre).



PINO



ALISO

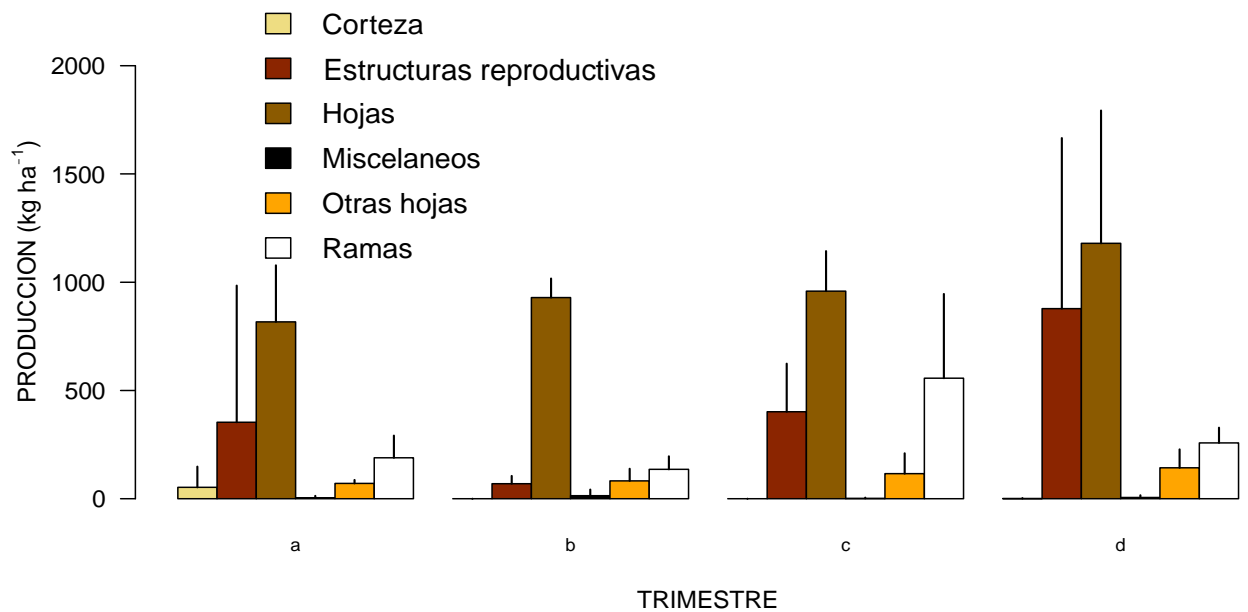


Figura 4. Variación temporal trimestral de la producción total de las diferentes fracciones de la hojarasca para pino (*P. patula*) y aliso (*A. acuminata*) (Trimestres: a = noviembre-enero; b = febrero-abril; c = mayo-julio; d = agosto-octubre).



4.3. Contenido de nutrientes

Dado que la fracción que más contribuyó a la biomasa general de la hojarasca, correspondió a la de hoja dominante, esta fue analizada químicamente para estudiar su concentración de nutrientes; (Ver Tabla 3).

El patrón de concentración de nutrientes contenida en la fracción dominante en pino (*P. patula*) fue de C>N>Ca>K>Mg>S>P (macronutrientes) y Mn>Fe>Zn>Cu>B (micronutrientes); mientras que para aliso (*A. acuminata*) fue C>N>K>Ca>Mg>P>S (macronutrientes) y Mn>Fe>Cu>Zn>B (micronutrientes).

Tabla 3. Concentración de nutrientes en la fracción que más apporto a la biomasa total de la hojarasca (hoja dominante) para las especies bajo estudio.

	Pino	Aliso
	%	
C/N	56.45	23.39
C	55.75	55.54
N	1.01	2.13
P	0.07	0.11
K	0.24	0.57
Ca	0.59	0.52
Mg	0.20	0.21
S	0.09	0.06
	Ppm	
B	1.71	8.97
Zn	27.18	28.71
Cu	4.82	117.17
Fe	284.11	402.77
Mn	902.58	443.97

La concentración de N, P y K, en la hoja dominante del aliso (*A. acuminata*) fue significativamente alta en comparación con la de pino (*P. patula*) (Mann-Whitney $p<0.05$); mientras que el C, Ca, Mg y S no mostraron diferencias significativas entre las dos especies estudiadas (Mann-Whitney $p>0.05$) (Figura 5).

En relación al contenido de los micronutrientes la concentración de Zn, Fe y Mn en la hoja dominante de las dos especies estudiadas no presentaron diferencias significativas, a excepción del B y Cu (Mann-Whitney, $p < 0.05$) (Figura 6).

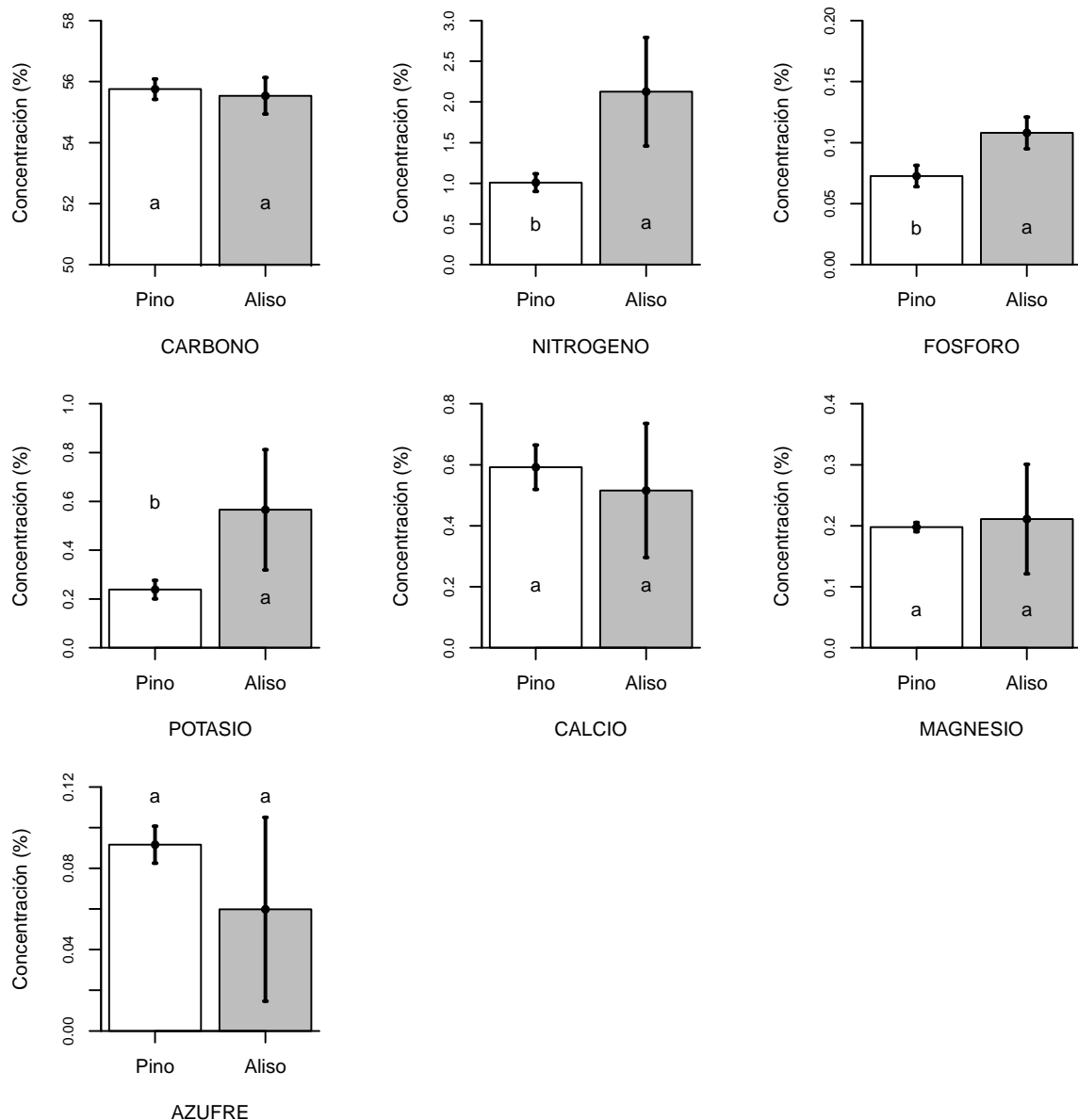


Figura 5. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) en la fracción que más aporta en la hojarasca en las dos masas forestales bajo estudio: promedio y errores estándar, letras indican diferencias significativas (Mann-Whitney, $p < 0.05$).

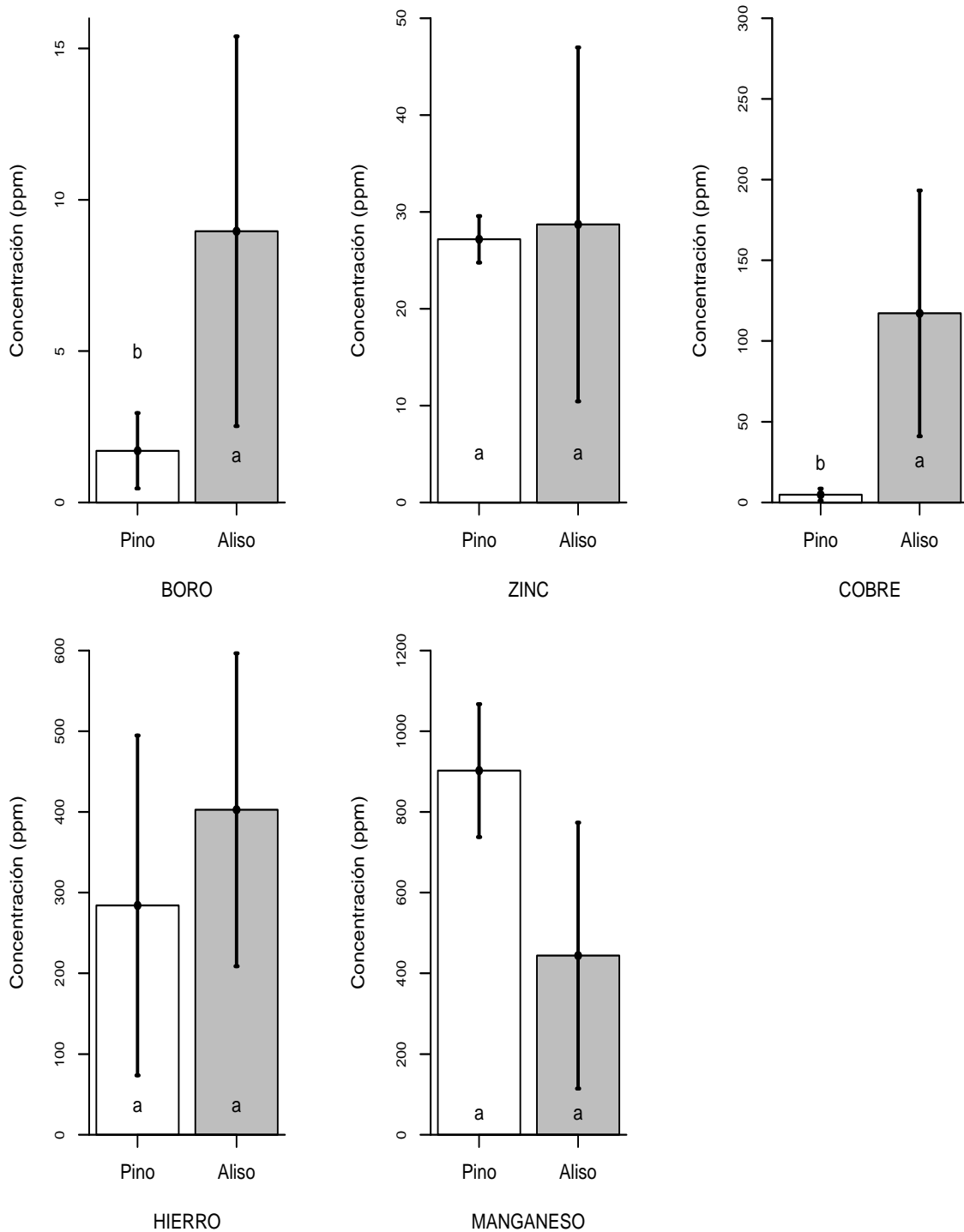


Figura 6. Concentración de micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mn) en la fracción que más aporta en la hojarasca, en las dos masas forestales: promedio y errores estándar, letras indican diferencias significativas (Mann-Whitney, $p < 0.05$).



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Producción de hojarasca

En función de los datos recolectados en este estudio que corresponden a pocas unidades experimentales para plantaciones forestales de *P. patula* y bosques nativos de *A. acuminata*, la tendencia es comparativo a lo reportado para sitios similares. En nuestro estudio se reportó una producción promedio de 9009 ± 807 kg ha⁻¹ año⁻¹ para las dos especies estudiadas, encontrándose en el rango de los valores reportados para las zonas tropicales que se caracterizan por su elevada producción que fácilmente sobrepasa los 10000 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Abelho 2001).

Está alta producción también se ha reportado para ecosistemas de montaña, como es el caso de los bosques montanos de los Andes, los cuales muestran una producción promedio de 7060 ± 3720 kg ha⁻¹ año⁻¹ Chave et al. (2009) y los valores reportados en esta investigación están dentro de tal promedio.

En relación a las diferencias encontradas entre las plantaciones forestales y los bosques nativos, los hallazgos de este estudio reportan una producción de *P. patula* 1.5 veces mayor que la de *A. acuminata*, los cuales son consistentes con los reportados por Bray y Gorham (1964) quienes en un estudio a nivel mundial sobre la producción de hojarasca, indicaron una mayor producción para las gimnospermas frente a las angiospermas.

Específicamente en bosques de coníferas como es el caso del pino (*P. patula*), los valores reportados en este estudio (10801 kg ha⁻¹ año⁻¹) estarían dentro de lo esperado para los trópicos. Esto se da ya que en la región tropical se han reportado valores altos de producción, por ejemplo Cuevas y Lugo (1998) reportaron valores sobre los 14000 kg ha⁻¹ año⁻¹ para una especie de pino (*P. caribaea*) en Costa Rica, mientras que, los valores más bajos de producción han sido reportados para las zonas boreales con una producción aproximada de 2240 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Liu et al. 2004)



Por otro lado, para bosques del género *Alnus* los valores más bajos de producción han sido reportados en las zonas templadas y boreales, con una producción promedio $4492 \pm 910 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Turner et al. 1976, Binkley et al. 1984, Rytter et al. 1989, Klopatek 2002, Wiedmer y Senn-irlet 2006, Hart et al. 2013, Tobita et al. 2013, Jonczak et al. 2016).

En tanto que, los valores más altos corresponden a bosques de zonas subtropicales y tropicales, con un promedio de $6259 \pm 2227 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Kikuzawa et al. 1984, Acuña et al. 2007, Sharma y Ambasht 1987), de manera que, los valores reportados en este estudio ($7219 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) estarían cercanos a tal producción. Sin embargo hay que resaltar que para las zonas andinas tropicales todavía no existe información reportada sobre esta especie y por lo tanto este sería el primer trabajo en reportarla.

Con relación al fraccionamiento de la hojarasca y su contribución con las diferentes fracciones a la biomasa total, los resultados dan cuenta el mayor aporte de la fracción foliar en ambas especies estudiadas (en promedio 62 %). Estos hallazgos han sido reportados también en varios estudios globales por Bray y Gorham (1964), Berg et al. (1999), Liu et al. (2004), Chave et al. (2009).

Sin embargo, Liu et al. (2004) en un estudio comparativo entre especies de hoja ancha y coníferas en Eurasia, reportaron que existe una mayor contribución de la fracción foliar en las especies de hoja ancha y estos es contrario a nuestros resultados, puesto que la contribución de esta fracción fue mayor para el *P. patula* y los resultados son consistentes con los de un estudio desarrollado en los trópicos de los Andes colombianos (Ramírez et al. 2014). Esto sería un indicador de que en las plantaciones de *Pinus* versus las de *Alnus*, estarían dominado los procesos de acumulación frente a los de descomposición.

En el caso de las “estructuras reproductivas” y “ramas”, estudios sobre sus aportes a la hojarasca son escasos para regiones tropicales y particularmente para el género *Alnus*, nuestros resultados son consistentes con aquellos, así por ejemplo el aporte de estas fracciones seguida del mayor aporte de las hojas dominantes, también han sido reportadas en México y Colombia, por Rocha Laredo y Macial (2009) y León et al. (2011) respectivamente. Para el caso del *Alnus*, Sharma y Ambasht (1987)



reportaron similar aporte de este grupo de fracciones para una especie del genero *Alnus* de una región cercana a los trópicos.

Por otro lado las “hojas secundarias” y “corteza”, no mostraron diferencias significativas entre las especies estudiadas. Sin embargo, el aporte de estos junto con el de misceláneos contabilizan aproximadamente el 10 % de la biomasa total de la hojarasca “hojas secundarias”, “corteza” y “misceláneos”. Así es notable el aporte de hojas secundarias en los bosques nativos *A. acuminata*, que equivale a un 6 % del aporte al total de la biomasa frente al 2 % que representa al aporte de las hojas de otras especies (hojas secundarias) en las plantaciones de *P. patula*.

Esto indicara la mayor diversidad forestal que sostendrían los bosques nativos *A. acuminata* frente a las plantaciones forestales de *P. patula*, un hecho que es ampliamente reconocido como un servicio ecosistémico del *A. acuminata* en los programas de restauración forestal (Knoke et al. 2014)

5.2. Patrones temporales de distribución

Zhang et al. (2014) a nivel global estudiaron los patrones estacionales de producción de hojarasca en diversos ecosistemas forestales. Aquí reportaron que para los boques tropicales los picos de producción ocurren durante las temporadas de sequía. Esta tendencia también es consistente con nuestros resultados debido a que el pico de mayor producción sucedió durante el trimestre agosto-octubre que según el PNUMA et al. (2007) en su estudio desarrollado en la zona de influencia de este trabajo, indica que los valores de la precipitación mensual basado en un promedio de 40 años (1965-2005) para el trimestre indicado resultó ser el de más baja precipitación confirmado la ocurrencia de picos de producción para las zonas tropicales de montaña tal como son los Andes tropicales.

Esta tendencia temporal de producción también ha sido reportada por otros estudios desarrollados bajo ecosistemas de boques montanos en los Andes tropicales. Por ejemplo, León et al. (2011) y Ramírez et al. (2014) reportaron la asociación entre periodos de sequía con la mayor producción de hojarasca en masas forestales desarrolladas en la región andina colombiana. En Ecuador de igual manera Quichimbo et al. (2016) en un estudio desarrollado en tres zonas de plantaciones de



P. patula (provincia de Loja), dentro de ecosistemas de bosques montanos tropicales andinos, reporto similar relación.

Sin embargo en zonas de boques lluviosos del sur del Ecuador, Röderstein et al. (2005) en su estudio realizado en una gradiente altitudinal (1890-3060 m s.n.m) dentro del Parque Nacional Podocarpus, señalaron que la estacionalidad de la producción no está muy asociada con las épocas de verano. Al parecer estas diferencias estarían dadas por el tipo de ecosistema, así por ejemplo dicho estudio fue desarrollado en una zona de boques tropical lluvioso con una precipitación anual sobre los 3500 mm, en tanto que el presente trabajo fue desarrollado en un ecosistema de bosque montano con una precipitación promedio anual de 900 mm (PNUMA et al. 2007).

La relación entre las épocas de verano y los picos de producción de la hojarasca puede explicarse por una serie de factores, así Wright y Cornejo (1990) señala que la alta demanda evaporativa con un asociado cierre de los estomas, un subsecuente recalentamiento de las hojas y una fotoinhibición podría estar actuando como envejecedores de las hojas que finalmente conduciría a que estas sean desprendidas y por lo tanto resultando en una mayor producción de hojarasca asociada a la falta de humedad.

Algo que resaltar es la tendencia también encontrada en la producción de los frutos que también muestra una asociación entre su mayor producción con las épocas de verano. Al parecer al aumentar las condiciones adversas tales como la falta de humedad, los árboles tienden a perpetuar su especie con la mayor emisión de frutos y semillas. Esto también se ve reflejado en la mayor contribución de esta fracción al total de la biomasa de la hojarasca (ver Figura 3).

Al respecto, (Mendoza et al. 2016) en un estudio a escala de los neotrópicos (rango latitudinal: 26°N-26°S) afirman que la fenología de las especies arbóreas especialmente la floración y fructificación está condicionada a factores abióticos especialmente la precipitación y que sería la responsable de picos de producción de este tipo de órganos reproductivos.



En relación a las otras fracciones, no existe un patrón claro de estacionalidad como sucedió para las fracciones antes analizadas (hojas dominantes y órganos reproductivos). Esto indica que al menos el déficit de humedad no sería un condicionante para la producción de las fracciones mencionadas. Sin embargo, investigaciones al respecto tienen que ser profundizadas ya que otros factores como el viento pueden estar afectando, tal como se ha visto en otros sitios cercanos al área de estudio y en donde este factor ha sido más influyente que la precipitación y temperatura (Malla Godoy 2016).

5.3. Contenido de nutrientes

Aunque se pudo observar que la concentración de nutrientes en la hojarasca de *P. patula* y *A. acuminata*, es variable, resaltan algunas diferencias específicas. Así por ejemplo el contenido de macro y micronutrientes es mayor en *A. acuminata* (ver Figura 5 y Figura 6). Esto indicaría un retorno potencial de este tipo de nutrientes en mayor cantidad para esta especie y además dada su baja relación carbono-nitrógeno, esto se traduciría en un mayor potencial de mineralización (Torreta y Takeda, 1999) indicando que la dinámica de nutrientes sería más rápida en los bosques nativos *A. acuminata* que en *P. patula*.

Aunque estudios específicos de comparaciones entre las dos especies forestales evaluadas en el presente estudio no han sido reportados aún para los Andes tropicales, sí se han reportado entre plantaciones del género *Pinus* con otra especie de hoja ancha como es el roble andino (*Quercus humboldtii* Bonpl.) en Colombia (Ramírez et al. 2014), mostrando una similar tendencia entre las coníferas y las especies de hoja de ancha para la región de bosques montanos de los Andes.

El elemento con mayor concentración fue el C sin mostrar diferencias estadísticas entre las especies con valor promedio de 56 %, lo que denota que ambas especies tendrían similar potencial para retornar el C al suelo.

La concentración de N reportada en *A. acuminata* dentro de este estudio (2.13 %) es ligeramente menor a los valores de 2.29 % y 2.55 % reportado por Lavery et al. (2004) y Turner et al. (1976) respectivamente para una especie de aliso (*Alnus rubra*). Mientras que la concentración del *P. patula* es ligeramente superior 0.92 % a



la reportada por Ramírez-Correa et al. 2007 y menor a la reportada 1.46 % por Lavery et al. (2004). Los valores reportados por este estudio indicaron una concentración de N para *A. acuminata* superior a la de *P. patula*, esto debido a que el *A. acuminata* es una especie fijadora de nitrógeno gracias a la asociación con *Frankia* sp, que es un actinomycete (hongo) fijador de nitrógeno (Turner et al. 1976, Murcia 1997, Medina Sierra et al. 2012).

La concentración de P reportada en *P. patula* dentro del presente estudio es superior a la encontrada en bosques tropicales de tierras altas, donde se reporta un valor cercano al 0.02 % (Vitousek et al. 1995, Ramírez-Correa et al. 2007, Cuevas y Lugo 1998). Mientras que para el *A. acuminata* se presenta un valor similar de 0.11 % al reportado por Turner et al. (1976), y ligeramente superior a 0.08 % reportado por Lavery et al. (2004). Entre las dos especies estudiadas se reporta que la concentración de P en *A. acuminata* es 1.5 veces mayor a la de *P. patula* lo que podría deberse a un uso más eficiente del P en las plantaciones de coníferas (Ramírez-Correa et al. 2007).

La concentración de K en *P. patula* encontrada en este estudio es superior a la concentración reportada 0.06 % por Ramírez-Correa et al. 2007, que es ligeramente superior al promedio 0.23 % reportada por (Herbohn y Congdon 1998, Cuevas y Lugo 1998). No obstante para el *A. acuminata* la concentración es menor a la reportada por Turner et al. (1976) y mayor a la reportada por Lavery et al. (2004) con una concentración de 1 % y 0.24 % respectivamente. Comparando las dos especies estudiadas se puede observar que la concentración de K reportada en *A. acuminata* es superior a la del *P. patula* cuyas diferencias son consistentes con los hallazgos reportados por Lavery et al. (2004).

Sin embargo esto no sucede con las concentraciones de Ca donde se puede notar que el *P. patula* tendría un contenido ligeramente mayor que el *A. acuminata* (aunque estadísticamente son iguales) mostrando una discrepancia con las diferencias reportadas por Lavery et al. (2004). Así, al parecer existiría un efecto de antagonismo entre el Ca y K mucho más marcado en las plantaciones de *P. patula* Ramírez-Correa et al. 2007. Esto significaría que el *P. patula* es más eficiente en la retención del K dentro de su biomasa que el *A. acuminata*, puesto que el K es más



móvil que el Ca (Benton Jones Jr. 2012). Por lo tanto los procesos de retranslocación son mayores que en el *A. acuminata*.

En relación a la concentración de Mg aunque diferencias estadísticas no existieron, si se pudo notar una concentración mayor a las reportadas en plantaciones de *P. patula* en los Andes colombianos por Ramírez-Correa et al. 2007. No obstante la concentración de S si fue consistente con los valores reportados por el autor antes citado.

En cuanto a los micronutrientes, existen pocos estudios que reportan las concentraciones de este tipo de nutrientes en especies forestales tropicales andinas. Sin embargo, resalta el Mn debido a la presencia de valores más elevados entre estos y las concentraciones de este elemento han sido también reportadas como las más elevadas entre algunos de los micronutrientes analizados por Ramírez-Correa et al. 2007 en zona de bosques montanos andinos.

Además de las elevadas concentraciones Mn, existieron diferencias notables entre las especies estudiadas (aunque no diferencias estadísticas), siendo el *P. patula* el que muestra los valores mas elevados. Esta elevada concentración tendra efectos en los procesos posteriores de la descomposición de la hojarasca, efecto que ha sido reconocido sobre todo en las etapas avanzadas de descomposición (Berg et al. 2007).



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- La producción de biomasa de hojarasca en las especies estudiadas, fue mayor en las plantaciones de *P. patula* frente a los bosques nativos de *A. acuminata*, siendo esta última especie donde se reporta por primera vez, valores de producción en los Andes tropicales.
- Aunque existieron diferencias en la producción trimestral de la hojarasca entre las especies, existió un patrón similar de producción para ambas, coincidiendo las épocas de mayor producción con las de menor precipitación.
- El bosque nativo de *A. acuminata* presenta una mejor calidad de biomasa debido a las mayores concentraciones tanto de macro como de micronutrientes, con la salvedad del S y del Mn que muestran concentraciones notablemente menores; a esto se suma el mayor potencial de descomposición que tendría el *A. acuminata* frente al *P. patula* indicado por su relación C/N inferior y por lo tanto significaría que la dinámica de nutrientes sería más rápida en esta especie.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abelho, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a review. *The Scientific World Journal* 1: 656-680.
- Aceñaloza, P; Zamboni, L; Gallardo, J. 2006. Biogeochemical cycles in Paraná River floodplain forest (Argentina): Litterfall production. 2006: s.p.
- Aceñolaza, P; Gallardo-Lancho, J. 1994. Pérdida de peso seco en hojarasca de *Alnus acuminata* en la provincia de Tucumán (Argentina). *Bosque* 15(1): 51-54.
- Acuña, V; Giorgi, A; Muñoz, I; Sabater, F; Sabater, S. 2007. Meteorological and riparian influences on organic matter dynamics in a forested Mediterranean stream. *The North American Benthological Society Meteorological* 26(1): 54-69.
- Aguirre, N; Günter, S; Weber, M; Stimm, B. 2006. Enriquecimiento de plantaciones de *Pinus patula* con especies nativas en el sur del Ecuador. *Lyonia* 10(1): 33-45.
- Aguirre, N; Weber, M. 2007. Enriquecimiento de plantaciones forestales como herramienta para la rehabilitación de ambientes degradados en la región sur Ecuatoriana. *Naturaleza y Desarrollo Agropecuario* 2007: 1-15.
- Informe final Proyecto AG-CT-011: Sistemas de Información Geográfica para aplicaciones Agropecuarias en el Ordenamiento de Territorios y Manejo Integral de Cuencas (2003, Cuenca, Ecuador). 2003. Ed. Alianza Jatun Sacha-CDC (Corporación Centro de Datos para la Conservación). Cuenca, Ecuador,
- Bare, MC; Ashton, MS. 2015. Growth of native tree species planted in montane reforestation projects in the Colombian and Ecuadorian Andes differs among site and species. *New Forests* 47(3): 333-355.
- Becerra, A; Zak, M; Horton, T; Micolini, J. 2005. Ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal colonization of *Alnus acuminata* from Calilegua National Park (Argentina). *Mycorrhiza* 15: 525-531.
- Becker, J; Pabst, H; Mnyonga, J; Kuzyakov, Y. 2015. Annual litterfall dynamics and nutrient deposition depending on elevation and land use at Mt. Kilimanjaro. *Biogeosciences* 12(19): 5635-5646.



- Benton Jones Jr., J. 2012. Plant nutrition and soil fertility manual. Estados Unidos, s.e., v.2, 273.
- Benvenuti-Ferreira, G; Coelho, GC; Schirmer, J; Lucchese, OA. 2009. Dendrometry and litterfall of neotropical pioneer and early secondary tree species. *Biota Neotropica* 9(1): 65-71.
- Berg, B; Albrektson, A; Berg, MP; Cortina, J; Johansson, M-B; Gallardo, A; Medeira, M; Pausas, J; Kratz, W; Vallejo, R; Mcclaugherty, C. 1999. Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect , in particular Scots pine. *Elservier* 56: 625-639.
- Berg, B; Laskowski, R. 2005. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. *Advances in Ecological Research* 38: 291-331.
- Berg, B; Steffen, KT; Mcclaugherty, C. 2007. Litter decomposition rate is dependent on litter Mn concentrations. *Biogeochemistry* 82: 29-39.
- Binkley, D; Lousier, JD; Cromack Junior, K. 1984. Ecosystem effects of sitka alder in a Douglas-fir plantation. *Forest Science* 30(1): 26-35.
- Box, TW. 1961. Relationships between plants and soils of four range plant communities in South Texas. *Ecology* 42(4): 794-810.
- Bray, JR; Gorham, E. 1964. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*. s.l., s.e., v.2, p.101-157.
- Brown, AD; Kappelle, M. 2015. Introduccion a los Bosques Nublados. *ResearchGate* no.7: 40.
- Bush, MB. 2011. Tropical rainforest responses to climatic change. s.l., s.e., 213-240.
- Bussmann, RW. 2005. Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Online* 12(2): 203-216.
- Buytaert, W; Iñiguez, V; Bièvre, B De. 2007. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management* 251(1-2): 22-30.



Chacón, G; Gagnon, D; Paré, D. 2009. Comparison of soil properties of native forests, *Pinus patula* plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: Land use history or recent vegetation effects? *Soil Use and Management* 25(4): 427-433.

Chave, J; Navarrete, D; Almeida, S; Álvarez, E; Aragão, LEOC; Bonal, D; Châtelet, P; Silva Espejo, J; Goret, J-Y; von Hildebrand, P; Jiménez, E; Patiño, S; Peñuela, MC; Phillips, OL; Stevenson, P; Malhi, Y. 2009. Regional and temporal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences Discussions* 6: 7565-7597.

Chave, J; Navarrete, D; Almeida, S; Álvarez, E; Aragão, LEOC; Bonal, D; Châtelet, P; Silva-Espejo, JE; Goret, J-Y; von Hildebrand, P; Jiménez, E; Patiño, S; Peñuela, MC; Phillips, OL; Stevenson, P; Malhi, Y. 2010. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences* 7(1): 43-55.

Crespo, P; Celleri, R; Buytaert, W; Feyen, J. 2010. Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. *Proceedings of the Workshop held at Goslar-Hahnenklee no.4*: 6.

Cuesta, F; Peralvo, M; Valarezo, N. 2009. Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático. *Serie investigación y sistematización #5*. s.l., s.e., 41.

Cuevas, E; Lugo, AE. 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. *Forest Ecology and Management* 112(3): 263-279.

Díaz-Franco, R; Acosta-Mireles, M; Carrillo-Anzures, F; Buendía-Rodríguez, E; Flores-Ayala, E; Etchevers-Barra, JD. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl . et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.

Dunn, WW; Lynch, AM; Morgan, P. 1990. Benefit-cost analysis of fuelwood management using native alder in Ecuador. *Agroforestry Systems* 11(2): 125-139.

Dunn, WW; Morgan, P; Lynch, AM. 1990. Production of alder (*Alnus jorullensis*) to



meet fuelwood demand in the Sierra of Ecuador. *Agroforestry Systems* 10(3): 199-211.

Evans, J. 1992. *Plantation Forestry in the Tropics*. Segunda Ed New York, s.e., 389.

FACE (Forest Absorbing Carbon Dioxide Emissiones). 2014. FACE pine plantation, Profafor , Ecuador. Disponible en <https://ejatlas.org/conflict/face-pine-plantation-profafor-ecuador>

FAO. 2015. *Global Forest Resources Assessment 2015*

Franzel, S; Jaenicke, H; Janssen, W. 1996. *Choosing the Right Trees*. s.l., s.e., 100.

Gomez-Aparicio, L; Zavala, MA; Bonet, FJ; Zamora, R. 2009. Are pine plantations valid tools for restoring mediterranean forests? an assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecological Applications* 19(8): 2124-2141.

González, E. 2012. Seasonal patterns of litterfall in the floodplain forest of a large Mediterranean river. *Limnetica* 31(1): 173-186.

Gonzalez, MIM; Gallardo, JF. 1982. El efecto hojarasca: una revision. *Anales de edafología y agrobiología* 1982: 1130-1157.

Grimm, U; Fassbender, HW. 1981. Ciclos bioquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela I. Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Na). *Turrialba* 31(1): 27-43.

Guerrero-Campo, J; Camarero, JJ; Gutiérrez, E. 1998. Crecimiento estacional y caída de acículas en *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 7: 155-172.

Günter, S; Weber, M; Stimm, B; Mosandl, R. 2011. *Silviculture in the tropics*. Berlin, Alemania, s.e., 576.

Hart, SK; Hibbs, DE; Perakis, SS. 2013. Riparian litter inputs to streams in the central Oregon Coast Range. *Freshwater Science* 32(1): 343-358.

Herbohn, JL; Congdon, RA. 1998. Ecosystem dynamics at disturbed and undisturbed sites in North Queensland wet tropical rain forest. III. Nutrient returns to the forest



floor through litterfall. *Journal of Tropical Ecology* 14(2): 217-229.

Huber, A; E. Schlantter, J; Oyarzun, C. 1964. Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus Radiata*. *Bosque* 7(2): 59-64.

Huber, A; Oyarzún, C. 1983. Produccion de hojarasca y sus relaciones con factores meteorologicos en un bosque de *Pinus Radiata* (D.Don.). *Bosque* 5(1): 1-11.

INERHI-PREDESUR-CONADE. 1994. Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja. Washintong D.C., Estados Unidos, s.e., 257.

Jonczak, J; Olejniczak, M; Parzych, A; Sobisz, Z. 2016. Dynamics, structure and chemistry of litterfall in headwater riparian forest in the area of Middle Pomerania. *Journal of Elementology* 21(2): 383-394.

Kikuzawa, K; Asai, T; Fukuchi, M. 1984. Leaf-litter production in a plantation of *Alnus inokumae*. *Journal of Ecology* 72(3): 993-999.

Klopatek, JM. 2002. Belowground carbon pools and processes in different age stands of Douglas-fir. *Tree Physiology* 22: 197-204.

Knoke, T; Bendix, J; Pohle, P; Hamer, U; Hildebrandt, P; Roos, K; Gerique, A; Sandoval, ML; Breuer, L; Tischer, A; Silva, B; Calvas, B; Aguirre, N; Castro, LM; Windhorst, D; Weber, M; Stimm, B; Günter, S; Palomeque, X; Mora, J; Mosandl, R; Beck, E. 2014. Afforestation or intense pasturing improve the ecological and economic value of abandoned tropical farmlands. *Nature communications* 5(9): 1-12.

Larrea C, Carrasco F, Cervantes J, Viedma N (1999) INFOPLAN, Atlas para el Desarrollo Local. Quito ODEPLAN, Secretaría General de la Presidencia del Ecuador. CONAM y COSUDE CD.

Lavery, JM; Comeau, PG; Prescott, CE. 2003. The influence of red alder patches on light, litterfall, and soil nutrients in adjacent conifer stands. *Canadian Journal of Forest Research* 34(1): 56-64.

Leischner, B; Bussmann, RW. 2003. Mercado y uso de madera en el Sur de Ecuador. *Lyonia* 5(1): 51-60.



León, JD; González, MI; Gallardo, JF. 2011. Ciclos biogeoquímicos en bosques naturales y plantaciones de coníferas en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Revista de Biología Tropical* 59(4): 1883-1894.

Liu, C; Westman, CJ; Berg, B; Kutsch, W; Wang, GZ; Man, R; Ilvesniemi, H. 2004. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography* 13(2): 105-114.

Londe, V; De Sousa, HC; Kozovits, AR. 2016. Litterfall as an indicator of productivity and recovery of ecological functions in a rehabilitated riparian forest at Das Velhas River, southeast Brazil. *Tropical Ecology* 57(2): 355-360.

Lopes, M; Araújo, V; Vasconcellos, A. 2015. The effects of rainfall and vegetation on litterfall production in the semiarid region of northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 75(3): 703-708.

López Hernández, JM; González Rodríguez, H; Ramírez Lozano, RG; Cantú Silva, I; Gómez Meza, MV; Pando Moreno, M; Estrada Castellón, AE. 2013. Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 35(1405-2768): 41-64.

Lopez Hernandez, JM; Maiti, R; Gomez Meza, MV; Gonzalez Rodriguez, H; Cantu Silva, I; Ramirez Lozano, RG; Pando Moreno, M; Estrada Castillon, AE. 2014. Litterfall Production and Nutrient Deposition Through Leaf Fallen in three Tamaulipan Thornscrub Communities, North-eastern Mexico. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 5(2): 168-174.

Lu, SW; Liu, CP. 2012. Patterns of litterfall and nutrient return at different altitudes in evergreen hardwood forests of Central Taiwan. *Annals of Forest Science* 69(8): 877-886.

Malla Godoy, JE. 2016. Influencia del clima en la producción de hojarasca en una plantación de pino en el sur del Ecuador. s.l., Universidad Técnica Particular de Loja. 45 p.

Mendoza, I; Peres, CA; Morellato, LPC. 2016. Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: a quantitative Neotropical review. *Global and Planetary*



Change 2016: 1-65.

Murcia, C. 1997. Evaluation of Andean alder as a catalyst for the recovery of tropical cloud forests in Colombia. *Forest Ecology and Management* 99(1-2): 163-170.

Myers, N; Mittermeier, RA; Mittermeier, CG; Fonseca, GAB; Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(2): 853-858.

Nair, PKR; Buresh, RJ; Mugendi, DN; Latt, CR. 1999. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. New York, s.e., 1-31.

Orwa et al. 2009. *Pinus patula*. Disponible en http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Pinus_patula.PDF

Ospina Penagos, CM; Hernández Restrepo, RJ; Rincón, EA; Sánchez Ocampo, FA; Urrego Mesa, JB; Rondas Peláez, CA; Ramírez Cordoba, CA; Riaño Herrera, NM. 2011. *El Pino pátula- guías silviculturales*. Ed. Blanecolor. Manizales, Colombia, s.e., 105.

Oziegbe, MB; Muoghalu, JI; Oke, SO. 2011. Litterfall, precipitation and nutrient fluxes in a secondary lowland rain forest in Ile-Ife, Nigeria. *Acta Botanica Brasilica* 25(3): 664-671.

Pérez-Suárez, M; Arredondo-Moreno, JT; Huber-Sannwald, E; Vargas-Hernández, JJ. 2009. Production and quality of senesced and green litterfall in a pine-oak forest in central-northwest Mexico. *Forest Ecology and Management* 258(7): 1307-1315.

PNUMA; I. Municipio de Loja; Naturaleza & Cultura Internacional. 2007. *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Loja*. s.l., s.e., 1-192.

Quichimbo, P; Tenorio, G; Borja, P; Cardenas, I; Crespo, P; Celleri, R. 2012. Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: (Paramo) de (Quimsacocha) al sur del (Ecuador). *Suelos Ecuatoriales* 42(2): 138-153.

Quichimbo, P; Veintimilla, D; Carrión, Y; Jiménez, L. 2016. Litterfall production under pine plantations in the southern Andes region of Ecuador. *Enfoque UTE* 7: 14-25.



Quinto Mosquera, H; Ramos Palacios, YA; 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.

R Development Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016.

Ramírez, JA; León-Peláez, JD; Craven, D; Herrera, DA; Zapata, CM; González-Hernández, MI; Gallardo-Lancho, J; Osorio, W. 2014. Effects on nutrient cycling of conifer restoration in a degraded tropical montane forest. *Plant and Soil* 378(1-2): 215-226.

Ramírez Correa, JA; Zapata Duque, CM; León Peláez, JD; González Hernández, MI. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* 32(5): 303-311.

Ramírez-Correa, JA; Zapata-Duque, CM; León-Peláez, JD; González-Hernández, MI. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Atioquia, Colombia. *Interciencia* 32(5): 303-311.

Reyes Carrera, SA; Méndez González, J; Nájera Luna, JA; Cerano Paredes, J. 2013. Producción de hojarasca en un rodal de *Pinus cembroides* Zucc. en Arteaga, Coahuila, México y su relación con las variables climáticas. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(1): 147-155.

Riofrío, J; Herrero, C; Grijalva, J; Bravo, F. 2015. Aboveground tree additive biomass models in Ecuadorian highland agroforestry systems. *Biomass and Bioenergy* 80: 252-259.

Rocha-Laredo, AG; Macial-Ramírez, N. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino - encino en Chiapas, Mexico. *Annual Review of Biochemistry* 12: 1-16.

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.

Rytter, L; Slapokas, T; Granhall, U. 1989. Woody biomass and litter production of fertilized Grey Alder plantations on a Low - Humified Peat Bog. 1989: 161-179.

Salazar-Ramirez, LF; Pineda-Gomez, DM; Estevez Varon, JV; Castaño-Villa, GJ. 2014. Riqueza y abundancia de aves frugívoras y nectarívoras en una plantación de Aliso (*Alnus acuminata*) y un bosque secundario en los Andes Centrales de Colombia. Boletín Científico Del Centro De Museos 18(1): 67-77.

Sharma, E; Ambasht, RS. 1987. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* plantation stands in the eastern Himalaya. The Journal of Ecology 75(4): 997-1010.

Smith, P; Cotrufo, MF; Rumpel, C; Paustian, K; Kuikman, PJ; Elliott, J a.; McDowell, R; Griffiths, RI; Asakawa, S; Bustamante, M; House, JI; Sobocká, J; Harper, R; Pan, G; West, PC; Gerber, JS; Clark, JM; Adhya, T; Scholes, RJ; Scholes, MC. 2015. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. SOIL 1(2): 665-685.

Soethe, N; Lehmann, J; Engels, C. 2008. Nutrient availability at different altitudes in a tropical montane forest in Ecuador. Journal of Tropical Ecology 24(4): 397-406.

Takyu, M; Aiba, S-I; Kitayama, K. 2003. Changes in biomass, productivity and decomposition along topographical gradients under different geological conditions in tropical lower montane forests on Mount Kinabalu, Borneo. Oecologia 134(3): 397-404.

Terauda, E; Nikodemus, O. 2006. Element Inputs by Litterfall to the Soil in Pine Forest Ecosystems. Environmental Bioindicators 1(2): 145-156.

Tobita, H; Hasegawa, SF; Yazaki, K; Komatsu, M; Kitao, M. 2013. Growth and N₂ fixation in an *Alnus hirsuta* (Turcz.) var. *Sibirica* stand in Japan. Journal of Biosciences 38(4): 761-776.

Turner, J; Cole, DW; Gessel, SP. 1976. Mineral nutrient accumulation and cycling in a stand of Red Alder (*Alnus Rubra*). British Ecological Society 64(3): 965-974.



- Vasconcelos, H; Luizão, F. 2015. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented amazonian landscape. *Ecological Applications* 14(3): 884-892.
- Vitousek, PM. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecological* 65(1): 285-298.
- Vitousek, PM; Gerrish, G; Turner, DR; Walker, LR; Muellerdombois, D. 1995. Litterfall and nutrient cycling in four Hawaiian montane rainforests. *Journal of Tropical Ecology* 11(2): 189-203.
- Weng, C; Bush, MB; Chepstow-Lusty, AJ. 2004. Holocene changes of Andean alder (*Alnus acuminata*) in highland Ecuador and Peru. *Journal of Quaternary Science* 19(7): 685-691.
- Wiedmer, E; Senn-irlet, B. 2006. Biomass and primary productivity of an *Alnus viridis* stand – a case study from the Schächental valley , Switzerland. *Botanica Helvetica* 116: 55-64.
- Wright, SJ; Cornejo, FH. 1990. Seasonal drought and leaf fall in a tropical forest. *Ecology* 71(3): 1165-1175.
- Zapata Duque, CM; Ramírez, JA; León Peláez, JD; González Hernández, MI. 2007. Producción de hojarasca fina en bosques altoandinos de Antioquia, Colombia. *Rev.Fac.Nal.Agr.* 60(1): 3771-3784.
- Zhang, H; Yuan, W; Dong, W; Liu, S. 2014. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity* 20: 240-247.
- Zhou, G; Guan, L; Wei, X; Zhang, D; Zhang, Q. 2007. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. *Plant Ecology* 188: 77-89.

ANEXOS

Anexo 1. Especies estudiadas.



Plantación forestal de pino (*P. patula*).



Bosque nativo de aliso (*A. acuminata*).

Anexo 2. Metodos de campo.



Parcelas de estudio.



Captura de hojarasca.



Recolección de hojarasca.

Anexo 3. Métodos de laboratorio.

3.1. Clasificación y estimación de la biomasa.



Pesado de muestras.



Secado de muestras.



Clasificación de las muestras.

3.2. Determinación de carbono.



Molido de muestras.



Pesado de muestras.



Calcinado de muestras.

3.3. Determinación de N.



Molido de muestras.



Pesado de muestras.



Adición de catalizadores y ácido sulfúrico.



Ebullición de muestras.



Destilación de N.



Titulación de N.

3.4. Determinación de macro y micro nutrientes.



Molido de muestras.



Pesado de muestras.



Adición de ácido nítrico-perclórico.



Digestado de muestras.



Adición de agua desmineralizada.



Filtrado de muestras.



Determinación de macro y micro nutrientes.