

**TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE CUATRO ESPECIES LEÑOSAS EN EL  
ALTIPLANO DE PASTO.**

**JOHANA KATHERINE RAMOS TULCAN  
MARILIN ELIANA BENAVIDES ARTEAGA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
SAN JUAN DE PASTO - COLOMBIA**

**2015**

**TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE CUATRO ESPECIES LEÑOSAS EN EL  
ALTIPLANO DE PASTO.**

**JOHANA KATHERINE RAMOS TULCAN  
MARILIN ELIANA BENAVIDES ARTEAGA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:

**INGENIERO AGROFORESTAL**

**Presidente de Tesis:**

**DEYSI VIVIANA BENAVIDES ARTEAGA I.AF.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
SAN JUAN DE PASTO - COLOMBIA**

**2015**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

**“Las ideas y conclusiones aportadas en este Proyecto de Trabajo de Grado, son de responsabilidad exclusiva de los autores”**

**Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo Superior de la Universidad de Nariño.**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma Presidente**

---

**Firma Jurado**

---

**Firma Jurado**

**San Juan de Pasto, Noviembre 2015.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Especialmente a Dios por estar con nosotras, ser nuestro guía y por bendecirnos todos los días.

A nuestras familias por su apoyo incondicional durante toda nuestra carrera.

A la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales de la Universidad de Nariño por la financiación de la investigación.

A Deysy Vivivana Benavides A. asesor principal de la investigación por su incondicional apoyo y valiosas enseñanzas.

A Hernán Burbano Orjuela I.A., M. Sc. por su orientación y dedicación.

A Paulo Cesar Cabrera Moncayo I. AF. y A Jorge Vélez Lozano I. AF., M. Sc. por su apoyo en todo el proceso de evaluación.

A Juan Carlos Delgado, Químico, Técnico de Laboratorio; Sandra Espinoza y Germán Chávez I. A., Esp., M. Sc. por su orientación y apoyo en la fase de laboratorio.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este proyecto.

## DEDICATORIA

*Esta tesis la dedico con todo mi amor y cariño a:*

*Dios por ser mi guía y mi acompañamiento en todos estos años de mi vida y de mi carrera, por bendecirme permitiéndome llegar a todos los que han sido mis éxitos y por darme salud para poder lograr todos mis objetivos.*

*Mi madre Sandra Tulcán por ser la mejor madre, una mujer constante que con su amor enseña a sus hijos a perseverar en la vida, por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación y sus cuidados.*

*Mi padre Jorge Ramos por ser un padre responsable, por su constancia, apoyo incondicional, y su amor.*

*Mi hermano Andrés Ramos por ser mi apoyo incondicional, compañía y amor en todos estos años.*

*Mi s tías, Adriana y Rocio Tulcán por ser mi apoyo, por creer en mis capacidades y por todo el amor que me brindan.*

*Todos mis maestros de Ingeniería Agroforestal recordando con gratitud a cada uno de ellos por todas sus enseñanzas y su compromiso.*

*Mis amigos que compartimos tanto en el transcurso de la carrera, por su apoyo incondicional y su cariño: Eliana Benavides, Claudia Calvache, Jairo Sarasty, Jhimmy Ortega, Richard Argoty, Edison Castillo. Andrea Canchala, Diana Cuaran y Ricardo Burbano*

*Johana Katherine Ramos.*

## DEDICATORIA

Agradezco a Dios por ser mi guía en cada etapa de mi vida, por permitirme cumplir un logro mas, por darme salud, entendimiento y fortaleza para continuar y enfrentar cambios.

A mis Padres Carlos Benavides y Alba Arteaga por ser mi fuente de alegría, ánimos y fortaleza, por ser las personas mas luchadoras que me apoyaron incondicionalmente en toda esta etapa.

A mis Hermanos Karen, Danilo, Sara y Deysy por el apoyo incondicional y por estar en todo momento apoyandome.

A mi sobrina por ser la luz de mi vida, por llenarme de alegría en cada uno de mis días.

A mis amigos de Ingeniería Agroforestal, por compartir tantas alegrías y experiencias que nos fortalecieron como personas.

A mis Profesores, por ser los impulsores en todo el proceso académico.

Y a todas las personas que colaboraron con este éxito, con su ánimo y apoyo para que esta meta sea realizada.

**Eliana Benavides.**

# TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE CUATRO ESPECIES LEÑOSAS EN EL ALTIPLANO DE PASTO

## LITTER DECOMPOSITION IN FOUR WOODY SPECIES IN PLATEAU OF PASTO

Eliana Benavides A; Katherine Ramos T; Viviana Benavides A.

### RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en El Centro Experimental CORPOICA-Obonuco, municipio de Pasto, a 2710 m.s.n.m, ubicado al suroccidente Colombiano a 77° 16' 00" de longitud oeste y 1° 13' 00" de latitud norte, con el objetivo de evaluar la tasa de descomposición de la hojarasca, porcentaje de carbono, nitrógeno y lignina de Aliso (*Alnus acuminata* Kunth), Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), Quillotocto (*Tecoma stans* H.B.K.) y Laurel de cera (*Morella pubescens* H&B ex Willd. Wilbur) durante 4, 8, 12, 20 y 28 semanas. Se utilizó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial 4x5, donde el Factor A correspondió las especies, y el factor B fueron los tiempos de evaluación. Encontrándose que la mayor pérdida de peso ocurrió en *A. acuminata* (69.88%) y la menor en *M. pubescens* (31,56%). Se realizó una regresión entre los valores de porcentaje de peso remanente y el tiempo, ajustándose la curva de descomposición a un modelo exponencial. La tasa de descomposición anual ( $k$  año<sup>-1</sup>) indicó que *A. acuminata* ( $k= 2,98$ ) tuvo la descomposición más rápida mientras que *M. pubescens* ( $k= 0,82$ ) fue la más lenta. La velocidad de la tasa de descomposición se relaciona positivamente con el contenido de nitrógeno y carbono, mientras que con el contenido de lignina, relacion L/N y C/N hay una relación negativa.

**Palabras claves:** Tiempos, materiales vegetales, carbono, nitrógeno, lignina.

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniera Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. 2015. elianabenavides-@hotmail.com.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniera Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. 2015. katerh-96@hotmail.com.

<sup>3</sup> Ingeniera Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. 2015.

dvbenavides@gmail.com.



## ABSTRACT

This research was carried out at the Experimental Center CORPOICA- Obonuco, municipality of Pasto, to 2710 meters above sea level, located in southwestern Colombia to 77° 16 '00' 'west longitude and 13 1' 00 " north, with the aim of assessing the leaf litter decomposition rate, percentage of carbon, nitrogen and lignin of Aliso (*Alnus acuminata* Kunth), Eucalypto (*Eucalyptus globulus* Labill), Quillotoco (*Tecoma stans* HBK) and Laurel de cera (*Morella pubescens* H & B ex Willd. Wilbur) for 4, 8, 12, 20 and 28 weeks. A completely randomized design was used in a factorial arrangement 4x5, where the factor A corresponded species, and factor B were the times of evaluation. Finding that greater weight loss was *A. acuminata* (69.88%) and the lowest in *M. pubescens* (31.56%). A regression analysis between the percentage values of weight and time remaining was performed, adjusting the decay curve to an exponential model. The annual decomposition rate  $k \text{ year}^{-1}$  indicated that *A. acuminata* ( $k = 2.98$ ) had the fastest decomposition while *M. pubescens* ( $k = 0.82$ ) was the slowest. The decomposition rate is positively related to the content of nitrogen and carbon, while the lignin content, L/N and C/N is a negative relationship.

**Keys words:** Times, plant materials, carbon, nitrogen, lignin.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>2</b>
2.1	Localización.....	2
2.2	Características del suelo .....	3
2.3	Material vegetal .....	3
2.4	Tratamientos y diseño experimental. ....	3
2.5	Variables evaluadas.....	3
2.5.1	Descomposición del material vegetal.....	3
2.5.2	Tasa relativa de descomposición ( <i>k</i> ). ....	4
2.5.3	Porcentaje de materia seca. ....	5
2.5.4	Cantidad de carbono (%C), nitrógeno (%N) y lignina (%L). ....	5
2.6	Análisis estadístico.....	6
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>6</b>
3.1	Porcentaje de peso seco remanente de las muestras .....	6
3.2	Tasa relativa de descomposición ( <i>k</i> ).....	10
3.3	Porcentaje de materia seca .....	11
3.4	Contenido de carbono (%C), nitrógeno (%N) y lignina (%L) .....	12
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>21</b>

## LISTA DE FÍGURAS

- Figura 1.** Precipitación total mensual (mm) y temperatura máxima y mínima media mensual (°C) en el periodo Enero- Diciembre de 2014. .... 2
- Figura 2.** Variación del peso remanente (%) en hojas de *A. acuminata*, *E. globulus*, *T. stans* y *M. pubescens* Durante un periodo de 28 semanas. En el centro de investigación Corpoica- Obonuco. 2014..... 6
- Figura 3.** Regresión exponencial simple para la masa remanente de la hojarasca de las cuatro especies arbóreas en el centro de investigación Corpoica- Obonuco, 2014; se indica la ecuación de regresión (R<sup>2</sup>). .... 8

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cuadrado medio para la variable peso remanente (%) de <i>A. acuminata</i> , <i>E. globulus</i> , <i>T. stans</i> y <i>M. pubescens</i> en el Centro de investigación de Obonuco-CORPOICA, 2014. ....	8
<b>Tabla 2.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey para peso remanente (%) de las cuatro especies arbóreas.....	9
<b>Tabla 3.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey del peso remanente (%) a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.....	9
<b>Tabla 4.</b> Comparación de las tasas de descomposición anual (k) de cuatro especies arbóreas bajo el análisis de regresión según el modelo exponencial simple.....	10
<b>Tabla 5.</b> Cuadrados medios para materia seca (%) de los cuatro materiales evaluados.....	11
<b>Tabla 6.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey de Materia seca (%) a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas. ....	12
<b>Tabla 7.</b> Cuadrados medios para contenido de Carbono (%), Nitrógeno (%), Lignina (%) y relación C/N y L/N de los cuatro materiales evaluados. ....	12
<b>Tabla 8.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de carbono (%) de las cuatro especies arbóreas. ....	13
<b>Tabla 9.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de carbono (%) a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas. ....	13
<b>Tabla 10.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de Nitrógeno (%) para la interacción de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.....	14
<b>Tabla 11.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de lignina (%) para la interacción de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.....	16
<b>Tabla 12.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey de la relación C/N para la interacción de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.....	17
<b>Tabla 13.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey de la relación L/N de las cuatro especies arbóreas. ....	19
<b>Tabla 14.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey de la relación L/N de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas. ....	19

## 1 INTRODUCCIÓN

En la región andina del departamento de Nariño existen plantaciones de especies arbóreas, sin embargo se observa un desconocimiento acerca de la importancia que tiene el árbol como componente de los sistemas de producción agropecuarios, por esta razón el agricultor le resta relevancia a las especies arbóreas que componen las fincas, desaprovechando sus potencialidades.

Por lo tanto, la investigación se orientó a estudiar la dinámica de descomposición de la hojarasca debido a la importancia de este proceso en la formación de la materia orgánica del suelo (MOS) y como materia prima para la formación de los coloides orgánicos (humus), debido a que estos componentes juegan un papel importante en la formación y estabilidad de agregados, capacidad de intercambio catiónico, control de la acidez, ciclaje de nutrientes y desintoxicación del suelo (Zapata y Osorio, 2010).

Los indicadores de conservación de nutrientes en la vegetación y dinámica de nutrientes en el suelo constituyen una herramienta importante para comprender el funcionamiento de los ecosistemas y predecir el efecto de disturbios (Alarcón *et al.*, 1996).

Resulta de interés estudiar la descomposición de la hojarasca de diferentes especies leñosas que son importantes en las fincas del altiplano de Pasto para generar conocimiento del componente leñoso, sus bondades sobre la circulación de nutrientes y algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que se desean mantener a largo plazo (Jiménez *et al.*, 2001).

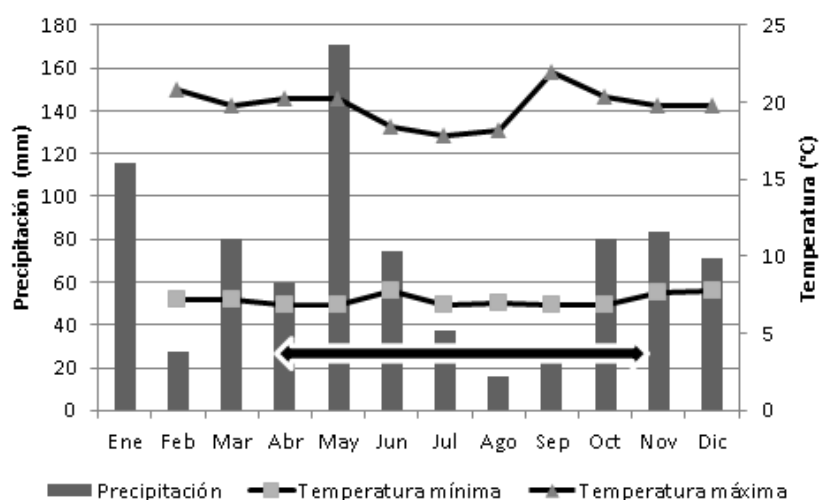
Para la investigación se planteó como objetivos la determinación de la tasa de descomposición de hojarasca, contenido de materia seca de hojas y la caracterización química del material vegetal en cuanto a Carbono, Nitrógeno y Lignina de las cuatro especies arbóreas, Aliso (*Alnus acuminata* Kunth), Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), Quillotoco (*Tecoma stans* H.B.K.) y Laurel de cera (*Morella pubescens* H&B. ex Willd. Wilbur).

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Localización

El presente trabajo se realizó en El Centro Experimental CORPOICA- Obonuco, municipio de Pasto, ubicado al suroccidente Colombiano localizado al occidente del Meridiano de Greenwich a 77° 16' 00" longitud oeste y 1° 13' 00" altitud norte. Se encuentra a 2710 m.s.n.m, temperatura promedio de 12°C, precipitación pluvial anual de 840 mm, Según Holdridge (1990), pertenece a la zona de vida bosque seco montano bajo (bs – MB). Con un área total de 562 ha, de las cuales 40 están dedicadas a la investigación y 80 ha a la ganadería de levante, ceba y cría (Paz y Recalde, 2003).

El comportamiento del clima durante la fase de campo se caracterizó por presentar mayor precipitación desde Abril hasta Junio (temporada de lluvia) seguido de una época con menor precipitación que va desde Julio a Septiembre (temporada seca) y en el mes de Octubre se presentó un aumento de precipitación. La temperatura osciló entre 18 y 28°C. Los registros de precipitación y temperatura se tomaron en la estación meteorológica "Obonuco" (IDEAM, 2014) como se observa en la Figura 1.



**Figura 1.** Precipitación total mensual (mm) y temperatura máxima y mínima media mensual (°C) en el periodo Enero- Diciembre de 2014. (Fuente: Base de datos climáticos del IDEAM, 2014)

## **2.2 Características del suelo**

Los suelos de esta zona corresponden a un Vitric Haplustand, profundo, bien drenado, franco limoso, procedente de cenizas volcánicas (IGAC, 2004).

## **2.3 Material vegetal**

Se estudiaron las especies arbóreas Aliso (*Alnus acuminata* Kunth), Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), Quillotocto (*Tecoma stans* H.B.K.) y Laurel de cera (*Morella pubescens* H&B ex. Willd. Wilbur).

## **2.4 Tratamientos y diseño experimental.**

Se utilizó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial 4x5 (donde el Factor A corresponden a las especies arbóreas y el factor B los tiempos de evaluación 4, 8, 12, 20, 28 semanas) y 3 repeticiones. La unidad experimental fue el árbol. El campo experimental constó de 60 unidades experimentales.

## **2.5 Variables evaluadas.**

### **2.5.1 Descomposición del material vegetal.**

Para la determinación de la tasa de descomposición de los residuos vegetales se empleó el método de "litter bags". Se construyeron 60 bolsas de nylon de 20 cm x 20 cm, con abertura de malla de 1x1 mm; y en cada bolsa se depositaron 50 g de material vegetal de cada una de las especies. Las bolsas se distribuyeron bajo el dosel de los árboles seleccionados de las cuatro especies a evaluar. Se recolectó un grupo de mallas cada período de tiempo estipulado. El resto se dejaron en campo, con el fin de determinar los cambios en peso a diferentes tiempos. Las mallas se recolectaron de preferencia cada 30 días durante 3 meses y cada 60 días durante 2 meses.

Al material de cada bolsa se le retiró las raíces adheridas y la fauna de artrópodos asociada. Se secó a 65°C durante 48 h y se pesó en una balanza analítica (Varela y Rueda, 2010).

La descomposición del material evaluado mediante la pérdida de peso correspondiente a cada tiempo de degradación genera un porcentaje de peso seco remanente (%Psr), calculado mediante:

$$\%Psr = (X_t / X_o) * 100,$$

Donde,  $X_t$  es el peso en el tiempo  $t$  (días); y  $X_o$  es el peso seco al horno de material inicial (Álvarez y Becerra, 1996; Cobo *et al.*, 2002; Kurz *et al.*, 2005).

Los porcentajes de **Psr** fueron calculados para ser empleados en la determinación de la tasa de descomposición de material vegetal. Debido a que la descomposición es proporcional al contenido de materia orgánica, la tasa relativa de descomposición mensual hacia el suelo puede ser representada por un modelo exponencial simple (Olson, 1963).

$$y = y_o e^{-kt}$$

Dónde,

$y$ = porcentaje de peso seco remanente o residual

$y_o$ = porcentaje de peso inicial

$t$ = tiempo

$k$ = tasas relativa de descomposición mensual

### 2.5.2 Tasa relativa de descomposición ( $k$ ).

El coeficiente de descomposición indica la velocidad con que se transforman o descomponen los residuos vegetales. Este coeficiente se corroboró aplicando el modelo planteado por (Weider y Lang, 1982; Olson, 1963) e indica que:

$$k = -[\ln(y/y_o)]/t$$

Dónde,

$k$ = tasa relativa de descomposición

$y$ = porcentaje de peso seco residual

$y_o$ = porcentaje de peso inicial

$t$ = tiempo



También se obtuvo el tiempo teórico requerido para que se descomponga al 50 y al 99% de la hojarasca por (Weider y Lang, 1982; Olson, 1963) calculado como:

$$t_{0,5} = \ln 0,5/k$$
$$t_{0,99} = \ln (1-0,99)/k$$

### 2.5.3 Porcentaje de materia seca.

El contenido de materia seca para las muestras se determinó por el método de secado en dos pasos, un secado parcial a 60 °C durante 48 horas, seguido de un secado total a 105 °C durante al menos 6 horas (Leterme & Estrada, 2006). Se calculó con la siguiente fórmula:

$$\%MSt = \frac{[(\%MS \text{ a } 60^{\circ}C) * (\%MS \text{ a } 105^{\circ}C)]}{100}$$

Dónde,

% MSt = Porcentaje de materia seca total

%MS a 60°C = Porcentaje de materia seca sometida a 60 °C

%MS a 105°C = Porcentaje de materia seca sometida a 105 °C

### 2.5.4 Cantidad de carbono (%C), nitrógeno (%N) y lignina (%L).

La fracción de carbono en hojarasca se determinó mediante el método de Walkley-Black (1934) en el Laboratorio Especializado de Bromatología en la Universidad de Nariño.

Para evaluar la cantidad de N, se utilizó el método Kjeldahl (1883) donde el factor determinante de este método es la descomposición de la muestra con ácido sulfúrico, el cual oxida carbono e hidrogeno a dióxido de carbono y agua.

La determinación de lignina (L) se realizó con bromuro cetiltrimetilamonio usando el “método de la fibra ácido detergente” (ADF), considerablemente más rápido. La fibra ADF está compuesta fundamentalmente por celulosa y lignina y en ella pueden medirse estos dos materiales fácilmente por separado (Van Soest y Wine, 1968).

La evaluación de las variables se realizó a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

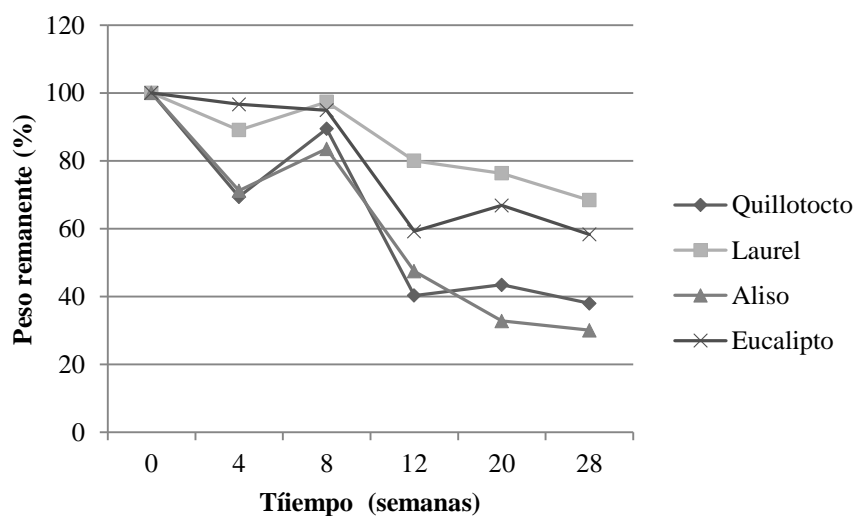
## 2.6 Análisis estadístico

Para analizar las diferencias entre porcentaje de peso remanente, materia seca, carbono, nitrógeno, lignina, relación C/N y relación L/N de los residuos de las especies arbóreas se efectuaron análisis de varianza (ANAVA), cuando las varianzas fueron significativas, las diferencias se determinaron mediante la prueba de Tukey al 5%, los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat versión 2015.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Porcentaje de peso seco remanente de las muestras

El comportamiento del porcentaje de peso seco remanente de las muestras en los periodos de evaluación 4, 8, 12, 20 y 28 semanas de descomposición se observa en la Figura 2.



**Figura 2.** Variación del peso remanente (%) en hojas de *A. acuminata*, *E. globulus*, *T. stans* y *M. pubescens* Durante un periodo de 28 semanas. En el centro de investigación Corpoica-Obonuco. 2014.

El porcentaje de pérdida de peso seco se calculó teniendo en cuenta la diferencia entre el peso seco remanente inicial (100%) y el peso seco a las 28 semanas para

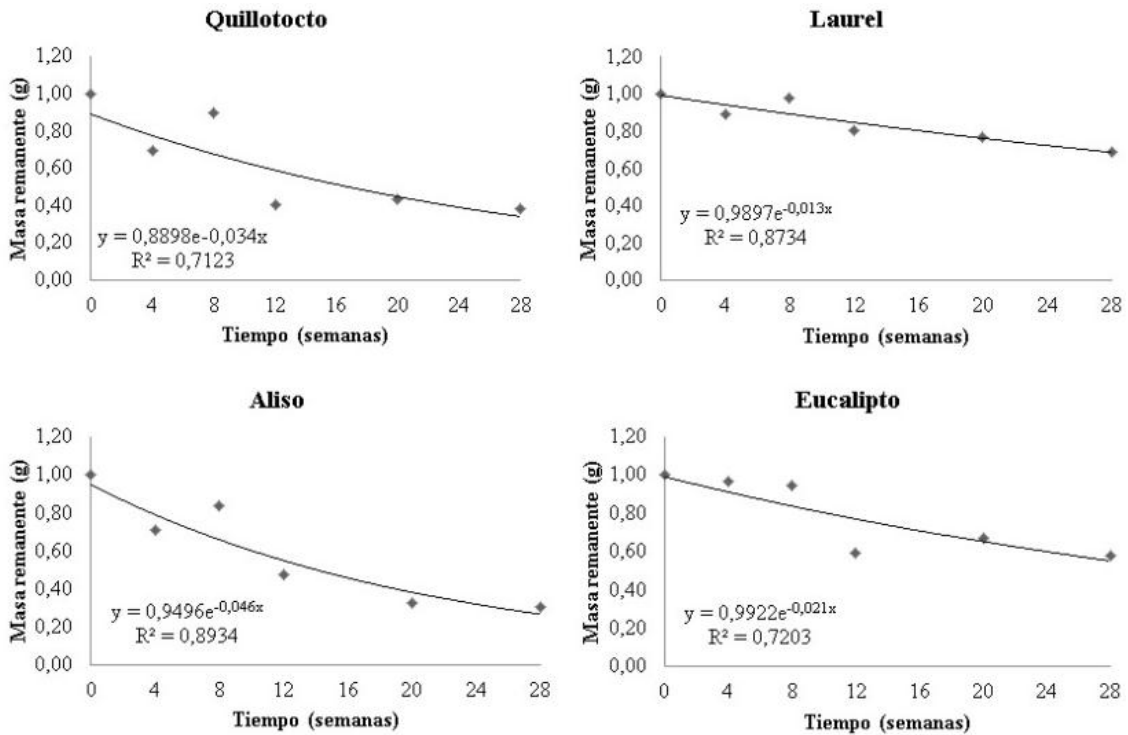
cada una de las especies, observándose una mayor pérdida de peso para *A. acuminata* (69,88%) y *T. stans* (51,97%), mientras que en *E. globulus* (41,67%) y *M. pubescens* (31,56%) se registró una menor pérdida de peso.

Arellano *et al.* (2004), describieron un patrón general para la pérdida de peso de la hojarasca en descomposición que comprende dos fases, una inicial de rápido desarrollo por el lavado de compuestos solubles y la descomposición de materiales lábiles (azúcares, almidones, proteínas y algunos fenoles), y una segunda más lenta, como resultado de la descomposición de elementos recalcitrantes como celulosa, hemicelulosa, lignina y taninos.

Asimismo, otros autores han planteado que durante los estados iniciales (de tres a cinco semanas), la velocidad de descomposición es acelerada debido a la pérdida de compuestos solubles y porque en ese momento se inicia el desarrollo de las poblaciones microbianas que empiezan a consumir los compuestos más fácilmente degradables (Babbar y Ewel, 1989; Coleman *et al.*, 2004; La Caro y Rudd, 1985; Swift *et al.*, 1979).

La pérdida rápida de peso también puede atribuirse a las condiciones climáticas del sitio y la calidad química de la hojarasca de la especie evaluada. En este estudio la precipitación tuvo valores más altos en el primer y segundo mes de evaluación lo que coincide con la mayor pérdida de peso en el proceso de descomposición, que explica que posiblemente las lluvias incrementaron la pérdida en la fase inicial. Al respecto, Díaz (2009) y Varela *et al.* (2007) reportan que las lluvias favorecen la actividad biológica de bacterias y hongos, ya que los microorganismos requieren la presencia de agua para su crecimiento y para llevar a cabo sus funciones metabólicas.

Las regresiones exponenciales entre el peso seco remanente y el tiempo de evaluación siguieron el modelo exponencial simple negativo propuesto por Olson (1963). Este modelo exponencial explica el 89, 87, 72 y el 71% de la variación de la pérdida de peso con relación al tiempo para las especies *A. acuminata*, *M. pubescens*, *E. globulus* y *T. stans* respectivamente (Figura 3).



**Figura 3.** Regresión exponencial simple para la masa remanente de la hojarasca de las cuatro especies arbóreas en el centro de investigación Corpoica- Obonuco, 2014; se indica la ecuación de regresión (R2).

El Análisis de varianza para la variable peso remanente (%) indicó diferencias estadísticas altamente significativas para Tiempo de evaluación y especies ( $p < 0,01$ ) y para la interacción no se encontró diferencias estadísticas ( $p > 0,01$ ). (Tabla 1).

**Tabla 1.** Cuadrado medio para la variable peso remanente (%) de *A. acuminata*, *E. globulus*, *T. stans* y *M. pubescens* en el Centro de investigación de Obonuco- CORPOICA, 2014.

F.V.	GI	CM
Modelo.	19	1469,92
Especie	3	3073,77**
Tiempo	4	4177,65**
Especie*Tiempo	12	166,38 <sup>ns</sup>
Error	40	103,23
Total	59	

\*\*Diferencias altamente significativas ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey para especies (Tabla 2) evidencia que la pérdida de peso ocurre con mayor lentitud para laurel y eucalipto en

comparación con Quillotocto y Aliso, dada la composición química y consistencia de las láminas foliares de las especies.

**Tabla 2.** Prueba de comparación de medias de Tukey para peso remanente (%) de las cuatro especies arbóreas.

<b>Especie</b>	<b>Promedio</b>
Laurel	82,25 a
Eucalipto	75,20 a
Quillotocto	56,14 b
Aliso	52,95 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Los resultados indicaron que Laurel y Eucalipto tienen una menor pérdida de peso debido a que son especies perennifolias que se caracterizan por poseer una protección de naturaleza cerosa, por ello tienen una resistencia mayor a la pérdida, ya que estos compuestos impermeables e hidrofóbicos impiden la solubilización de compuestos polares, por el contrario especies caducifolias que no presentan estos compuestos cerosos, están más expuestas a los procesos de degradación y por ende habrá mayor pérdida del porcentaje de materia orgánica (Martínez *et al.*, 2012).

Con respecto al tiempo, la prueba de comparación de medias de Tukey indica que la mayor pérdida de peso ocurre a partir de la semana 12, diferenciándose estadísticamente de los valores obtenidos a las 4 y 8 semanas de evaluación (Tabla. 3).

**Tabla 3.** Prueba de comparación de medias de Tukey del peso remanente (%) a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

<b>Tiempo (Semanas)</b>	<b>Promedio</b>
8	91,32 a
4	81,60 a
12	56,76 b
20	54,76 b
28	48,73 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

El comportamiento del peso remanente (%) en el tiempo tiende a disminuir influyendo en la velocidad de descomposición, ya que a menor velocidad de

descomposición de las hojarasca habrá mayor acumulación de materia seca (Pardo *et.al*, 1997).

La pérdida de componentes solubles es el primer paso en el proceso de descomposición de las hojas secas, durante este proceso se produce una pérdida de peso de las hojas que corresponde con la pérdida principalmente de iones. Los de hoja caduca tienen una composición más rica en iones, que se pierden más fácilmente, mientras que en las de hoja perenne ocurre de manera contraria, son hojas más ricas en otros componentes por lo que la pérdida de peso durante este proceso es mucho menor (Martínez *et al.*, 2012).

### 3.2 Tasa relativa de descomposición (k)

En la Tabla 4 se presentan las tasas de descomposición anual (*k*) de las cuatro especies arbóreas. Este estudio indicó que los residuos vegetales que presentan mayor tasa son *A. acuminata* (*k*=2,98) seguido por *T. stans* (*k*=2,72); por el contrario *E. globulus* (*k*=1,04) y *M. pubescens* (*k*=0,82) registraron menores tasas de descomposición.

Los coeficientes de descomposición (*k*) obtenidos fueron mayores en comparación con los reportados por Ribeiro *et al.*, (2002) para *E. globulus* oscilando entre 0,37 y 0,42, mientras que Guo y Sims, (2001), para esta misma especie encontraron promedios de la tasa de descomposición de 0,01 y 1,34; para *A. acuminata* se encontró valores superiores a los reportados 1,74; 1,44 y 1.40 por Rocha *et al.*, 2009.

**Tabla 4.** Comparación de las tasas de descomposición anual (*k*) de cuatro especies arbóreas bajo el análisis de regresión según el modelo exponencial simple.

Especie	Modelo	<i>k</i> año <sup>-1</sup>	t 50%	t 99%	R <sup>2</sup>
Quillotocto	$y = 0,8898e^{-0,034x}$	2,72	0,25	1,69	0,7123
Laurel	$y = 0,9897e^{-0,013x}$	0,82	0,85	5,62	0,8734
Aliso	$y = 0,9496e^{-0,046x}$	2,98	0,23	1,55	0,8934
Eucalipto	$y = 0,9922e^{-0,021x}$	1,04	0,67	4,43	0,7203

*k*: tasa de descomposición anual, *t*0.5=tiempo necesario para alcanzar una descomposición del 50% de la hojarasca, *t* 0.99=tiempo necesario para alcanzar una descomposición del 99% de la hojarasca.

Hay factores múltiples que afectan la velocidad de descomposición de la hojarasca, pero básicamente están controlados por tres factores interrelacionados: el clima, la calidad de la hojarasca y la abundancia de organismos degradadores (La Caro y Rudd, 1985; Coûteaux *et al.*, 1995; Sundarapandian y Swamy, 1999; Loranger *et al.*, 2002; Ostertag *et al.*, 2003; Vasconcelos y Laurance, 2005; Sayer, 2006; Berg y McClaugherty, 2008).

Por otra parte, los componentes estructurales y nutricionales de la hojarasca son otros factores que determinan la tasa de descomposición (Zhang y Zak, 1995; Cleveland *et al.*, 2006; Mo *et al.*, 2007; Berg y McClaugherty, 2008) y al menos en estudios de corta duración se considera que la relación C/N pronostica bien las tasas de descomposición de la hojarasca (Wieder y Lang, 1982; Tian *et al.*, 1992; Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003; Alhamd *et al.*, 2004). Por lo general, un bajo valor de C/N anticipa una mayor tasa de descomposición. Los valores más bajos de la relación C/N correspondieron a especies que tuvieron una mayor tasa de descomposición (*A. acuminata* y *T. stans*), confirmado también con los valores más altos de *k* (Tabla 4).

### 3.3 Porcentaje de materia seca

El análisis de varianza para la variable porcentaje materia seca mostró diferencias altamente estadísticas significativas para tiempo ( $p < 0,01$ ), no se encontraron diferencias estadísticas para la interacción y especie ( $p > 0,01$ ) (Tabla 5).

**Tabla 5.** Cuadrados medios para materia seca (%) de los cuatro materiales evaluados.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>
Modelo	19	642,51
Especie	3	253,93 <sup>ns</sup>
Tiempo	4	2366,69**
Especie*Tiempo	12	164,92 <sup>ns</sup>
Error	40	115,74

\*\*Diferencias altamente significativas ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey para Materia seca en el tiempo (Tabla 6) indicó que en la semana 4, 12 y 20 no presentaron diferencias estadísticas entre ellas, mientras que entre la semana 8 y 28 hubo diferencias estadísticas. Se encontró que a las 8 semanas de evaluación el mayor valor de materia seca fue 58,28% debido a que se presentó una alta precipitación, mientras que a las 28 semanas fue de 25,12 %, que correspondió a una baja precipitación.

**Tabla 6.** Prueba de comparación de medias de Tukey de Materia seca (%) a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

Tiempo (semanas)	Promedio
8	58,28 a
20	47,23 ab
4	35,77 bc
12	26,88 c
28	25,12 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

### 3.4 Contenido de carbono (%C), nitrógeno (%N) y lignina (%L)

El análisis de varianza para la variable contenido de carbono mostró diferencias estadísticas altamente significativas para especie y tiempo ( $p < 0,01$ ) no se encontraron diferencias estadísticas para la interacción ( $p > 0,01$ ) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Cuadrados medios para contenido de Carbono (%), Nitrógeno (%), Lignina (%) y relación C/N y L/N de los cuatro materiales evaluados.

F.V	G L	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Lignina (%)	Relación C/N	Relación L/N
Modelo	19	13,36	1,42	124,6	124,39	1,21
Especie	3	59,46**	7,02**	325,5**	580,3**	1,52**
Tiempo	4	9,87**	1,05**	150,77**	104,55**	4,4**
Especie*Tiempo	12	2,99 <sup>ns</sup>	0,15*	65,76**	17,03**	0,04 <sup>ns</sup>
Error	40	1,8	0,07	23,75	4,36	0,02
Total						

\* Diferencias significativas \*\*Diferencias altamente significativas ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey para contenido de carbono en las especies (Tabla 8) indicó que las especies Aliso, Laurel y Eucalipto no presentaron diferencias estadísticas entre ellas, pero sí con la especie Quillotocto. También se encontró que la especie Aliso tuvo el mayor contenido de carbono, por el contrario la especie con el menor contenido de carbono fue Quillotocto.



**Tabla 8.** Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de carbono (%) de las cuatro especies arbóreas.

<b>Especie</b>	<b>Promedio</b>
Aliso	49,42 a
Laurel	48,74 a
Eucalipto	48,41 a
Quillotocto	44,96 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

El porcentaje de carbono encontrado en esta investigación para *A. acuminata* fue similar al reportado por Rocha *et al.* 2009 quienes hallaron que el contenido de Carbono en hojarasca es de 49,6% en bosque de pino, asimismo Aznar, 2008 encontró 53,97% siendo este mayor al encontrado. Figueroa *et al.* 2005 mencionan que el máxima contenido de carbono encontrada para esta especie varió entre el 48,3 a 37,2% en bosque de Aile.

Gilabert *et al.* 2007, indicaron que para *E. globulus* el valor de carbono fue de 41,7 % en inventario de carbono en plantaciones bonificadas de eucaliptos, siendo este inferior al encontrado en esta investigación. Para Quillotocto y Laurel este estudio reportó valores de 44,96 y 48,74% de carbono respectivamente.

La prueba de comparación de medias de Tukey para contenido de carbono en el tiempo (Tabla 9) indicó que en los tiempos de 4 y 8 semanas al igual que en las 12 y 20 semanas no presentaron diferencias estadísticas entre ellas, pero sí con respecto al tiempo de 28 semanas. Se encontró que a las 4 semanas de evaluación se registró el mayor contenido de carbono, mientras que el menor ocurrió a las 28 semanas.

**Tabla 9.** Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de carbono (%) a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

<b>Tiempo (semanas)</b>	<b>Promedio</b>
4	48,97 a
8	48,33 a
20	48,1 ab
12	47,42 ab
28	46,6 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

La dinámica que siguió el carbono en la hojarasca mostró un descenso lento durante toda la investigación debido a la pérdida principalmente de componentes hidrosolubles de la hojarasca como hidratos de carbono y sustancias proteicas de bajo peso molecular (Salazar, 2008).

Generalmente, la evolución del carbono orgánico durante el proceso de descomposición es paralela a la pérdida de masa, ya que los compuestos estructurales de las hojas tienen como compuesto principal el carbono (García, 2001).

El análisis de la varianza para la variable contenido de nitrógeno mostró diferencias estadísticas altamente significativas para especie y tiempo ( $p < 0,01$ ) mientras que para la interacción especie-tiempo registró diferencias estadísticas significativas (Tabla 7).

La prueba de comparación de medias de Tukey para contenido de nitrógeno con respecto a las especies en el tiempo (Tabla 10) indicó que Aliso y Quillotocto en las semanas 12 y 20 no presentaron diferencias estadísticas entre ellas pero si hubo diferencias estadísticas con respecto a Eucalipto en las semanas 4 y 8. Encontrando que la mayor cantidad de nitrógeno corresponde a Aliso en la semana 12 y 20 (3,58%), y la menor cantidad a Eucalipto en las primeras semanas de evaluación (1,37 y 1,42%).

**Tabla 10.** Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de Nitrógeno (%) para la interacción de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

Especie	Tiempo (Semanas)				
	4	8	12	20	28
Quillotocto	2,42 bcd	2,46 bcd	3,4 a	3,33 a	2,42 bcd
Laurel	1,88 de	1,81 de	2,12 de	2,3 cd	2,26 cd
Aliso	3,22 ab	3,07 abc	3,51 <sup>a</sup>	3,58 a	2,98 abc
Eucalipto	1,37 e	1,42 e	1,99 de	2,08 de	1,99 de

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Los promedios de contenido de nitrógeno en las cuatro especies indicaron que en las 4 y 8 semanas la cantidad de nitrógeno no fue muy variable, mientras que en las semanas 12 y 20 hubo un aumento en la cantidad seguida de una disminución

a las 28 semanas. La especie *A. acuminata* por ser fijadora de nitrógeno se encontró dentro de un rango de contenido de nitrógeno relativamente elevado en comparación con las demás especies seguido de *T. stans* que por ser una especie caducifolia no fijadora de nitrógeno tiene menor cantidad; *M. pubescens* y *E. globulus* son las especies que tienen menor contenido por ser de hoja perenne. Este hecho se encuentra acorde con la teoría sugerida por varios autores (Tyrrell y Boerner, 1987; Del Arco *et al.*, 1991; Son y Gower, 1991), en la que afirman que las especies de hoja caduca retranslocan más nutrientes que las especies de hoja perenne. En esta investigación para *A. acuminata* el contenido de nitrógeno fue superior al reportado por Rocha *et al.*, (2009), quienes encontraron valores de 1,8% en un bosque de pinos; para *T. stans* Rodríguez y Apráez (2000) hallaron 2% de carbono en un bosque Altoandino.

De acuerdo con Constantinides y Fownes (1994), el contenido inicial de nitrógeno es uno de los indicadores de la velocidad de descomposición de diferentes árboles en el Trópico. Así en varios trabajos sobre descomposición se ha demostrado que la hojarasca rica en nitrógeno se descompone más rápidamente que una pobre en este elemento (Kochy y Wilson, 1997; Tanner, 1981 citados por Girón, 2004).

El análisis de la varianza para la variable contenido de Lignina mostró diferencias estadísticas altamente significativas para especie, tiempo e interacción ( $p < 0,01$ ) (Tabla 7).

La prueba de comparación de medias de Tukey para contenido de lignina con respecto a las especies en el tiempo (Tabla 11) indicó únicamente diferencias estadísticas entre Quillotocto a las 4 semanas (41,1%), siendo esta la de mayor contenido de lignina y Aliso a las 8 semanas (20,8%) con la menor cantidad.

**Tabla 11.** Prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de lignina (%) para la interacción de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

Especie	Tiempo (semanas)				
	4	8	12	20	28
Quillotocto	41,1 a	30,4 abcd	39,77 ab	27,93 abcd	36,57 abc
Laurel	25,17 bcd	24,13 cd	26,93 abcd	31,4 abcd	24,07 cd
Aliso	33,8 abcd	20,8 d	39,97 ab	40 ab	34,9 abcd
Eucalipto	25,97 bcd	22,13 cd	25,67 bcd	31,37 abcd	28,23 abcd

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

En general los residuos vegetales con elevados contenidos de lignina son más resistentes a la descomposición que los materiales pobres en este compuesto. Esto probablemente sucede porque existen pocos microorganismos capaces de degradar la lignina y son, además, exclusivamente aerobios. Sin embargo, la lignina se degrada interrumpidamente, aunque con lentitud, en condiciones aerobias en el suelo (Prause *et al.*, 2001).

Las actividades lacasa y ligninasa responden a la producción enzimática extracelular de hongos para acceder a fuentes de carbono recalcitrantes como la lignina, por lo que, la actividad debería incrementar a medida que las poblaciones de hongos aumentan. A las 8 semanas de evaluación se presentaron los porcentajes más bajos para todas las especies debido a que la precipitación fue elevada y se presentaron condiciones anaerobias en el sustrato; para Hammel (1997), la disponibilidad de oxígeno es importante en la actividad enzimática, ya que cuando existe excesiva precipitación se pueden crear condiciones en la que las poblaciones aeróbicas vean limitada su actividad dado la elevada humedad en su medio.

Las propiedades físicas y químicas de las hojas pueden obstaculizar la relación entre las tasas de descomposición y actividad enzimática, alterando la efectividad y estabilidad de las enzimas o limitando el acceso de la comunidad microbiana (Allison y Vitousek, 2004).

Según Hunter *et al.*, (2003); Barajas y Álvarez (2003), la fauna del suelo y de la hojarasca son los factores biológicos reguladores de la descomposición que

causan cambios químicos en los compuestos de esta. Este comportamiento puede atribuirse a lo apetecible que resultan los primeros constituyentes a la fauna descomponedora y, como resultado de ello, existe un aumento en la proporción de los más recalcitrantes.

El análisis de la varianza para la relación C/N mostró diferencias estadísticas altamente significativas para especie, tiempo e interacción ( $p < 0,01$ ) (Tabla 7).

La prueba de comparación de medias de Tukey para la relación C/N con respecto a las especies en el tiempo (Tabla 12), indicó que Eucalipto a las 4 y 8 semanas no presentó diferencias estadísticas entre ellas, al igual que Laurel en las semanas 8 y 4. Sin embargo se registraron diferencias estadísticas entre Quillotocto a las 12 semanas con respecto a las especies y tiempos anteriormente mencionados.

**Tabla 12.** Prueba de comparación de medias de Tukey de la relación C/N para la interacción de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

Especie	Tiempo (semanas)				
	4	8	12	20	28
Quillotocto	19,5 cdefg	19,38 defgh	12,98 h	13,77 gh	18,88 defgh
Laurel	26,42 b	27,07 b	22,46 bcde	21,31 bcdef	21,63 bcdef
Aliso	15,88 fgh	16,39 efgh	14,06 gh	13,74 gh	15,81fhg
Eucalipto	35,7 a	33,73 a	25,92 bc	23,74 bcd	23,89 bcd

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

La relación de C/N en este estudio, a lo largo del proceso de descomposición en el tiempo de las especies *M.pubescens* y *E.globulus* entre las 4 y 28 semanas mostró una tendencia a la disminución, debido a los menores contenidos de C en relación a los de N, mientras que para *T. stans* y *A. acuminata* el comportamiento tiende a mantenerse en la primera y última semana de evaluación. Sin embargo en la semana 12 se presentó la mayor disminución de la relación C/N con respecto a las semanas 4 y 8 para todas las especies, encontrando que la mayor relación C/N corresponde a Eucalipto en las semanas 4 (35,7) y 8 (33,73), y la menor relación en Quillotocto a las 12 semanas de evaluación (12,98).

En esta investigación para *A. acuminata* la relación C/N es similar a la reportada por Aznar, 2008 quien encontró una relación de 15,41, en un análisis multicriterio de la descomposición de la hojarasca, mientras que Morán *et al.* 2012, reportaron una relación de 20,5 en sistemas silvopastoriles en la granja Experimental FEDEPAPA, siendo este superior al de este estudio; para *T. stans* Morán *et al.* 2012 reportan una relación de 31,8 que superó a la encontrada en este estudio; para *E. globulus* según Gonzáles, 2008 en plantaciones (*E. globulus* y *E. maidenii*) y Morán *et al.* (2012) registraron relaciones de 42 y 54,7 respectivamente siendo superiores a las encontradas en esta investigación. Con respecto a *M. pubescens* no se reportan relaciones C/N por ello los datos obtenidos en investigación son referentes para futuras investigaciones.

Duchaufour (1987), dividió la hojarasca en mejorante, acidificante e indiferente, teniendo en cuenta los componentes del material vegetal y la relación C:N. La mejorante tiene hojas poco lignificadas y ricas en N, con una relación C:N inferior a 25. La acidificante tiene altos contenidos de lignina, lípidos y taninos, y la relación C:N supera el umbral de 50. La indiferente posee características intermedias, pero la relación C:N de sus residuos vegetales no lignificados fluctúa entre 30 y 50. De acuerdo a este estudio, el follaje de *T. stans* y *A. acuminata*, poseen una relación C:N inferior a 25, muy beneficiosa para el suelo. La hojarasca con menor relación C:N se descompone más rápido debido a la mayor disponibilidad de N para los descomponedores (Wagner y Wolf, 1998). Estas especies tiene hojas poco lignificadas y ricas en nitrógeno, por estas características se clasifican como mejorantes, en comparación con *E. globulus* y *Morella pubescens*, en el cual la relación C:N de sus residuos está en el rango de 30-50, con elevados contenidos de ligninas y lípidos, clasificándose como indiferentes.

El análisis de la varianza para la relación L/N mostró diferencias estadísticas altamente significativas para especie y tiempo ( $p < 0,01$ ), y no para la interacción ( $p > 0,01$ ) (Tabla 7). La prueba de comparación de medias de Tukey para la

relación L/N en las especies (Tabla 13) muestra diferencias estadísticas entre ellas.

**Tabla 13.** Prueba de comparación de medias de Tukey de la relación L/N de las cuatro especies arbóreas.

<b>Especie</b>	<b>Promedio</b>
Eucalipto	1,64 a
Laurel	1,4 b
Quillotocto	1,1 c
Aliso	0,92 d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

La relación L/N también ha sido considerado como índice predictor de la descomposición. De acuerdo con Aerts (1997), está relacionada de forma negativa con la tasa de descomposición, de tal manera que la hojarasca con L/N baja, se descompone rápidamente (Melillo *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 1989). Los resultados obtenidos en esta investigación indican que la especie con mayor relación L/N fue Eucalipto, determinando que esta especie tenga una descomposición más lenta, por el contrario la especie con la menor relación L/N fue Aliso, indicando una rápida descomposición, que se corrobora con la tasa de descomposición ( $k$ ) (Tabla 4).

La prueba de comparación de medias de Tukey para la relación L/N en el tiempo (Tabla 14) indicó que hubo diferencias estadísticas entre todos los tiempos. La última semana de evaluación presentó la mayor relación y por el contrario en la cuarta semana se obtuvo la menor relación.

**Tabla 14.** Prueba de comparación de medias de Tukey de la relación L/N de las cuatro especies arbóreas a las 4, 8, 12, 20 y 28 semanas.

<b>Tiempo (semanas)</b>	<b>Promedio</b>
28	2,15 a
20	1,5 b
12	1,19 c
8	1 d
4	0,5 e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Según Teklay y Malmer, 2004 la proporción relativa de lignina va aumentando linealmente durante la descomposición. Esto se debe a la relativa acumulación de lignina a medida que la descomposición avanza. En hojarascas con altas concentraciones de nitrógeno, la lignina se descompone más lentamente, mientras que en las que poseen bajas cantidades de nitrógeno se favorece el crecimiento de organismos como los basidiomicetos que son capaces de degradar la lignina (Coûteaux *et al.*, 1991)

#### 4 CONCLUSIONES

La mayor pérdida de peso fue para *A. acuminata* (69,88%) y *T. stans* (51,97%) mientras que la menor se presentó para *E. globulus* (41,67%) y *M. pubescens* (31,56%).

La tasa de descomposición anual ( $k$ ) indicó que las especies *A. acuminata* ( $k=2,98$ ) y *T. stans* ( $k=2,72$ ) se descomponen más rápidamente en el tiempo, mientras que *E. globulus* ( $k=1,04$ ) y *M. pubescens* ( $k=0,82$ ) tienden a descomponerse más lentamente.

El porcentaje de carbono mas alto fue para *A. acuminata* (49,42%) y el menor para *T. stans* (44,96%). El mayor valor de nitrógeno correspondió *A. acuminata* (3,58%) mientras el menor valor fue para *E. globulus* (1,37%). *E. globulus* obtuvo el mayor valor de lignina (2,57%) en tanto que el menor fue *A. acuminata* (0,31%).

La mayor relacion C/N fue para *E. globulus* (35,70) mientras que la menor fue para *T. stans* (12,98); las especies que presentaron las mayores relaciones L/N fueron *E. globulus* (1,64) y *M. pubescens* (1,4) y las menores correspondieron a *T. stans* (1,1) y *A. acuminata* (0,92).

Al comparar las variables de los materiales vegetales evaluados se diferenció dos grupos: uno conformado por especies como *A. acuminata* y *T. stans* que se caracterizó por tener una rápida descomposición el cual se podría utilizar para suplementar suelos con déficit de nutrientes; y el segundo conformado por *E.*



*globulus* y *M. pubescens* recomendados para disminuir la pérdida de elementos y proteger las propiedades físicas del suelo. Por lo tanto y desde el punto de vista de la sostenibilidad el segundo grupo podría aportar beneficios a largo plazo.

## 5 BIBLIOGRAFIA

Aerts R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 79 (3): 439-449.

Alarcón, M.; Aidazabal, R. y Martínez, J. 1996. Influencia del sol y la sombra en la calidad y el rendimiento del grano de café. Centro Agrícola. Cuba. *Acta Agrícola* 23(13): 11-16 p.

Allison, S; Vitousek, P. 2004. Extravellular enzyme activities and carbon chemistry as drivers of tropical plant litter decomposition. *Biotropica* 36(3):285-296.

Alhamd L.; Arakaki S. y Hagihara A. 2004. Decomposition of leaf litter of four tree species in a subtropical evergreen roadleaved forest, Okinawa Island, Japan. *Forest Ecology and Management* 202:1-11.

Álvarez, SJ. y Becerra, ER. 1996. Leaf decomposition in a Mexican tropical rain forests. *biotropica*, 28 (4): 657-667.

Arellano, R.; Paolini, J.; Vásquez, L. y Mora, EM. 2004. Producción y descomposición de hojarasca en tres agroecosistemas de café en el estado de Trujillo, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 48: 7-14.

Aznar, R. 2008. Análisis multicriterio de la descomposición de la hojarasca de seis especies arbóreas. *Ecología del Suelo*, UCM. 9 p.

Babbar, L. y Ewel, J. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotropica*, 21 (1): 20-29.

Barajas, G. y Álvarez, J. 2003. The relationships between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest. *Applied Soil Ecology*. 24:91

Berg, B. y McClaugherty, C. 2008. Plant litter: Decomposition, humus formation, Carbon sequestration, 2a edición. Springer, Berlin. 338 p.

Cleveland, C.C.; Reed, S.C. y Townsend, A.R. 2006. Nutrient regulation of organic matter decomposition in a tropical rain forest. *Ecology* 87:492-503.

Cobo, JG.; Barrios, E.; Kass, DC. y Thomas, RJ. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant and Soil*, 240: 331-342.

Coleman, DC.; Crossley, DA. y Hendrix, PF. 2004. *Fundamentals of soil ecology*. 2.a ed. California (U. S. A.): Elsevier Academia Press. p. 375.

Constantinides, M y Fownes, JH. 1994. Nitrogen mineralization of leaf and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin, and soluble polyphenol-concentrations. *Soil Biology and Biochemistry*, 26: 49-55.

Coûteaux, M-M.; Bottner, P. y Berg B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution* 10:63-66.

Coûteaux, M.M.; Mousseau, M.; Célérier, M.L. y Bottner, P. 1991. Increased atmospheric CO<sub>2</sub> and litter quality: decomposition of sweet chestnut leaf litter with animal food web of different complexities. *Oikos* 61: 54-64.

Duchaufour, P. 1987. *Edafología, edafogénesis y clasificación*. Editorial Masson. Barcelona España. 493 p.

Del Arco, J. M.; Escudero, A. y Garrido, M. V. 1991. Effects of site characteristics on retranslocation from senescing leaves. *Ecology* 72, 701-708.

Díaz, M. 2009. Producción, descomposición de hojarasca y macroinvertebrados fragmentadores en cuatro agroecosistemas de la cuenca del río la Vieja. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 113 p.

Figueroa, C.; Etchevers, J.; Velázquez, A. y Acosta, M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca *Terra Latinoamericana*, vol. 23, núm. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 62 p.

García, E. 2001. Efecto sobre el suelo de la hojarasca de arbustos en la Sierra de Guadarrama, Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 259 p.

Gilbert, H.; Meza, F.; Cabello, H. y Aurtenechea, M. 2007. Estimación del Carbono Capturado en las Plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos Relacionadas con el DL-701 de 1974. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Ciencias Forestales. Chile. 26 p.

Girón, M. 2004. Evolución del bosque de *Elaeagnus angustifolia* L. en Valdemoro (España) Tesis de doctorado. Departamento de Ecología, Universidad Complutense de Madrid. España. 150 p.

González, D. 2008. Extracción y reciclaje de nutrientes por cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Facultad de Agronomía. Maestría en Ciencias Agrarias-Opción Ciencias Del Suelo. 34-36 p.

Guo, L.B. y Sims, R.E.H. 2001. Effects of light, temperature, water and meatworks effluent irrigation on eucalypt leaf litter decomposition under controlled environmental conditions. *Applied Soil Ecology*, 17 (3), 229-237 p.

Hammel, K. 1997. Fungal degradation of lignin. In. *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. Cadish, G; Giller, K. (Eds). CAB International. 33-45 .

Hunter, M.D.; Adl, S.; Pringle, C.; Coleman, D. 2003. Relative effects of macroinvertebrates and habitat on the chemistry of litter during decomposition. *Pedobiología*. 47:101

Jiménez, F.; Muschler, R. y Köpsell, E. 2001. *Funciones y Aplicaciones de los Sistemas Agroforestales*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 187 p.

Kurz, BC.; Couteaux, MM.; Thiery, JM.; Berg, B. y Remacle J. 2005. A comparison of litterbag and direct observation methods of scots pine decomposition measurement. *Soil biology and biochemistry* 37: 2315-23.18.

La Caro F. y Rudd R.L. 1985. Leaf litter disappearance rates in Puerto Rican montane rain forest. *Biotropica* 17:269-276.

Leterme, P & Estrada, F. 2006. Análisis de alimentos y forrajes destinados a los animales. Laboratorio de Nutrición animal. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de producción animal. 12-16 p.

Loranger, G.; Ponge, J.F.; Imbert, D. y Lavelle, P. 2002. Leaf decomposition in two semi-evergreen tropical forests: influence of litter quality. *Biological Fertility of Soils* 35:247-252.

Martínez, I.; Arriba, B.; Barrera, B.; Campón, A.; Carballo, R.; Ciudad, S.; Díaz, C.; García, R.; Gill, J. y Herrero, D. 2012. Descomposición de la capa de hojarasca de diferentes especies perennifolias y caducifolias. *AmbioCiencias: Revista de divulgación*, N°. 9, 30-38 p.

Melillo, JM.; Aber, JD.; Muratore, JF. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63: 621-626.

Mo, J.; Brown, S.; Xue, J.; Fang, Y.; Li, Z.; Li, D. y Dong S. 2007. Response of nutrient dynamics of decomposing pine (*Pinus massoniana*) needles to simulated N deposition in a disturbed and a rehabilitated forest in tropical China. *Ecological Research* 22:649-658.

Morán, Y.; Portillo, M.; Burbano, H.; Vélez, J.; Ruiz, H. y Navia, J. 2012. Efecto de la incorporación de hojarasca de especies arbóreas sobre el CO<sub>2</sub>, pH y fósforo en un suelo Vitric Haplustand, *Revista de Ciencias Agrícolas* 29 (2):16-25 p.

Olson, S.J. 1963. Energy storage and the balance of producer and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44: 322-331.

Ostertag, R.; Scatena, F.N. y Silver W.L. 2003. Forest floor decomposition following hurricane litter inputs in several Puerto Rican forests. *Ecosystems* 6:261-273.

Pardo, F.; Gil, L.; Pardos, J.A. 1997. Descomposición y acumulación de la hojarasca en el chaparral de Montejo (Madrid): diferencias entre especies y tipos de bosque. U.D. anatomía, fisiología y genética forestal. Ciudad universitaria, Madrid.475 p.

Paz, F. y Recalde, D. 2003. Determinación preliminar de la variación nutricional mineral del suelo y su relación con el banco de proteínas, en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño, en el Centro de Investigación CORPOICA - Obonuco. Tesis de grado (Ingeniero Agroforestal). Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

Prause, J. y A.P. de Lifschitz, 2001. "Constantes de descomposición de hojas y la relación lignina/celulosa en cuatro especies forestales de la Reserva Estricta de Colonia Benítez-Chaco". Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. Argentina.

Ribeiro, C.; Madeira, M. y Araujo, M.C. 2012. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management*, 171 (1) p. 31-41.

Rocha, L.; Guadalupe, A. y Ramírez, N. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de Pino-Encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, núm. 84, junio, pp. 1-12 Sociedad Botánica de México Distrito Federal, México.

Rodríguez, P.; Apráez, E. 2000. Forestales del Bosque alto andino, su composición y Digestibilidad. *Revista Facultad de Ciencias agrícolas*. Facultad de Ciencias pecuarias, Universidad de Nariño. 183 p.

Salazar, S. 2008. Estudio de procesos ecológicos para el desarrollo sostenible del Castaño (*Castanea Sativa* Mill.) de la Sierra de Francia. Tesis de Doctorado. Departamento de Biología animal, Ecología, Parasitología, Edafología y Química agrícola, Universidad de Salamanca. Salamanca. 201-204 p.

Sayer, E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* 81:1-31.

Son, Y.; Gower, S. T. 1991. Photosynthetic rates in relation to nitrogen recycling as an adaptation to nutrient deficiency in peat bog plants. *Canadian Journal of Botany* 50, 2227-2233.

Sundarapandian, S.M. y Swamy, P.S. 1999. Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India. *Forest Ecology and Management* 123:231-244.

Swift, M.J.; Heal, O.W. y Anderson J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Berkeley (U. S. A.): University of California press. Blackwell Scientific publications. 363 p.

Taylor, B.R.; Parkinson, D; Parsons, Wf. 1989. Nitrogen and lignin as predictors of litter decay rates: A microcosm test. *Ecology*, 70: 97-104.

Teklay, T. y Malmer, A. 2004. Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shaded-coffee and agricultural land-uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 777-786.

Tian, G.; Kang B.T. y Brussaard L. 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions-decomposition and nutrient release. *Soil Biology and Biochemistry* 24:1051-1060.

Tyrrell, L. E. y Boerner, R. E. J. 1987. *Larix laricina* and *Picea mariana*: relationships among leaf life-span, foliar nutrient patterns, nutrient conservation, and growth efficiency. *Canadian Journal of Forest Research* 6, 1570-1577.

Van soest, P.J. y Wine, R.H. 1968. "Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of plant Cell Wall Constituents": *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*: 50; 50-50.

Varela, A.; Cortés, C.; Cotes, C. 2007. Cambios en la edafofauna asociada a descomposición de la hojarasca en un bosque nublado. *Revista Colombiana de Entomología*, 33 (1):45-53 p.

Varela, A. y Rueda, D. 2010. Organismos del suelo. En: *Ciencia del suelo: Principios básicos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1ra Edición. Ed./Bogotá. 397-484 p.

Vasconcelos, H.L. y Laurance, W.F. 2005. Influence of habitat, litter type, and soil invertebrates on leaf-litter decomposition in a fragmented Amazonian landscape. *Oecologia* 144:456-462.

Wagner, G. H. & Wolf, D. C. 1998. Carbon transformations and soil organic matter formation. En: Sylvia, D.M.; Furrhman, J.J.; Hartel, P.G. y Zuberer, D.A. *Principles and applications of soil microbiology*. First edition. Prentice Hall. Inc. Upper Saddle River, River, USA, 550 p.

Weider, R. K. y Lang, G.E.1982, A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63(6):1636-1642.

Xuluc-Tolosa, F.J.; Vester, H.F.M.; Ramírez-Marcial, N.; Castellanos-Albores, J. y Lawrence, D. 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *Forest Ecology and Management* 174:401-412.

Zapata, R. y Osorio, N. 2010. La materia orgánica del suelo. En: *Ciencia del suelo: Principios básicos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1ra Edición. Ed./Bogotá. 362 p.

Zhang, Q. y Zak, J.C. 1995. Effects of gap size on litter decomposition and microbial activity in a subtropical forest. *Ecology* 76:2196-2204.