



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Carrera de Ingeniería Agronómica**

**TÍTULO:**

**“Evaluación de la descomposición de biomasa foliar bajo diferentes tipos de cobertura forestal en un ecosistema altoandino al sur del Ecuador”**

*Tesis previa a la obtención  
del título de Ingeniero Agrónomo*

**AUTORES:** Christian Leonardo Cedillo Cedillo.  
C.I: 0105933949

Lauro Damián Jara Arias.  
C.I: 0105927081

**DIRECTOR:** Ing. Pablo Marcelo Borja Ramón. PhD.  
C.I: 0102949088

Cuenca – Ecuador

29/04/2019



## RESUMEN

La dinámica de los bosques comprende algunos procesos, como la tasa de descomposición, ciclaje de nutrientes, reserva de carbono, etc. Los estudios dentro de este campo son relevantes, pero limitados. Es importante conocer sobre el comportamiento de algunos factores involucrados en la degradación de la hojarasca de algunas coberturas forestales. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto que tiene el tipo de cobertura forestal sobre la tasa de descomposición en cuatro tipos de masas forestales: bosque primario (LBP), (L=Llaviucu), bosque secundario (LBS), bosque secundario bajo eucalipto (LBSE) y bosque secundario bajo pino (LBSP). La estimación de la tasa de descomposición se realizó a través de técnicas de incubación en campo usando bolsas de descomposición, con una frecuencia de muestreo de dos semanas, durante 224 días. El peso remanente se calculó con la diferencia de pesos (inicial, final) de la muestra, para luego determinar la velocidad de descomposición ( $k$ ) y su relación con diferentes variables. El bosque que presentó una descomposición más rápida fue el LBSE ( $k=-0,00236$ ), el LBSP una descomposición más lenta ( $k=-0,00159$ ), y el LBP y SBS mostraron una descomposición similar. El tiempo, cobertura foliar, pendiente y humedad relativa fueron variables que presentaron correlación con la pérdida de peso de algunas coberturas según la correlación de Spearman. La tasa de descomposición se ve afectada con la presencia de especies exóticas como el pino y eucalipto, mostrando una diferencia en el porcentaje y velocidad de descomposición, frente a las especies nativas.

**PALABRAS CLAVE:** Dinámica de comportamiento, Descomposición de hojarasca, Peso remanente, Tasa de descomposición, Factor de descomposición  $k$ .



## ABSTRACT

The dynamics of forests include several processes, among them: the decomposition rate, nutrient cycle, carbon reserve, etc. The studies within this field are relevant, but they are limited. Human intervention and land use change put forest systems at risk, for this reason, it is important to know about the behavior of some factors involved in the leaf litter decomposition of some forest cover. The objective of the research was to evaluate the effect that forest cover type has on the rate of decomposition in four types of forest stands: primary forest (LBP), (L = Llaviucu), secondary forest (LBS), secondary forest under eucalyptus (LBSE) and secondary forest under pine (LBSP). The estimation of the decomposition rate was made through field incubation techniques using litter bags, with a sampling frequency of two weeks, for 224 days. The remaining weight was calculated with the weight difference (initial, final) of the sample, to then determine the rate of decomposition ( $k$ ) and its relation to different variables. The forest that showed the fastest decomposition was LBSE ( $k = -0.00236$ ), LBSP a slower decomposition ( $k = -0.00159$ ), and LBP and LBS showed a similar decomposition. Time, leaf coverage, slope and relative humidity were variables that correlated with the weight loss of some coverages according to the Spearman correlation. The rate of decomposition is affected by the presence of exotic species such as pine and eucalyptus, showing a difference in the percentage and speed of decomposition, compared to native species.

**KEYWORDS:** Behavioral dynamics, Leaf litter decomposition, Remaining weight, Decomposition rate, Decomposition factor  $k$ .



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	8
ÍNDICE DE ANEXOS .....	10
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	11
DERECHO DE AUTOR .....	12
AGRADECIMIENTOS .....	16
DEDICATORIA.....	17
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	19
CAPITULO II: JUSTIFICACIÓN.....	22
CAPITULO III: OBJETIVOS.....	24
3.1 Objetivo general .....	24
3.2 Objetivos específicos.....	24
3.3 Hipótesis .....	24
CAPITULO IV: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	25
4.1 Bosques altoandinos .....	25
4.2 Suelos altoandinos.....	25
4.3 Descomposición de la hojarasca .....	26
4.4 Importancia de la descomposición de hojarasca en bosques .....	27
4.5 Los bosques y el cambio climático.....	28
4.6 Método de descomposición – bolsas de hojarasca “Litter Bag” .....	30



CAPITULO V: MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
5.1 Área de estudio.....	31
5.2 Tipos de bosques o escenarios de estudio.....	32
5.3 Diseño de las parcelas de estudio. ....	34
5.4 Determinación del porcentaje de cobertura foliar .....	35
5.5 Cálculo de la pendiente.....	36
5.6. Variables ambientales .....	37
5.7 Estimación de la tasa de descomposición de la biomasa foliar en los cuatro tipos de masas forestales.....	38
5.8 Análisis de laboratorio .....	39
5.9 Análisis estadísticos.....	41
CAPITULO VI: RESULTADOS .....	42
6.1 Porcentaje de cobertura foliar y pendiente de las diferentes masas forestales	42
6.2 Estimación de la tasa de descomposición de la biomasa foliar en los cuatro tipos de masas forestales consideradas en el área de estudio .....	43
6.2.2. Correlación de las diferentes variables con la tasa de descomposición de la hojarasca.....	45
CAPITULO VII: DISCUSIÓN .....	48
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
ANEXOS.....	59



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje (%) de cobertura foliar de los cuatro tipos de bosques.....	42
Tabla 2. Porcentaje de pendiente de las diferentes coberturas forestales en estudio. .....	42
Tabla 3. Grado de diferenciación de las coberturas forestales, según Kruskal-Wallis. .....	43
Tabla 4. Peso promedio remanente (g), de las diferentes coberturas forestales, con su respectiva medida de dispersión (D.E).....	44
Tabla 5. Tasa de descomposición de la hojarasca (k), y tiempo estimado de descomposición del 50% y 99% de hojarasca.....	45
Tabla 6. Correlación de las variables con la pérdida de peso de la hojarasca según la prueba de Spearman.....	46



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de la distribución y conformación de las parcelas, según las masas forestales. Fuente: Grupo de trabajo. ....	35
Figura 2. Representación gráfica de la pendiente topográfica.....	37
Figura 3. Distribución de las trampas de descomposición.....	38
Figura 4. Porcentaje de descomposición de las diferentes masas forestales con respecto al tiempo. LBP = Llaviucu bosque primario, LBS = Llaviucu bosque secundario, LBSE = Llaviucu bosque secundario con plantación de eucalipto, LBSP = Llaviucu bosque secundario con plantación de pino. ....	47
Figura 5. Comportamiento de los datos - Peso remanente. ....	60
Figura 6. Variables ambientales y el porcentaje de descomposición. ....	66



## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Mapa de ubicación del Área de Estudio y las parcelas de muestreo (Vegetación 1 = chaparros, cultivos y pasto mejorado. Vegetación 2= Bosque denso). Fuente: Imágenes Satelitales – Landsat 8.; QGIS 2.18 (QGIS Development Team, 2016). .....	32
Imagen 2. Distribución geográfica de las parcelas en el área de estudio. ....	33
Imagen 3. Ubicación y nivelación del densiómetro esférico en el campo. ....	36
Imagen 4. Clinómetro .....	37
Imagen 5. <i>Cornus peruviana</i> . ....	61
Imagen 6. <i>Hedyosmum luteynii</i> .....	61
Imagen 7. <i>Meriania sanguinea</i> .....	61
Imagen 8. <i>Myrcianthes rhopaloides</i> .....	61
Imagen 9. <i>Ocotea heterochroma</i> .....	61
Imagen 10. <i>Piper andreanum</i> .....	61
Imagen 11. <i>Weinmannia fagaroides</i> . ....	61
Imagen 12. <i>Alnus acuminata</i> . ....	61
Imagen 13. <i>Eucalyptus globulus</i> .....	61
Imagen 14. Instalación de las trampas de captura de hojarasca.....	62
Imagen 15. Elaboración de las trampas de descomposición (litter bag).....	62
Imagen 16. Preparación de las etiquetas .....	62
Imagen 17. Llenado del material en las bolsas y etiquetado .....	62
Imagen 18. Preparación del material para el traslado al campo.....	62
Imagen 19. Instalación de las bolsas de descomposición en campo .....	62
Imagen 20. Descomposición de la hojarasca en la superficie del suelo.....	62
Imagen 21. Bolsa de descomposición en proceso de degradación.....	62





Imagen 22. Extracción del material de las bolsas en el laboratorio ..... 62

Imagen 23. Secado de la hojarasca en la estufa para su posterior pesado ..... 63

Imagen 24. Medición del porcentaje de sombra en los bosques con el uso del densiómetro esférico ..... 63

Imagen 25. Tabulación de datos. .... 63

Imagen 26. Comparación de las especies nativas vs especies exóticas en descomposición..... 65

Imagen 27. Descomposición en el primer mes..... 68

Imagen 28. Descomposición de la hojarasca a los dos meses. .... 68

Imagen 29. Muestras de bosque primario a los cuatro meses ..... 68

Imagen 30. Hojarasca de bosque secundario tras cinco meses de descomposición. .... 68

Imagen 31. Residuos de hojarasca de bosque secundario. .... 69

Imagen 32. Separación de hojarasca descompuesta y suelo..... 69

Imagen 33. Estado de descomposición de una muestra de bosque primario a los ocho meses..... 69

Imagen 34. Estado de descomposición de una muestra de bosque secundario a los ocho meses. .... 69



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Coordenadas UTM-WGS84, de las parcelas donde se realizó la investigación.....	59
Anexo 2. Comportamiento de los datos según el peso remanente en gramos, respecto al tipo de cobertura forestal .....	60
Anexo 3. Algunas de las especies presentes en los bosques de Llaviucu. ....	61
Anexo 4. Proceso ilustrado del trabajo de campo .....	62
Anexo 5. Constante de descomposición k, calculado para cada muestreo con relación al tiempo .....	64
Anexo 6. Muestras del LBSE, donde se puede comparar que la cantidad de hojarasca de las especies nativas (recuadro rojo), es mayor a las de eucalipto (recuadro amarillo), así mismo, las especies nativas son las que arrancan con el proceso de degradación (ejemplo: absorción de humedad, intervención de microorganismos, etc.). .....	65
Anexo 7. Comportamiento de las variables ambientales frente al porcentaje de descomposición de la hojarasca de las diferentes masas forestales. ....	66
Anexo 8. Porcentaje (%) de peso perdido de la hojarasca de las diferentes masas forestales con respecto al tiempo de muestreo. ....	67
Anexo 9. Estados de descomposición de material foliar de las diferentes masas forestales.....	68
Anexo 10. Dinámica de la pérdida de peso remanente de las diferentes coberturas forestales, dentro de sus respectivas parcelas en estudio. ....	70



## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

- LBP: Llaviucu Bosque Primario.
- LBS: Llaviucu Bosque Secundario.
- LBSE: Llaviucu Bosque Secundario bajo Eucalipto.
- LBSP: Llaviucu Bosque Secundario bajo Pino.
- $r_s$ : Correlación de Spearman.
- $k$ : Constante de descomposición.
- MO: Materia orgánica.



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Christian Leonardo Cedillo Cedillo, autor del trabajo de titulación “Evaluación de la descomposición de biomasa foliar bajo diferentes tipos de cobertura forestal en un ecosistema altoandino al sur del Ecuador”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 29 de abril del 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christian Leonardo Cedillo Cedillo'.

---

Christian Leonardo Cedillo Cedillo,  
C.I: 0105933949



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Christian Leonardo Cedillo Cedillo, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación de la descomposición de biomasa foliar bajo diferentes tipos de cobertura forestal en un ecosistema altoandino al sur del Ecuador”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 29 de abril del 2019

---

Christian Leonardo Cedillo Cedillo,  
C.I: 0105933949



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, Lauro Damián Jara Arias autor de la tesis **“Evaluación de la descomposición de biomasa foliar bajo diferentes tipos de cobertura forestal en un ecosistema altoandino al sur del Ecuador”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 29 de abril del 2019

Lauro Damián Jara Arias

C.I: 0105927081

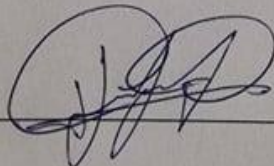
## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Yo, Lauro Damián Jara Arias, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación de la descomposición de biomasa foliar bajo diferentes tipos de cobertura forestal en un ecosistema altoandino al sur del Ecuador”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 29 de abril del 2019



Lauro Damián Jara Arias

C.I: 0105927081



## AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien nos ha brindado salud y sabiduría durante estos años, para poder culminar con nuestra carrera.

Un agradecimiento especial a toda nuestra familia, que de una u otra manera fueron ese apoyo constante en el transcurso de nuestra carrera universitaria.

A nuestro director, Ing. Pablo Borja R. PhD, por la amistad, confianza y apoyo en el la construcción de este trabajo de investigación.

Agradecemos a cada uno de los miembros del tribunal, por el acompañamiento y el apoyo en la parte final de este trabajo.

Al Ing. Franklin Marín, por la amistad y el aporte a la finalización de esta investigación.

Al señor Lauro Marcial Jara, por su valiosa ayuda en el trabajo de campo y por el apoyo brindado para la ejecución de las diferentes etapas de este estudio.

Un agradecimiento a la Universidad de Cuenca, y de manera especial a cada uno de nuestros docentes por el conocimiento compartido en esta nuestra carrera profesional.

Christian Cedillo y Lauro Jara.





## DEDICATORIA

Agradezco a Dios por la vida y por darme el valor necesario para salir día a día en adelante. A mis padres, en especial a mi madre Gloria María Cedillo R, por darme la vida y por ser una mujer admirable que nunca descansa hasta verme realizado, mamá “gracias por darme la mejor herencia, mi educación”. A mis hermanos, William y Damián, por ser ese apoyo de perseverancia en este mi camino de la vida. La gratitud se almacena cuando la memoria se guarda en el corazón, es por ello que agradezco a Katherine Ortiz por el cariño y el apoyo incondicional en esta etapa de mi vida universitaria. A mis abuelos y tíos, gracias por su apoyo y consejos que me supieron inculcar.

Christian Cedillo Cedillo



## **DEDICATORIA.**

A mis padres: Nube y Lauro, quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional durante todo este tiempo, gracias a ellos he logrado culminar este trayecto de la vida. A mi abuelito Carlos, hombre trabajador y de carácter fuerte, a quien recuerdo con mucho cariño y a mi abuelita Guillermina, mujer virtuosa y sencilla; pese a que ya no están los tengo presentes siempre. A Mariela Alexandra, mi novia y amiga incondicional, quien ha formado parte importante de mi vida estos últimos años. Finalmente, a un gran amigo, Pocho, quien me ha acompañado durante mucho tiempo y ha compartido conmigo muy buenos momentos.

Lauro Jara Arias



## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En América Latina están localizados el 50% de los países más biodiversos del mundo, y son precisamente Brasil, Colombia, Ecuador, México y Perú (Aguirre, Ojeda y Eguiguren, 2010). El Ecuador es un país que posee una gran biodiversidad, lo cual se debe a la presencia de la cordillera de los Andes que da origen a diferentes pisos altitudinales, que poseen su propio microclima y tipo de suelo, además la presencia del callejón interandino ecuatoriano en donde existen hoyas y valle, cada uno de estos con su propia diversidad (Bravo, 2014). Dentro de esta biodiversidad se destacan los bosques altoandinos, como es el caso de Llaviucu, considerado bosque maduro con alta diversidad biológica por lo que actualmente este se encuentra protegido y su acceso al público es controlado.

Los bosques han sido considerados inicialmente como fuente de biomasa (madera), mismos que hoy en día se les atribuye varias utilidades ambientales, como por ejemplo sumideros de carbono, nutrientes, conservación de la biodiversidad, etc. (Brüschweiler, Höggel y Kläy, 2004). Además, otra de las utilidades de gran importancia de los bosques radica principalmente en el equilibrio hidrológico, gracias a la presencia de elementos constituyentes de un bosque, como la hojarasca, la vegetación del suelo, los arbustos, los árboles y los residuos existentes dentro de los bosques (palos, ramas, musgos), mismos que contribuyen a mantener en un bajo nivel la erosión, evitar la escorrentía, direccionar las aguas subterráneas, etc. (FAO, 2009). Los bosques también participan en la regulación de la humedad atmosférica y en los patrones de precipitación sobre zonas terrestres (Blanco, 2017).



Los ecosistemas forestales a más de cubrir con el 29 % de la capa terrestre, es el suelo que presenta la mayor cantidad de carbono (C) almacenado por unidad de superficie (36%), en comparación a otros tipos de uso de suelo (FAO, 2002).

Según Cargua, Rodríguez, Recalde y Vinueza (2014); la captura y almacenamiento del carbono orgánico en el suelo se relaciona con la caída de material foliar y su descomposición. La tasa de descomposición es una de las principales vías para el retorno de los nutrientes al suelo (Robertson & Paul, 1999), la descomposición heterotrófica de los microorganismos del suelo influye en la cantidad de C y nutrientes almacenados en este (Karberg, Scott, & Giardina, 2008). La descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca, es un medio que garantiza el normal funcionamiento de ciclos biogeoquímicos en el suelo (Castellanos-Barliza & Peláez, 2010). Además, otro de los beneficios que presentan los bosques, es el aporte a la mitigación del cambio climático por medio de sus diversas funcionalidades, principalmente como sumidero de carbono (FAO, 2002).

Los estudios dentro de este campo a nivel local, son relevantes y están limitados, en nuestra región, Quichimbo, Veintimilla, Carrión y Jiménez (2016); con el fin de estudiar la importancia que juega la hojarasca en el ciclaje de nutrientes en el suelo, midieron la cantidad de hojarasca que producían los bosques de pino en una zona de la provincia de Loja, al sur del País. Dentro de la zona de Llaviucu del Parque Nacional Cajas también se llevó a cabo un estudio por parte de Rincón, Merchán, Sparer, Rojas y Zarate (2017); en donde analizaron la tasa de descomposición de hojarasca en ciertas especies, como medida para evaluar la integridad funcional de ríos altoandinos del sur del Ecuador. Estas publicaciones son base antecedente para



evaluar la relación de variables como: bosques, tasa de descomposición, ciclaje de nutrientes, secuestro de carbono, etc.



## CAPITULO II: JUSTIFICACIÓN

Los bosques andinos del Ecuador presentan un alto grado de funcionalidad ecológica, actúan como soporte de la biodiversidad, regulan el ciclo hidrológico e intervienen en la conservación de los suelos (Bussmann, 2005). Sin embargo, la intervención humana y los diferentes usos de la tierra en las cuencas hidrográficas ponen en riesgo la calidad y la cantidad de estos recursos (Rincón et al., 2017). Por ejemplo, la mesofauna es uno de los componentes que interviene en la descomposición y fertilidad de los suelos, pero, es un grupo sensible a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio a causa de los cambios en el uso del suelo (Socarrás y Robaina, 2011).

La vegetación presente en los bosques actúa como sumidero de carbono, parte de este elemento es liberado a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, sin embargo, el resto se acumula como sumidero temporal en la madera y de forma permanente en la materia orgánica, como es la hojarasca (Artetxe, Del Hierro, Gartzia, Pinto y Arias, 2014), siendo importante la relación que existe entre la caída y la descomposición de la biomasa en el suelo.

La biomasa aérea de diferentes tipos de bosque, luego de caer sobre la superficie del suelo, arranca con un proceso de descomposición, mismo que depende de los distintos factores ambientales, como temperatura, precipitación, humedad relativa, humedad del suelo, actividad microbiana del suelo, entre otros factores (García, Ríos y Molina, 2010). Otro agente importante que interviene en la descomposición de esta biomasa es el porcentaje de cobertura de vegetación que cubre el suelo, dando lugar a diferentes procesos bioquímicos, los mismos que permiten regular la cantidad y contenido de materia orgánica dentro de un ecosistema



(Rocha y Ramírez, 2009). Sobre estos procesos ecológicos existe escasa información, especialmente sobre la variación en el rango de la tasa de descomposición respecto al tiempo y ciclaje de nutrientes en el suelo.

Sin embargo, en la zona de estudio no está registrada esta información, por lo que se busca describir cómo se producen dichos procesos, en relación al tiempo y la variación entre los diferentes bosques presentes.

Por esta razón, en el presente proyecto se mide la variabilidad del grado de descomposición de la materia orgánica entre las diferentes coberturas forestales y la incidencia que tiene cada uno de ellos para cumplir con este proceso. Con esta información, se aporta con datos valiosos sobre el comportamiento y dinámica de algunos factores involucrados en la descomposición de la hojarasca de algunos bosques presentes en los Andes del sur del Ecuador, como es el caso del bosque Llaviucu, ubicado en Parque Nacional El Cajas.



## **CAPITULO III: OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

- Evaluar el efecto que tiene el tipo de cobertura forestal sobre las tasas de descomposición de material foliar en cuatro tipos de masas forestales: bosque nativo, bosque secundario, plantaciones de pino y plantaciones de eucalipto, en el Parque Nacional de El Cajas – Llaviucu.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el porcentaje de cobertura foliar en cada parcela de las diferentes coberturas forestales.
- Estimar las tasas de descomposición de la biomasa foliar en los cuatro tipos de masas forestales consideradas en el área de estudio.
- Evaluar el efecto del tipo de masa forestal en las tasas de descomposición del material foliar.

### **3.3 Hipótesis**

Ho: No existe diferencia significativa en la tasa de descomposición foliar, frente a las distintas coberturas forestales de la zona de estudio a evaluar.

Ha: Existe diferencia significativa en la tasa de descomposición foliar, frente a las distintas coberturas forestales de la zona de estudio a evaluar.





## CAPITULO IV: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Bosques altoandinos

Los bosques altoandinos se encuentran entre los 2.900 y 3.400 m s.n.m. (Fernández de Córdoba, 2011), es la vegetación de transición entre el bosque de neblina y el páramo, actualmente está presente en forma de fragmentos o parches distribuidos en las quebradas, este aislamiento se debe a factores tales como deslaves, derrumbes u otros desastres naturales y los ocasionados por el ser humano como incendios o deforestación (Suárez, 2008). Estos bosques albergan un considerable porcentaje de las microcuencas de Llaviucu y Mazan; en las cuales se han identificado cerca de 300 especies de plantas vasculares, entre las que se pueden encontrar *Ocotea heterochroma*, *Weinmannia fagaroides*, *Escallonia myrtilloides*, *Miconia pustulata*, *Axinaea affinis*, *Miconia denticulata*, *Hedyosmum cumbalense*, *Gynoxys spp*, *Badilloa salicina* y *Clethra fimbriata* (Quinteros, Piercomiso y Ansaloni, 2003).

Los bosques altoandinos cumplen una función relevante en el control de la erosión de los suelos y la captación del recurso hídrico (Bussmann, 2005), así también, en la regulación de caudales de fuentes abastecedoras de agua de áreas con una población densa como Quito y Cuenca (León, Gonzalez y Gallardo, 2010). Gracias a ello es posible abastecer la demanda de agua en el Ecuador, ya que el consumo promedio por persona (43500 m<sup>3</sup>), es cuatro veces más alto que el promedio a nivel mundial (Viteri, 2010).

### 4.2 Suelos altoandinos

Los suelos altoandinos se han desarrollado principalmente sobre los depósitos piroclásticos resultante de las erupciones volcánicas (Dercon, Bossuyt, Bièvre,



Cisneros y Deckers, 1998), pueden ser Andosoles e Histosoles, mismo que pueden llegar a variar por su morfología, propiedades y principalmente debido a los factores de la pedogénesis (edad, naturaleza, composición química y condiciones climáticas) (Podwojewski, 1999).

Mientras la roca base de los Andes del norte está formada por vulcanismo Cuaternario, la parte sur se encuentra formada por sedimentos terciarios, la mayoría de los suelos tiene una capa orgánica muy amplia de hasta 48 cm de espesor (Busmann, 2005).

#### **4.3 Descomposición de la hojarasca**

La producción y descomposición de hojarasca son procesos donde la materia orgánica se deposita y se reduce en sus elementos constituyentes como C, N, P, Na, K, Ca, Mg; esto depende de las condiciones ambientales, misma que puede llegar a variar en ciertas épocas del año (Rocha y Ramírez, 2009).

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 (Rocha y Ramírez, 2009).

La fauna juega un papel esencial en la descomposición, ya que conjuntamente con los microorganismos transforman los restos de material vegetal y animal (Bonilla, Roncallo, Jimeno y Garcia, 2008). Sin embargo, la altitud es un factor que afecta la biología del suelo, según León, Ramos y García (2010); en los bosques altoandinos, el proceso de descomposición de la hojarasca presenta una disminución ante las bajas temperaturas que afectan a la biodiversidad de los microorganismos.



Por otro lado, es importante considerar que parte de la descomposición se puede ver afectada por la invasión de especies exóticas (Aguilar, 2005), que pueden modificar o generar cambios en la calidad y cantidad de hojarasca de un sistema, además de que modifican las condiciones ambientales como: la humedad del suelo, la disponibilidad de luz e interferir en la cantidad de la comunidad de descomponedores (Fernández y Aragón, 2014).

La materia orgánica presente en suelos de zona tropical presenta un acelerado proceso de descomposición a diferencia de los suelos en zonas templadas en donde el nivel de descomposición es menor, como consecuencia de esto, surge el problema de la fertilidad de los suelos principalmente, ya que a mayores temperaturas existe una disminución de materia orgánica. (Arguello, 1991).

Según Fernández y Aragón (2014); la tasa de descomposición presenta una variabilidad significativa entre especies exóticas y especies nativas, siendo estas últimas quienes presentan mayor descomposición en un periodo de tiempo determinado, debido (para este caso) a la composición lábil de la hojarasca de las especies nativas; mientras que en conjunto de especies (nativas y exóticas) la tasa de descomposición es similar, es decir, que solo existen diferencias interespecíficas.

#### **4.4 Importancia de la descomposición de hojarasca en bosques**

La descomposición de hojarasca forestal en los sistemas llega a ser una vía importante para proporcionar elementos orgánicos e inorgánicos que permiten los procesos del ciclo de los nutrientes en el suelo (Mudrick, Hoosein, Hicks, y Townsend, 1994)



La materia orgánica vegetal comprende de una fuente importante de circulación de energía y nutrientes entre las plantas y el suelo, así también, interviene en la fluctuación de temperatura, regulación de la erosión y control del factor hidrológico (Sánchez, Crespo, y Hernández, 2009)

La caída de la hojarasca en el suelo genera un proceso importante de transferencia de nutrientes de las plantas hacia el suelo, ya que al caer forma una especie de mantillo, el cual cubre el suelo y éste es protegido ante las condiciones de temperatura y humedad, y también los elementos nutritivos regresan en gran cantidad ya que al descomponerse la hojarasca estos elementos se incorporan al suelo en donde son absorbidos nuevamente por las plantas (Bonilla, Roncalle, Jimeno, y García, 2008). Más de la mitad de la absorción anual de nutrientes en los bosques se debe a la reincorporación de hojarasca al suelo y el reciclaje de estos nutrientes, y representa la principal fuente de minerales disponibles (López et al., 2013).

#### **4.5 Los bosques y el cambio climático**

Los bosques absorben dióxido de carbono - CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis, lo almacenan como carbono y lo liberan mediante la respiración de las plantas, la descomposición de la hojarasca y la combustión. La función de sumidero de carbono de un bosque se incrementa con el crecimiento de los árboles y su permanencia a largo plazo para mantener acumulado el carbono (FAO, 2006).

Los bosques ayudan a mitigar los efectos del cambio climático mediante la fijación del carbono y la materia orgánica presente en el suelo. También mediante el humus producido por la descomposición de la materia vegetal muerta que actúa como depósito de carbono. Es así que los bosques del planeta y sus suelos almacenan más de un billón de toneladas de carbono (FAO, 2006).



Los ecosistemas terrestres almacenan alrededor de 2100 Gt de carbono en los organismos vivos, la hojarasca y la materia orgánica del suelo, casi tres veces más que la cantidad presente en la atmósfera (Unión Europea, 2010). El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), así como el vapor del agua, el metano y otros gases de efecto invernadero, permiten que la tierra mantenga una temperatura atmosférica estable. Sin embargo, en los últimos años el incremento de CO<sub>2</sub> generado por la quema de combustibles fósiles y la deforestación, ha alterado el equilibrio natural del planeta (MPPEUCT, 2012).

Además, las hojas de los árboles mediante su proceso natural de descomponen vuelven a liberar sus elementos inorgánicos, cumpliendo así el ciclo de la materia orgánica (MPPEUCT, 2012). De esta manera actividades biológicas como la respiración de las plantas, animales y en sí la descomposición de la materia orgánica, producen gases de efecto invernadero (GEI) de forma natural, principalmente como el N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, en cantidades pequeñas (Semarnat, 2009).

Salcedo (2014), analizó la interacción entre los efectos del aumento de temperatura, la quema sobre la mesofauna del suelo y la descomposición de hojarasca en un ecosistema de páramo en el norte del Ecuador, donde indica que los efectos como el incremento de la temperatura afectan significativamente a la biodiversidad y abundancia de la mesofauna en el páramo, por ende, disminuye la descomposición de hojarasca, esto luego de inducir temperatura artificial del ambiente mediante cámaras de calentamiento en cada parcela de estudio.

Convertir a los ecosistemas terrestres en reservas de carbono y otros nutrientes, contribuye a mejorar y garantizar significativamente la fertilidad de los



suelos, mejorando así la capacidad de producción y servicios de los ecosistemas (IPCC, 2003).

#### **4.6 Método de descomposición – bolsas de hojarasca “Litter Bag”**

Las trampas de descomposición “Litter Bags”, por lo general suelen ser de nailon o de fibra de vidrio, las bolsas de vidrio son para sitios de intensa presencia de luz solar; el tamaño de la malla puede ser de 1 mm a 2 mm (tamaño de los espacios de la malla - poros), considerando el acceso de los organismos a la hojarasca o el objetivo en sí del estudio (Karberg et al., 2008). El tamaño de la malla se considera también de acuerdo al ingreso o salida de organismos presentes en el suelo o para minimizar la pérdida de partículas, aunque en ciertos casos se manipula para excluir grupos funcionales y macro consumidores (Bärlocher, 2005; Karberg et al., 2008).

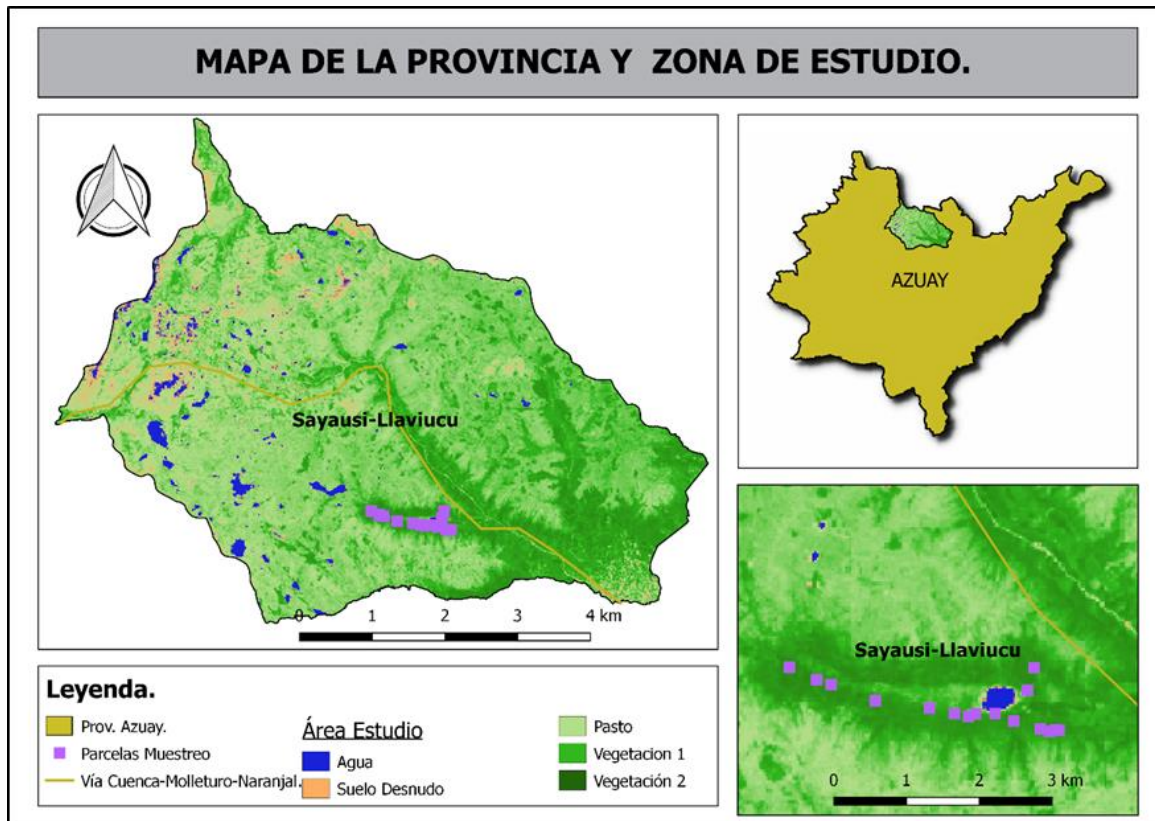


## CAPITULO V: MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en el valle de Llaviucu ( $2^{\circ}50' S$ ,  $79^{\circ}8' O$ ), provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Sayausí (Imagen 1). Sitio que se encuentra a una altitud que oscila entre los 3100 y 3500 m s. n. m. con una temperatura que va desde los  $-2^{\circ}C$  hasta los  $18^{\circ}C$ , en el valle existe una alta diversidad florística que van desde los bosques, matorrales, pastizales, hasta la transición con el páramo donde se encuentra herbazal característico (Pinos, 2012), Llaviucu está dentro de la microcuenca del río Taita Chugo, esta abastece del 30% de agua potable a la ciudad de Cuenca (MAE, 2015).

El bosque de Llaviucu, se encuentra en un estado de sucesión secundaria, pero existen todavía actividades mínimas de intervención humana, pastoreo de animales y turismo (Rincón et al., 2017). Mazán y Llaviucu son bosques que conforman dos de las 12 microcuencas hidrográficas de mayor importancia dentro del Parque el Cajas (Chacón, 2016), el cual incluye las cuencas altas de los ríos Llaviucu, Mazan, Soldados y Quinuas que drenan hacia el Atlántico y las cuencas de Jerez, Angas, Canoas, San Antonio, El Chorro, Miguir, Patul, que drenan hacia el Pacífico (Insigma, 2018).



**Imagen 1.** Mapa de ubicación del Área de Estudio y las parcelas de muestreo (Vegetación 1 = chaparros, cultivos y pasto mejorado. Vegetación 2= Bosque denso). Fuente: Imágenes Satelitales – Landsat 8.; QGIS 2.18 (QGIS Development Team, 2016).

Fuente: Grupo de trabajo.

## 5.2 Tipos de bosques o escenarios de estudio.

En el área de estudio se distinguen diferentes tipos de coberturas de bosque, en donde se establecieron las parcelas (Imagen 2) (Anexo 1). En cada cobertura se encuentran una variedad de especies, que de acuerdo con el informe no publicado del proyecto DIUC “Regeneración natural de bosque secundario altoandino bajo la influencia de diferentes tipos de coberturas nativa y de plantaciones exóticas en el Parque Nacional El Cajas en la provincia del Azuay” (2017), se partió de las cuatro coberturas forestales existente en este bosque de Llaviucu: 1.- Bosque primario o maduro (LBP), 2.- Bosque secundario (LBS), 3.- Bosque secundario bajo eucalipto (LBSE), 4.- Bosque Secundario bajo pino (LBSP).





**Imagen 2.** Distribución geográfica de las parcelas en el área de estudio.  
Distribución geográfica de las parcelas en el área de estudio.  
Fuente: Google Earth, 2018

Según el inventario florístico (Informe no publicado del proyecto DUIC, 2017), dentro de cada una de estas coberturas forestales se encuentra especies como:

LBP: *Brugmansia sanguinea*, *Cestrum* sp., *Cornus peruviana*, *Critoniopsis floribunda*, *Hedyosmum luteinii*, *Meriania sanguinea*, *Myrcianthes rhopaloides*, *Ocotea heterochroma*, *Palicourea heterochroma*, *Piper andreanum*, *Symplocos quitensis*, *Verbesina latisquama*, *Weinmannia fagaroides*.

LBS: *Cestrum* sp., *Critoniopsis floribunda*, *Hedyosmum luteynii*, *Meriania sanguinea*, *Miconia bracteolata*, *Myrcianthes rhopaloides*, *Myrsine andina*, *Ocotea heterochroma*, *Oreopanax avicenniifolius*, *Palicourea heterochroma*, *Piper andreanum*, *Salvia corrugata*, *Saracha quitensis*, *Solanum nutans*, *Vallea stipularis*, *Verbesina latisquama*, *Viburnum triphyllum*.

LBSE: *Barnadesia arborea*, *Cestrum* sp., *Critoniopsis floribunda*, *Escallonia myrtilloides*, *Eucalyptus globulus*, *Hedyosmum luteynii*, *Meriania sanguinea*, *Miconia bracteolata*, *Miconia crocea*, *Myrcianthes rhopaloides*, *Myrica parvifolia*, *Myrsine*

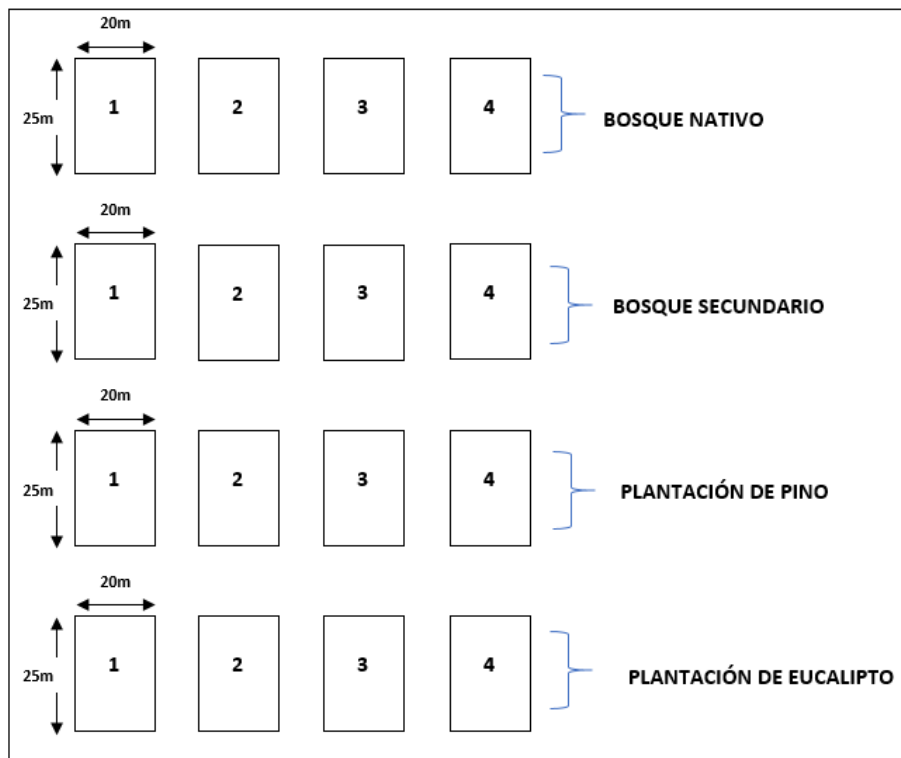


*andina, Ocotea heterochroma, Oreopanax avicenniifolius, Piper andreanum, Solanum nutans, Valeriana hirtella, Verbesina latisquama, Viburnum triphyllum, Weinmannia fagaroides.*

LBSP: *Alnus acuminata, Gynoxys sp., Myrsine dependens, Oreocallis grandiflora, Palicourea heterochroma, Pinus patula, Verbesina latisquama, Weinmannia fagaroides.*

### **5.3 Diseño de las parcelas de estudio.**

Las parcelas se encuentran diseñadas según el informe no publicado del proyecto DUIC (2017), mismas que son de forma rectangular y con una superficie de 500 m<sup>2</sup> (20 m x 25 m) cada una y están dentro de 4 tipos de cobertura forestal: bosque primario, bosque secundario, plantación de pino y plantación de eucalipto. Cada tipo de cobertura o masa forestal tiene 4 parcelas como repetición, en total 16 parcelas trazadas. (Figura 1).



**Figura 1.** Diseño de la distribución y conformación de las parcelas, según las masas forestales.

Fuente: Grupo de trabajo.

#### 5.4 Determinación del porcentaje de cobertura foliar

Primeramente, se tomaron los datos de cobertura arbórea en cada parcela con el uso del densiómetro esférico con espejo cóncavo; instrumento que está dividido en 24 cuadros, a cada uno de estos cuadros, se asume cuatro sub cuadros imaginarios y sistemáticamente se asigna un punto por cada cuadro lleno con el reflejo de la cobertura foliar (Jennings, Brown, y Sheil, 1999) (Lemmon, 1956).

Previo a la lectura de cobertura, el equipo fue colocado sobre una base fija y nivelado a una altura aproximada de 1.30 m (Imagen 3). Se realizó cinco lecturas por parcela, una en el centro y una lectura por cada una de las cuatro esquinas de la parcela, en cada una de las posiciones se registró el valor en los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O), este valor se promedió y se multiplicó por la constante del

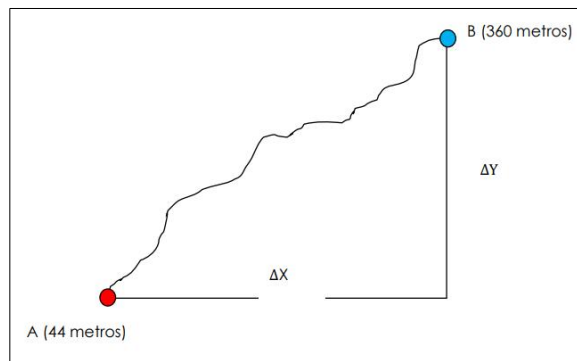
equipo (1,04). El valor resultado se expresó como el porcentaje de cobertura arbórea (Muñoz, 2013) (Lemmon, 1956)



**Imagen 3.** Ubicación y nivelación del densiometro esférico en el campo.  
Fuente: Grupo de trabajo.

### 5.5 Cálculo de la pendiente

La aplicación de la pendiente en un terreno se basa en el control del desnivel existente en una ladera ( $\Delta Y$ ) mediante las cotas, y su variación en el espacio ( $\Delta X$ ) (Ibañez, Gisbert y Moreno, 2015) Para este proceso se utilizó un clinómetro, este instrumento se emplea para determinar este valor ya sea en grados o porcentaje. El lector se situó en la parte baja de la parcela y el otro individuo se colocó en línea recta en la parte alta (con relación a las cotas del terreno), la lectura se la realizó apuntando el equipo a los ojos del segundo sujeto, esto con el fin de obtener una línea paralela entre los individuos y el terreno. Se realizó una lectura del porcentaje de pendiente por parcela.



**Figura 2.** Representación gráfica de la pendiente topográfica.  
Fuente: Ibañez et al., 2015



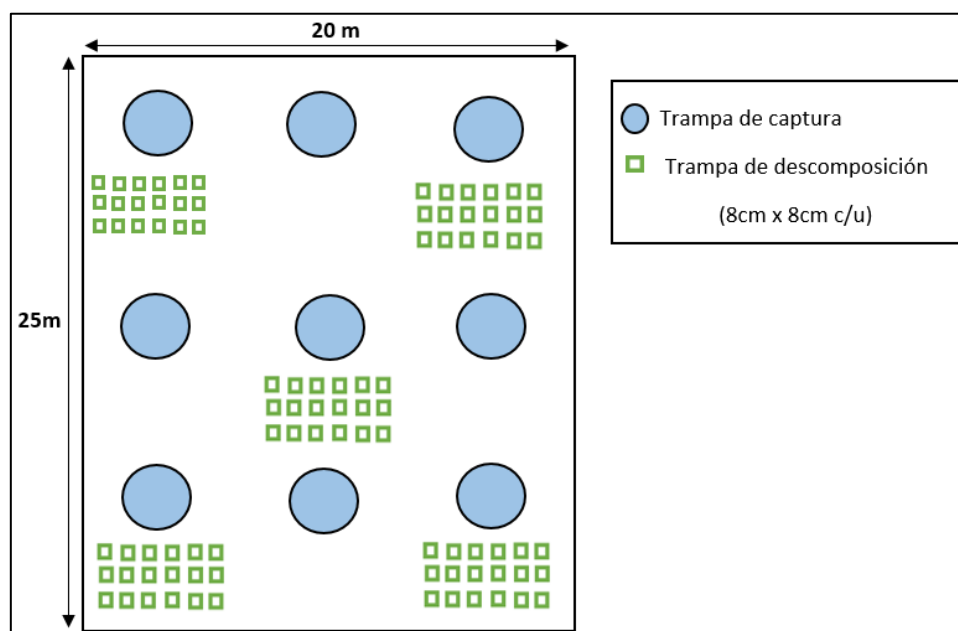
**Imagen 4.** Clinómetro  
Fuente: Grupo de trabajo.

## 5.6. Variables ambientales

Las variables ambientales como la temperatura, precipitación y humedad relativa fueron descargadas de la estación meteorológica que está ubicada en el bosque protegido de Llaviucu, de acuerdo a la etapa y año en el que se realizó este estudio. La estación se encuentra bajo el manejo del departamento de Gestión Ambiental - ETAPA. La frecuencia con la que se registran los datos es diaria, mismos que para el respectivo análisis fueron promediados de acuerdo a las fechas de muestreo.

### 5.7 Estimación de la tasa de descomposición de la biomasa foliar en los cuatro tipos de masas forestales

La estimación de la tasa de descomposición de la biomasa foliar se la realizó a través de técnicas de incubación en campo, usando trampas de descomposición "Litterbag" (Anexo 2) (Bärlocher, 2005). Las trampas fueron elaboradas con una malla de nylon de 2 mm de apertura y tuvieron una superficie total de 8 x 8 cm (Imagen 15), mismas que fueron colocadas en el horizonte orgánico edáfico, dentro del sub-horizonte Oi (horizonte orgánico en constante descomposición y alta actividad microbiana) (Anexo 2 – imagen 19,20) (FAO, 2006). Estas trampas fueron colocadas en 5 diferentes puntos dentro de cada una de las parcelas (Figura 3)



**Figura 3.** Distribución de las trampas de descomposición.  
Fuente: Grupo de trabajo.

Para evaluar el proceso de descomposición, el periodo de monitoreo comprendió de 8 meses previo a una fase de premuestreo. La frecuencia de muestreo fue cada dos semanas, donde se retiraron cinco trampas por parcela en cada muestreo. El número de trampas que se utilizaron fueron, 16 unidades por cada punto



(más dos trampas extras), en cada parcela se encuentran cinco puntos, es decir, ochenta (80) trampas por parcela y en total para las 16 parcelas en estudio se empleó 1280 trampas de muestreo.

### 5.8 Análisis de laboratorio

La etapa de pre muestreo consistió en la recolección del material foliar en campo mediante el empleo de sarán de 2 m x 2 m, a una altura aproximada de 50 cm, la recolección se realizó en cada una de las 16 parcelas en estudio bajo cada una de las cuatro coberturas forestales. El material foliar se estandarizó por medio de la determinación de la biomasa seca, empleando una temperatura estándar de 85 °C por 24 horas para alcanzar un peso constante, para luego introducir 2 gramos de este material seco en cada una de las trampas. Se instalaron en cada una de las diferentes parcelas, con el respectivo material foliar de origen.

Luego, con una frecuencia de muestro de cada dos semanas, las trampas fueron llevadas al laboratorio nuevamente, donde fue secado a 85 °C por 24 horas y pesado en una balanza analítica para determinar su biomasa remanente, es decir, la diferencia entre el peso inicial con respecto al peso final, medida en gramos, con relación al tiempo (previo a una limpieza de las trampas removiendo residuos de plantas, raíces, musgos, etc.).

La estimación de la tasa de descomposición de las diferentes masas forestales, se estableció mediante la ecuación (Olson, 1963).

$$k = \frac{-\ln\left(\frac{X}{X_0}\right)}{t}$$



Donde:

- k: Constante de descomposición.
- ln: Logaritmo natural.
- X: Peso de la hojarasca en un tiempo dado.
- X<sub>0</sub>: Peso inicial de la hojarasca en el tiempo cero.
- t: Tiempo expresado en días.

Según Petersen y Cummins (1974); el valor numérico del coeficiente k indica la velocidad de descomposición de la hojarasca es:  $k < -0,005$  es lenta;  $-0,005 < k < -0,010$  es media;  $k > -0,010$  es rápida.

El valor de K se calculó de los 14 a los 224 días, para las 4 diferentes masas forestales, la pérdida del peso de la hojarasca se determinó con el modelo exponencial simple (Olson, 1963):

$$W_t = W_0 e^{-kt}$$

Donde:

- W<sub>t</sub>: El peso después del tiempo t (día)
- W<sub>0</sub>: Peso al inicio del experimento
- e: Símbolo exponencial.
- k: Es la constante de la tasa de descomposición.
- t: Tiempo (días).

Partiendo de la constante (k), se calculó el tiempo necesario para alcanzar un 50% (t<sub>50</sub>) y un 99% (t<sub>99</sub>) de descomposición de la hojarasca de las cuatro coberturas forestales, aplicando las ecuaciones:  $t_{50} = \ln 0.5 / k$ ,  $t_{99} = \ln (1 - 0,99) / k$ . El cálculo de t<sub>99</sub> es necesario para tener una aproximación del tiempo en que el material foliar desaparecerá casi en su totalidad, por cuanto la curva tiende asintóticamente a cero (Del Valle, 2003).





El porcentaje (%) del peso remanente de la hojarasca se determinó según el periodo de muestreo (cada 15 días), para todas las muestras (Kurz-besson, Cou, y Thie, 2005; Olson, 1963).

$$\% PR = \left( \frac{X_t}{X_0} \right) * 100$$

Donde:

%PR: Peso remante en porcentaje.

Xt: Peso en el tiempo t (días)

Xo: Peso inicial

### 5.9 Análisis estadísticos.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis sobre el efecto del tipo de cobertura sobre las tasas de descomposición, lo cual se evaluó por medio de un análisis de varianza, ANOVAs con un nivel del 5% de significancia. Todos los datos previamente fueron evaluados, con el fin de constatar si cumplían con los supuestos de normalidad (Prueba de Shapiro Wilks,  $p < 0,05$ ) y homocedasticidad (Prueba de Bartlet,  $P < 0,05$ ).

Al no encontrar normalidad en los datos, se utilizó una prueba no paramétrica, Kruskal Wallis, con la finalidad de observar la diferencia del grado de descomposición de las diferentes masas forestales. Mediante el análisis de correlación de Spearman, se midió la relación que existe entre el peso remanente y las principales variables consideradas para el estudio (pendiente, cobertura foliar, temperatura del aire, precipitación y humedad relativa). Todos los datos se analizaron en el programa estadístico R Versión 3.3.2 (R Development Core Team, 2016).



## CAPITULO VI: RESULTADOS

### 6.1 Porcentaje de cobertura foliar y pendiente de las diferentes masas forestales

La determinación de la cobertura foliar se estimó para cada una de las 16 parcelas (Tabla 1), donde se pudo observar que las coberturas varían entre 67 y 68%, donde el bosque primario es la cobertura más densa (76,92%), mientras que el bosque secundario bajo pino presenta una cobertura menor (67,76%).

Tabla 1. Porcentaje (%) de cobertura foliar de los cuatro tipos de bosques.

Bosque	% de Cobertura Foliar.				Promedio
	1	2	3	4	
LBP	78.1	76.9	80.1	72.6	76.92
LBS	73.0	72.2	53.9	73.5	68.17
LBSE	74.0	76.3	78.3	76.4	76.26
LBSP	71.5	71.3	61.8	66.4	67.76

LBP (Llaviucu bosque primario); LBS (Llaviucu bosque secundario); LBSE (Llaviucu bosque secundario bajo eucalipto); LBSP (Bosque secundario bajo pino); Número de parcelas (1,2,3,4).  
Fuente: Grupo de trabajo.

Igualmente, la pendiente se calculó dentro de cada una de las parcelas en las diferentes coberturas forestales (Tabla 2), donde el bosque secundario bajo eucalipto es el que mayor nivel de inclinación presenta (59%), mientras que el bosque secundario es el menos empinado (27%), respecto las demás masas.

Tabla 2. Porcentaje de pendiente de las diferentes coberturas forestales en estudio.

Bosque	% de pendiente				Promedio
	1	2	3	4	
LBP	46	32	54	27	40
LBS	24	33	25	26	27
LBSE	46	73	48	68	59
LBSP	56	47	57	64	56

LBP (Llaviucu bosque primario); LBS (Llaviucu bosque secundario); LBSE (Llaviucu bosque secundario bajo eucalipto); LBSP (Bosque secundario bajo pino); Número de parcelas (1,2,3,4).  
Fuente: Grupo de trabajo.



## 6.2 Estimación de la tasa de descomposición de la biomasa foliar en los cuatro tipos de masas forestales consideradas en el área de estudio

Los datos del peso remanente de las diferentes masas forestales, estadísticamente no fueron normales (Shapiro-Wilk;  $W=0,97716$ ,  $p=0,0003915$ ). Tampoco presentaron homogeneidad de varianza (Bartlett;  $p=2,539e-10$ ).

El peso remanente de la descomposición registro diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p = 0,002564$ ), entre las diferentes masas forestales, mostrándonos como mejor nivel de descomposición al bosque secundario bajo eucalipto (LBSE) y al bosque bajo pino (LBSP) como uno de los niveles más bajos de descomposición (Tabla 3).

Tabla 3. Grado de diferenciación de las coberturas forestales, según Kruskal-Wallis.

T. Bosque	Medianas	D.E.	Rangos		
LBSE	1.39	0.15	106.19	A	
LBS	1.45	0.18	120.52	A	B
LBP	1.46	0.16	133.63	B	C
LBSP	1.5	0.07	153.66		C

Pérdida de peso promedio remanente en gramos de las diferentes coberturas forestales en estudio (Tabla 4), donde el LBSE presentó el menor peso remanente (1,41 g), seguido de LBS (1,42 g), mientras que LBP y LBSP presentaron 1,46 g y 1,50 g respectivamente, indicándonos que la cobertura que menor valor en gramos presenta, es la que alcanzó el grado más alto de descomposición.

Tabla 4. Peso promedio remanente (g), de las diferentes coberturas forestales, con su respectiva medida de dispersión (D.E).

Días	Peso remanente promedio (g) ± D. E			
	Tipo de bosques			
	LBP	LBS	LBSE	LBSP
<b>14</b>	1.70 ± 0.06	1.65 ± 0.07	1.69 ± 0.02	1.63 ± 0.04
<b>28</b>	1.63 ± 0.08	1.60 ± 0.12	1.63 ± 0.05	1.60 ± 0.03
<b>42</b>	1.60 ± 0.12	1.56 ± 0.10	1.59 ± 0.02	1.58 ± 0.02
<b>56</b>	1.51 ± 0.13	1.48 ± 0.14	1.51 ± 0.03	1.55 ± 0.05
<b>70</b>	1.56 ± 0.08	1.53 ± 0.08	1.52 ± 0.08	1.58 ± 0.03
<b>84</b>	1.52 ± 0.13	1.43 ± 0.12	1.51 ± 0.04	1.52 ± 0.05
<b>98</b>	1.53 ± 0.16	1.47 ± 0.21	1.41 ± 0.04	1.50 ± 0.02
<b>112</b>	1.48 ± 0.10	1.40 ± 0.14	1.39 ± 0.03	1.52 ± 0.04
<b>126</b>	1.45 ± 0.13	1.41 ± 0.13	1.37 ± 0.05	1.47 ± 0.03
<b>140</b>	1.36 ± 0.14	1.37 ± 0.22	1.34 ± 0.07	1.43 ± 0.05
<b>154</b>	1.40 ± 0.15	1.40 ± 0.13	1.35 ± 0.05	1.47 ± 0.07
<b>168</b>	1.38 ± 0.13	1.36 ± 0.25	1.30 ± 0.06	1.48 ± 0.01
<b>182</b>	1.31 ± 0.21	1.28 ± 0.23	1.28 ± 0.03	1.42 ± 0.05
<b>196</b>	1.45 ± 0.08	1.34 ± 0.17	1.30 ± 0.02	1.45 ± 0.03
<b>210</b>	1.30 ± 0.10	1.24 ± 0.17	1.25 ± 0.04	1.46 ± 0.04
<b>224</b>	1.29 ± 0.13	1.26 ± 0.20	1.20 ± 0.17	1.41 ± 0.04

LBP = Llaviucu bosque primario, LBS = Llaviucu bosque secundario, LBSE = Llaviucu bosque secundario con plantación de eucalipto, LBSP = Llaviucu bosque secundario con plantación de pino, 14 – 224 = Días de muestreo. D.E= desviación estándar.

Fuente: Grupo de trabajo.

Según el factor que determina la velocidad de descomposición ( $k$ ), la masa forestal que presentó una descomposición más acelerada fue LBSE ( $k=-0,00236$ ), por lo tanto, el tiempo estimado para la descomposición del 50% de esta masa forestal, es de 294 días, mientras que para alcanzar una descomposición del 99%, el tiempo estimado es de 1953,4 días. En el caso de LBSP, su descomposición es la más lenta de todas las masas forestales ( $k=-0,00159$ ), requiriendo de 437,3 días para alcanzar el 50% de descomposición y 2905,2 días para alcanzar el 99% de descomposición de la hojarasca. LBS requiere de 324,1 días y 2295,3 días para descomponer el 50% y



99% de hojarasca respectivamente y por último LBP muestra que requiere de 345,5 días y 2295,3 días para descomponer el 50% y 99% (Tabla 5).

Tabla 5. Tasa de descomposición de la hojarasca (k), y tiempo estimado de descomposición del 50% y 99% de hojarasca.

Sitio	Peso seco en gramos																	Tiempo de descomposición		
	Días después de la instalación de las trampas																	k	t <sub>50-días</sub>	t <sub>99-días</sub>
	0	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224			
LBP	2.0	1.7	1.6	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	-0.00201	345.5	2295.3
LBS	2.0	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	-0.00214	324.1	2153.4
LBSE	2.0	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	-0.00236	294.0	1953.4
LBSP	2.0	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	-0.00159	437.3	2905.2

LBP = Llaviucu bosque primario, LBS = Llaviucu bosque secundario, LBSE = Llaviucu bosque secundario con plantación de eucalipto, LBSP = Llaviucu bosque secundario con plantación de pino, k=tasa de descomposición, t<sub>50</sub>= tiempo estimado para descomponer el 50% de la hojarasca en días, t<sub>99</sub>= tiempo estimado para descomponer el 99% de la hojarasca.

Fuente: Grupo de trabajo.

### 6.2.2. Correlación de las diferentes variables con la tasa de descomposición de la hojarasca.

El peso de la hojarasca muestra una variación temporal significativa en todos los bosques según el peso remanente. Mediante el análisis de correlación de Spearman (Tabla 6), se observó que en el bosque primario (LBP) el porcentaje de cobertura foliar presenta relación positiva con el nivel de descomposición (rs: 0.5586). En el caso de la pendiente se pudo apreciar que tiene una relación positiva con la descomposición bajo el bosque primario (LBP) (rs: 0.5585), mientras tanto que el bosque secundario (LBS) presenta una relación negativa con la pendiente (rs: -0.4863).



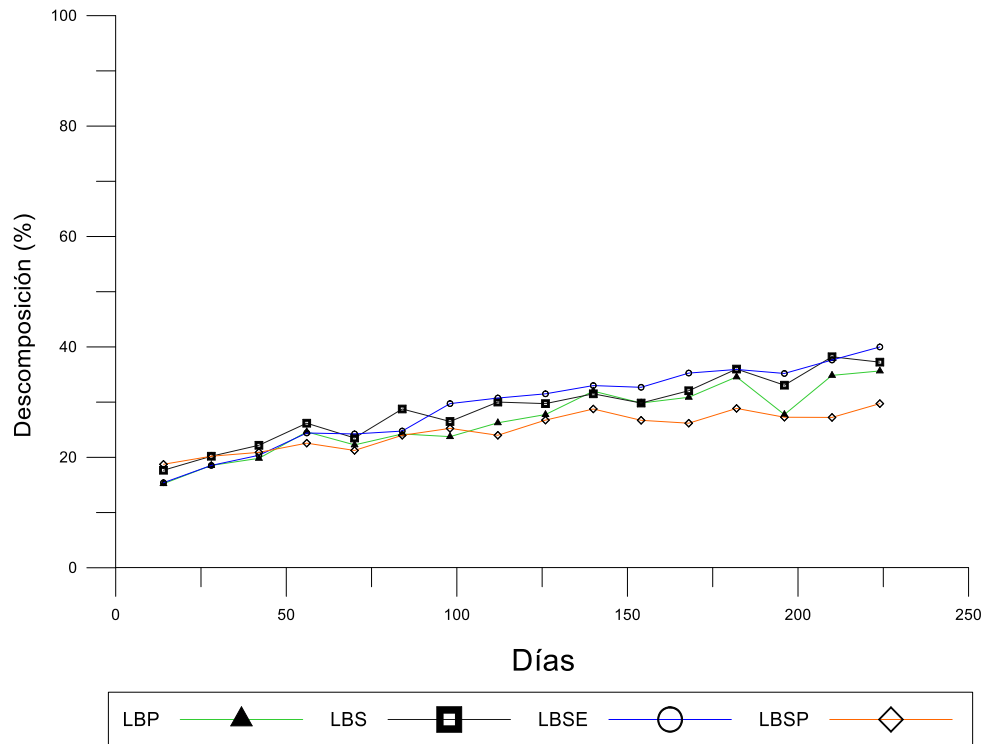
Tabla 6. Correlación de las variables con la pérdida de peso de la hojarasca según la prueba de Spearman.

	<b>BP</b>	<b>BS</b>	<b>BSE</b>	<b>BSP</b>
<b>Tiempo</b>	<b>-0.7006</b>	<b>-0.6095</b>	<b>-0.9200</b>	<b>-0.8186</b>
<b>C. Foliar</b>	<b>0.558 6</b>	-0.4617	-0.1056	-0.1463
<b>Pendiente</b>	<b>0.5585</b>	<b>-0.4863</b>	-0.0897	0.2963
<b>Temperatura</b>	-0.1990	-0.1866	-0.3102	-0.1125
<b>H. Relativa</b>	0.4635	0.3712	<b>0.7331</b>	<b>0.6400</b>
<b>Precipitación</b>	0.0965	0.0855	0.2732	0.2283

Fuente: Grupo de trabajo.

La humedad relativa, presenta una relación con el grado de descomposición bajo el bosque secundario de pino (LBSP) (rs: 0.6400) y bajo el bosque de eucalipto (LBSE) (rs: 0.7331), lo que indica que cuando la humedad relativa aumenta la pérdida de peso aumenta significativamente bajo estas masas forestales. En el caso de la temperatura y la precipitación, en esta investigación no se encontró relación alguna con el grado de descomposición del material foliar bajo las diferentes masas forestales (Tabla 6).

### 6.3 Evaluación del efecto del tipo de masa forestal en las tasas de descomposición del material foliar



**Figura 4.** Porcentaje de descomposición de las diferentes masas forestales con respecto al tiempo. LBP = Llaviucu bosque primario, LBS = Llaviucu bosque secundario, LBSE = Llaviucu bosque secundario con plantación de eucalipto, LBSP = Llaviucu bosque secundario con plantación de pino. Fuente: Grupo de trabajo.

Según el tipo de masa forestal presente en el área de estudio, se determinó que el bosque secundario con plantación de eucalipto presentó un 40% de descomposición, los bosques LBP y LBS, presentaron un porcentaje de descomposición similar (36% y 37%), mientras tanto que el LBSP muestra un porcentaje de descomposición del 30% (Figura 7).



## CAPITULO VII: DISCUSIÓN

Dentro de esta investigación, el bosque primario (LBP) mostró relación entre el porcentaje de cobertura foliar ( $r_s = 0,55$ ) y la pérdida de peso de la hojarasca, lo que indicando que a mayor cobertura es mayor la pérdida de peso. Gaspar (2013), menciona que la cobertura de dosel induce y controla cambios ambientales, por lo que, se genera un microclima que puede favorecer la actividad de la fauna del suelo. Esto provoca efectos positivos sobre la descomposición la que es mayor en el dosel más cerrados. Contrariamente, en un estudio realizado en Veracruz, México, se analizó la tasa de descomposición de hojarasca en relación con otros factores como el porcentaje de cobertura arbórea (Astudillo, Ramírez, Novelo y Vázquez, 2014), se registró relación negativa con la descomposición, es decir, que mientras mayor era el porcentaje de bosque, la tasa de descomposición disminuía. Estas diferencias probablemente estén asociadas a la variación de las condiciones del sitio, composición de los bosques, densidad de plantación, especies presentes en este sitio de estudio, que influyeron en los resultados.

En esta investigación se encontró que la hojarasca del bosque secundario bajo eucalipto fue la que se descompuso más rápido comparado con las otras coberturas, Fernández y Aragón (2014); en un estudio reportaron que la pérdida de peso no fue diferente entre el conjunto de especies nativas y exóticas, pero sí se encontraron diferencias interespecíficas (entre especies), en el caso del presente estudio, los resultados se asemejan, ya que entre especies sí se evidenció diferencias, pero los resultados discrepan en cuanto a conjunto de especies, ya que en este caso sí existió diferencia entre estas. Por otro lado, Lusk et al. (2001); mencionan que en una zona templada con temperaturas que rodean los  $15^{\circ}\text{C}$  la hojarasca de *Pinus radiata*, se





había descompuesto más que la hojarasca de las especies nativas siempreverdes, aunque en menor cantidad que la hojarasca de las especies nativas caducifolias, por ende, los efectos en la tasa de descomposición de un sitio donde ha habido una sustitución o invasión por especies exóticas podrían depender de la composición original de los bosques, que son las especies nativas., como es el caso de LBSE donde la presencia del eucalipto, que se encuentra plantado a una baja densidad, no tuvo incidencia en la tasa de descomposición que las especies nativas, ya que esta masa forestal en conjunto, presentó la mayor tasa de descomposición, así mismo, se pudo observar que, de las especies inventariadas dentro del bosque secundario bajo eucalipto, el 65% de esta, están presentes en el bosque secundario, lo cual influye en la medida del peso remanente, porque la hojarasca de las especies nativas son las que se descomponen más rápido en comparación con la hojarasca de eucalipto.

Tateno et al. (2007), probaron que una especie exótica (*Robinia pseudoacacia*) con altos niveles de N en sus hojas, alcanzaba una tasa de descomposición más acelerada que una especie nativa, entonces, la descomposición puede verse afectada por la concentración de elementos en la hojarasca, independientemente de la especie (*Quercus liaotungensis*), esto se podría dar también en las especies de Llaviucu, la presencia de ciertos elementos puede ser un factor clave para determinar el porqué de la velocidad de descomposición de algunas especies frente a otras, independientemente de que sean nativas o exóticas.

La descomposición de las pináceas fue más lenta que las especies de los otros bosques, esta tendencia se da inclusive en zonas donde las condiciones climáticas difieren a las de esta investigación, Prescott, Zabek, Staley y Kabzems (2000); encontraron que en bosques con coberturas de álamo y bosques mixtos, se



descomponían más rápido que las masas forestales de abetos (pináceas), el sitio de estudio alcanza un promedio de precipitación anual de 467 mm y una temperatura de 15 °C, siendo esta zona más cálida y con menor precipitación que en Llaviucu, donde se desarrolló este estudio, lugar que presenta temperaturas de 10 °C aproximadamente y precipitaciones sobre los 1000 mm anuales, esta similitud de resultados en sitios con condiciones diferentes puede deberse a la estructura de las acículas del pino, independientemente de las condiciones climáticas, éstas presentan una descomposición más lenta a comparación de otras especies, como en el caso de las nativas, en las que se evidencia que su fracción lábil es mucho más degradable.

Respecto a la relación de la pérdida de peso con las variables ambientales según la correlación de Spearman, la humedad relativa ( $r_s=0,73$ ;  $r_s=0,64$ ) presentó relación con LBSE y LBSP respectivamente, mientras tanto, en este estudio, las variables de precipitación y temperatura no mostraron relación respecto a la cantidad de peso perdido de la hojarasca en los diferentes bosques. Pando, Mendoza, Cuellar y Jurado (2018); indican que la masa remanente mostró una correlación negativa con la temperatura ambiental, tanto para matorrales espinosos ( $r = -0,47$ ;  $P=0,02$ ) como para eucalipto ( $r=-0,69$ ;  $P=0,0001$ ) y existió relación de la hojarasca de eucalipto con la precipitación ( $r=- 0,71$ ,  $P=0,0001$ ) esto en la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Norte de México. La variación de los resultados puede deberse a las condiciones climáticas que difieren entre el sitio de estudio y el que mencionan estos autores, de igual forma, la metodología empleada para la obtención de los datos meteorológicos es una posible causa por la cual no se hayan encontrado correlación con estas variables.



Se han evaluado, también, incidencias de las condiciones climáticas en la descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles (*Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*), tal es el caso del estudio descrito por Sánchez, Crespo y Hernández (2009); en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba, donde demostraron que el clima modifica notablemente la naturaleza y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo, la precipitación y la distribución de las lluvias fueron las variables que mostraron la mayor influencia, con una contribución positiva en la tasa de descomposición, por tal razón, las condiciones de humedad del sitio de esta investigación mostraron correlación con la pérdida de peso, considerando que el microclima de las coberturas son diferentes debido a varios factores, como es el caso del bosque secundario de pino, la densidad y cobertura foliar de los árboles es menor que en el bosque primario. A esto se suma la acción de la lluvia en la fragmentación de la hojarasca, como en la provisión de la humedad adecuada en el suelo, generando así las condiciones necesarias para la actividad de la biota (Smith y Bradford, 2003).



## CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la presente investigación se puede concluir que:

La cobertura foliar del bosque primario (LBP) y bosque secundario bajo eucalipto (LBSE), tienden a ser mayores que las del bosque secundario (LBS) y el bosque secundario bajo pino (LBSP).

Respecto a la velocidad de descomposición o tasa de descomposición que viene expresada por el factor  $k$ , se determinó que el LBSE es el que se descompone de manera más rápida (1953,4 días el 99%) y el LBSP es el que se descompone de manera más lenta (2905,2 días el 99%). Mientras tanto que la dinámica de descomposición de los bosques primarios y secundarios en esta región, siguen una tendencia similar hasta la fecha, requiriendo de 2295,3 y 2153,4 días, respectivamente, para alcanzar una descomposición del 99% de su masa

En cuanto al porcentaje de descomposición del material foliar de las diferentes masas forestales osciló entre el 30 % y 40 % de hojarasca descompuesta. Se pudo determinar que las coberturas de especies introducidas (eucalipto y pino) presentan un porcentaje de descomposición diferente al de las especies nativas.

El peso de la hojarasca varía significativamente durante el tiempo en todos los bosques. La humedad relativa es un factor que influye directamente en la tasa de descomposición de LBSE y LBSP, así como la cobertura foliar, que en el caso de LBP se correlaciona con la descomposición.



### **Recomendaciones:**

La cobertura foliar se recomienda medir más de una vez, de ser posible trimestralmente, considerando que los bosques presentan cambios en el dosel y esto puede servir para estudios de variabilidad temporal o estacionalidad.

Para evaluar la tasa de descomposición dentro de un ecosistema, es importante identificar las especies predominante de la masa forestal y también clasificarlas según su origen (Nativas y exóticas), ya que su grado de descomposición no es igual y así conocer exactamente la diferencia que existe entre la tasa de descomposición de estas especies, comparado con las especies nativas del sitio.

Es importante utilizar bolsas de descomposición “Litter bag”, de un tamaño acorde al tamaño y cantidad de material foliar a utilizar en la descomposición, la medida de estas varía en diferentes estudios, sin embargo, es importante utilizar bolsas de al menos 20 cm x 20 cm, debido a su delicado manejo al momento de llenarlas con la hojarasca, instalar en campo y de transportarlas, etc.

De realizarse futuras investigaciones, se recomienda realizar análisis químicos de la hojarasca para determinar la concentración de nutrientes y su relación que pueda llegar a tener con la tasa de descomposición.

En cuanto a las variables ambientales como temperatura, humedad relativa y precipitación, es de vital importante monitorearlas dentro del área o parcela de estudio, con el fin de obtener datos más acercados a la realidad del ecosistema en estudio.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, N., Ojeda, T., y Eguiguren, P. (2010). El cambio climático y la Aguiconservación de la biodiversidad en el Ecuador. *Cedamaz*, 1, 17–25.
- Aguilar, V. 2005. Especies invasoras: una amenaza para la biodiversidad y el hombre. CONABIO. *Biodiversitas*: 7-10
- Arguello, H. A. (1991). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana*, 8(2), 384–388.
- Artetxe, A., Del Hierro, O., Gartzia, N., Pinto, M., y Arias, A. (2014). *Sumideros de carbono de la comunidad autónoma del País Vasco*. (1). Vitoria-Gasteiz - España: RGM.S.A.
- Astudillo, M., Ramírez, A., Novelo, R., y Vázquez, G. (2014). Descomposición de hojarasca en seis arroyos de Bosque Mesófilo de Montaña en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 111–127
- Bärlocher, F. (2005). *Leaf mass loss estimated by litter bag technique. Methods to Study Litter Decomposition: A Practical Guide*, 37–42.
- Blanco, J. A. (2017). Bosques, suelo, agua y sus interacciones. *Ecosistemas*, 26(2), 1–9.
- Bonilla, R., Roncallo, B., Jimeno, J., y García, T. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosque nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 5–11.
- Bravo, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Cuenca, Ecuador: Abya-Yala.
- Brüschweiler, S., Höggel, U., y Kläy, A. (2004). Los Bosques y el Agua: Interrelaciones y su Manejo. *Researchgate*, (19), 46–48.
- Bussmann, R. W. (2005). Bosques andinos del sur del Ecuador, clasificación, regeneración y uso. Bosques Relictos Del NO de Perú y SO de Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 203–216.
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., y Vinuesa, L. M. (2014). Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información Tecnológica*, 25(3), 83–92.
- Castellanos-Barliza, J., y Peláez, J. D. L. (2010). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 113–128.



- Chacón, G. (2016). *Mazán y Llaviuco: 40 años después*. Uda Akadem, (June), 11.
- Del Valle, J. (2003). Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico Colombiano. *Interciencia*, 28(3), 148–153.
- Dercon, G., Bossuyt, B., Bièvre, B., Cisneros, F., y Deckers, J. (1998). Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano. Cuenca-Ecuador: U ediciones.
- FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 96 (Vol. 96). [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60068-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60068-6)
- FAO. (2006). Guidelines for Soil Description (Fourth). Rome: Chief Publishing Management Service. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-881-4.ch016>
- FAO. (2009). *Los Bosques y el Agua* (1st ed.). Roma, Italia.
- Fernández, R., y Aragón, R. (2014). Descomposición de hojarasca de las especies leñosas nativas y exóticas más abundantes del pedemonte de las yungas, Tucumán, Argentina. *Ecología Austral*, 24(3), 286–293.
- Fernández de Córdoba, R. (2011). Zonificación de bosques de *Polylepis* y línea base para su monitoreo en el Parque Nacional Cajas (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- García, L. M., Ríos, A., y Molina, L. (2010). Estructura, Composición vegetal y descomposición de hojarasca en el suelo, en dos sitios de un bosque nublado andino (reforestado y en sucesión espontánea), en Peñas Blancas, Calarcá (Quindío), Colombia. *Actual Biología*, 32(93), 147–164.
- Gaspar, E. (2013). Determinantes de la acumulación y descomposición de la hojarasca en bosques de la cuenca alta del Grijalva, Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur.
- Ibañez, A., Gisbert, J., y Moreno, H. (2015). *La pendiente del terreno*. Universidad Politécnica de Valencia.
- IPCC. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Kanagawa, Japan.
- Insigma. (2018). Actualización del plan de manejo del parque nacional cajas. Cuenca, Ecuador. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/ACUERDO-001-ANEXO-PAQUE-NACIONAL-CAJAS.pdf>
- Jennings, S., Brown, N., & Sheil, D. (1999). Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry*, 72(1).



- Karberg, N. J., Scott, N. A., y Giardina, C. P. (2008). *Methods for Estimating Litter Decomposition*. Field Measurements for Forest Carbon Monitoring.
- Kurz, C., Couteaux, M., y Thie, J. M. (2005). A comparison of litterbag and direct observation methods of Scots pine needle decomposition measurement. *Soil Biology y Biochemistry*, 37, 2315–2318.
- León, J. D., Gonzalez, M. I., y Gallardo, J. (2010). Distribución Del Agua Lluvia En Tres Bosques Altoandinos De La Cordillera Central De Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(1), 5319–5336.
- León, A. L., Ramos, C., y García, M. R. (2010). Efecto de plantación de Pino en la artropofauna del suelo de un bosque altoandino. *Bosque*, 58, 1031–1048.
- Lemmon, P. (1956). Using Forest Densiometers. *Forestry*, 55(43887), 1–2.
- López, J., González, H., Ramírez, R., Cantú, I., Gómez, M., Pando, M., y Estrada, A. (2013). Producción De Hojarasca Y Retorno Potencial De Nutrientes En Tres Sitios Del Estado De Nuevo León, México. *Polibotánica*, 35, 41–64.
- Lusk, C., Donoso, C., Jiménez, M., Moya, C., Oyarce, G., Saldaña, A., ... Matus, F. (2001). Descomposición de hojarasca de *Pinus radiata* y tres especies arbóreas nativas. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74(1), 705–710.
- MAE. (2015). MAE. Áreas Protegidas del Parque Nacional Cajas. Obtenido de Ministerio del Ambiente: [areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-cajas](https://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-cajas).
- MPPEUCT. (2012). Estudian efectos del cambio climático a partir de la descomposición de hojarasca. Caracas, Venezuela. Obtenido de: <https://www.mppeuct.gob.ve/actualidad/noticias/estudian-efectos-del-cambio-climatico-partir-de-la-descomposicion-de-hojarasca>
- Mudrick, D. A., Hoosein, M., Hicks, R. R., y Townsend, E. C. (1994). Decomposition of leaf litter in an Appalachian forest: effects of leaf species, aspect, slope position and time. *Forest Ecology and Management*, 68(2–3), 231–250.
- Muñoz, L. (08 de abril del 2013). Uso de Densiómetro Cóncavo [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://mluisforestal.wordpress.com/2013/04/08/uso-de-densio metro-concavo/>
- Olson, J. S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems 1. *Ecology*, 44(2), 322–331.
- Pando, M., Mendoza, D., Cuellar, G., y Jurado, E. (2018). Descomposición de la hojarasca del Matorral Espinoso Tamaulipeco y de una especie vegetal introducida. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50).





- Petersen, R., y Cummins, K. (1974). Leaf Processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, 4, 343-368.
- Pinos, G. E. (2012). *Análisis de los atractivos turísticos más visitados del sector Llaviuco del Parque Nacional Cajas Año: 2012* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras andinas: los páramos del Ecuador. *Sociedad Ecuatoriana de La Ciencia Del Suelo*, (18), 14.
- Prescott, C. E., Zabek, L. M., Staley, C. L., y Kabzems, R. (2000). Decomposition of broadleaf and needle litter in forests of British Columbia: influences of litter type, forest type, and litter mixtures. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(1), 1742–1750.
- Quichimbo, P., Veintimilla, D., Carrión, Y., y Jiménez, L. (2016). Litterfall production under pine plantations in the southern Andes region of Ecuador. *Enfoque UTE*, 33(7), 14–2514.
- Quinteros, P., Piercomiso, T., y Ansaloni, R. (2003). *Comparación química de suelos en distintas coberturas vegetales del PNC mediante métodos de clúster análisis. Memorias Del II Congreso Binacional de Investigación, Ciencia y Tecnología de Las Universidades*, 746–764.
- R Development Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.: R Foundation for Statistical Computing.
- Rincón, J., Merchán, D., Sparer, A., Rojas, D., y Zarate, E. (2017). La descomposición de la hojarasca como herramienta para evaluar la integridad funcional de ríos altoandinos del sur del Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 321–334.
- Robertson, G. P. y Paul, E. A. (1999). Descomposición and Soil Organic Matter Dynamics. *Journal of Visual Languages y Computing*, 11(3), 287–301.
- Rocha, A., y Ramírez, N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales de bosques de Pino - México. *Boletín de La Sociedad Botánica*, 84(1), 1–12.
- Salcedo, A. (2014). *Efecto del incremento de la temperatura y las quemadas sobre la mesofauna (Artrópodos) del suelo y la descomposición de hojarasca en un ecosistema de páramo en el norte del Ecuador (Tesis de pregrado)*. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Sánchez, S., Crespo, G., y Hernández, M. (2009). Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit cv. Cunningham. II. Influencia de los factores climáticos. *Pastos y Forrajes*, 32(4), 1–9.



- Smith, V. C., y Bradford, M. A. (2003). Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology*, 24, 197–203.
- Semarnat. (2009). Cambio climático Ciencia, evidencia y acciones. México.
- Socarrás, A., y Robaina, N. (2011). Caracterización de la mesofauna edáfica bajo diferentes usos de la tierra en suelo Ferralítico Rojo de Mayabeque y Artemisa. *Pastos y Forrajes*, 34(2), 185–198.
- Suárez, D. (2008). Formación de un Corredor de Hábitat de un Bosque Montano Alto en un Mosaico de Páramo en el Norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 5–11.
- Tateno, R., Tokuchi, N., Yamanaka, N., Du, S., Otsuki, K., Shimamura, T., Hou, Q. (2007). Comparison of litterfall production and leaf litter decomposition between an exotic black locust plantation and an indigenous oak forest near Yan' an on the Loess Plateau, China. *Forest Ecology and Management*, 241, 84–90.
- Unión Europea. (2010). El papel de la naturaleza en el cambio climático. Comisión Europea, oficina de Publicaciones. Bruselas, Bélgica Obtenido de: [http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Nature%20and%20Climate%20Change/Nature%20and%20Climate%20Change\\_ES.pdf](http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Nature%20and%20Climate%20Change/Nature%20and%20Climate%20Change_ES.pdf)
- Viteri, A. (2010). Análisis del Sector Forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector uso del suelo, cambio de suelo, y silvicultura (Forestal) en el Ecuador. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*, 1(1), 1–28.



## ANEXOS

**Anexo 1.** Coordenadas UTM-WGS84, de las parcelas donde se realizó la investigación.

N°	Tipo de Bosque	Etiqueta/ parcela	Coordenadas	
			X	Y
1	Bosque maduro	LBP1	706025	9685394
2	Bosque maduro	LBP2	706279	9685289
3	Bosque maduro	LBP3	706559	9686022
4	Bosque maduro	LBP4	703199	9686026
5	Bosque secundario	LBS1	706469	9685709
6	Bosque secundario	LBS2	704380	9685567
7	Bosque secundario	LBS3	703769	9685785
8	Bosque secundario	LBS4	703570	9685854
9	Bosque secundario bajo eucalipto	LBSE1	705755	9685387
10	Bosque secundario bajo eucalipto	LBSE2	705660	9685350
11	Bosque secundario bajo eucalipto	LBSE3	705467	9685394
12	Bosque secundario bajo eucalipto	LBSE4	705125	9685469
13	Bosque secundario bajo pino	LBSP1	706648	9685180
14	Bosque secundario bajo pino	LBSP2	706773	9685146
15	Bosque secundario bajo pino	LBSP3	706851	9685168
16	Bosque secundario bajo pino	LBSP4	706907	9685163

**Anexo 2.** Comportamiento de los datos según el peso remanente en gramos, respecto al tipo de cobertura forestal

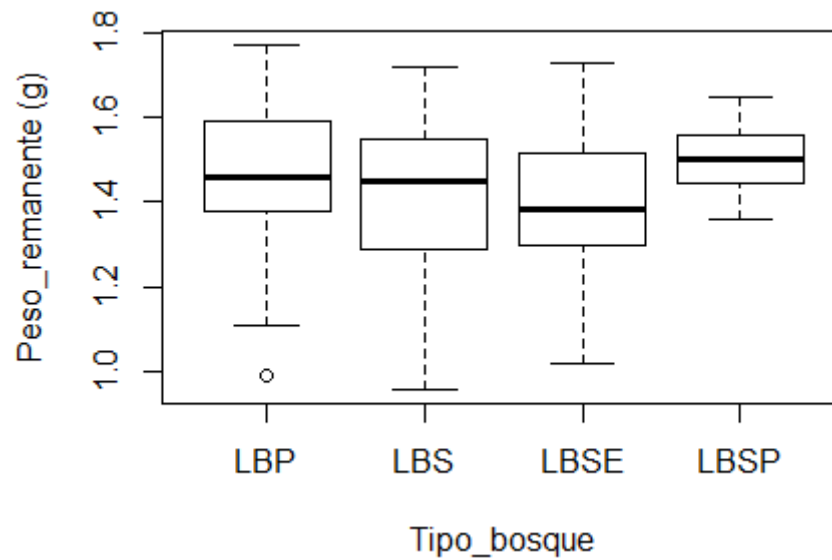


Figura 5. Comportamiento de los datos - Peso remanente.

Fuente: Grupo de trabajo.

**Anexo 3.** Algunas de las especies presentes en los bosques de Llaviucu.

<p><b>Imagen 5.</b> <i>Cornus peruviana</i>.</p>	<p><b>Imagen 6.</b> <i>Hedyosmum luteynii</i></p>	<p><b>Imagen 7.</b> <i>Meriania sanguinea</i></p>
<p><b>Imagen 8.</b> <i>Myrcianthes rhopaloides</i></p>	<p><b>Imagen 9.</b> <i>Ocotea heterochroma</i></p>	<p><b>Imagen 10.</b> <i>Piper andreanum</i></p>
<p><b>Imagen 11.</b> <i>Weinmannia fagaroides</i>.</p>	<p><b>Imagen 12.</b> <i>Alnus acuminata</i>.</p>	<p><b>Imagen 13.</b> <i>Eucalyptus globulus</i>.</p>

Fuente: Google images, 2019



### Anexo 4. Proceso ilustrado del trabajo de campo



**Imagen 14.** Instalación de las trampas de captura de hojarasca



**Imagen 15.** Elaboración de las trampas de descomposición (litter bag)



**Imagen 16.** Preparación de las etiquetas



**Imagen 17.** Llenado del material en las bolsas y etiquetado



**Imagen 18.** Preparación del material para el traslado al campo



**Imagen 19.** Instalación de las bolsas de descomposición en campo



**Imagen 20.** Descomposición de la hojarasca en la superficie del suelo.



**Imagen 21.** Bolsa de descomposición en proceso de degradación



**Imagen 22.** Extracción del material de las bolsas en el laboratorio



**Imagen 23.** Secado de la hojarasca en la estufa para su posterior pesado



**Imagen 24.** Medición del porcentaje de sombra en los bosques con el uso del densiometro esférico



**Imagen 25.** Tabulación de datos.

Fuente: Grupo de trabajo.



## Anexo 5. Constante de descomposición k, calculado para cada muestreo con relación al tiempo

Factor k, calculado para cada muestreo																
Bosque	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224
LBP1	-0.0145	-0.0074	-0.0047	-0.0045	-0.0035	-0.0025	-0.0025	-0.0028	-0.0024	-0.0024	-0.0017	-0.0018	-0.0019	-0.0014	-0.0017	-0.0016
LBP2	-0.0111	-0.0080	-0.0067	-0.0059	-0.0043	-0.0045	-0.0035	-0.0032	-0.0027	-0.0034	-0.0023	-0.0025	-0.0020	-0.0020	-0.0021	-0.0019
LBP3	-0.0087	-0.0049	-0.0033	-0.0034	-0.0027	-0.0024	-0.0014	-0.0019	-0.0018	-0.0020	-0.0021	-0.0018	-0.0018	-0.0015	-0.0019	-0.0018
LBP4	-0.0131	-0.0093	-0.0068	-0.0068	-0.0043	-0.0041	-0.0039	-0.0031	-0.0036	-0.0035	-0.0035	-0.0029	-0.0040	-0.0019	-0.0026	-0.0027
LBS1	-0.0109	-0.0060	-0.0051	-0.0037	-0.0034	-0.0040	-0.0020	-0.0025	-0.0021	-0.0017	-0.0018	-0.0017	-0.0019	-0.0023	-0.0018	-0.0019
LBS2	-0.0137	-0.0078	-0.0066	-0.0056	-0.0039	-0.0039	-0.0037	-0.0031	-0.0032	-0.0032	-0.0026	-0.0028	-0.0025	-0.0020	-0.0025	-0.0024
LBS3	-0.0128	-0.0068	-0.0045	-0.0051	-0.0032	-0.0030	-0.0025	-0.0029	-0.0024	-0.0020	-0.0018	-0.0013	-0.0017	-0.0014	-0.0019	-0.0013
LBS4	-0.0186	-0.0121	-0.0080	-0.0078	-0.0049	-0.0055	-0.0050	-0.0046	-0.0037	-0.0043	-0.0031	-0.0038	-0.0040	-0.0031	-0.0032	-0.0030
LBSE1	-0.0105	-0.0064	-0.0052	-0.0048	-0.0030	-0.0036	-0.0032	-0.0035	-0.0026	-0.0029	-0.0026	-0.0024	-0.0024	-0.0022	-0.0021	-0.0017
LBSE2	-0.0126	-0.0083	-0.0055	-0.0046	-0.0041	-0.0034	-0.0035	-0.0031	-0.0032	-0.0031	-0.0030	-0.0029	-0.0025	-0.0021	-0.0024	-0.0027
LBSE3	-0.0126	-0.0082	-0.0053	-0.0052	-0.0047	-0.0036	-0.0038	-0.0035	-0.0032	-0.0032	-0.0025	-0.0029	-0.0026	-0.0023	-0.0023	-0.0031
LBSE4	-0.0121	-0.0067	-0.0058	-0.0054	-0.0041	-0.0030	-0.0040	-0.0032	-0.0031	-0.0024	-0.0024	-0.0023	-0.0023	-0.0022	-0.0023	-0.0018
LBSP1	-0.0138	-0.0089	-0.0053	-0.0052	-0.0036	-0.0032	-0.0031	-0.0023	-0.0025	-0.0027	-0.0024	-0.0018	-0.0021	-0.0017	-0.0014	-0.0017
LBSP2	-0.0176	-0.0086	-0.0061	-0.0047	-0.0037	-0.0034	-0.0031	-0.0027	-0.0026	-0.0024	-0.0021	-0.0019	-0.0020	-0.0017	-0.0017	-0.0017
LBSP3	-0.0141	-0.0078	-0.0055	-0.0047	-0.0032	-0.0038	-0.0029	-0.0026	-0.0023	-0.0026	-0.0018	-0.0018	-0.0019	-0.0016	-0.0016	-0.0015
LBSP4	-0.0142	-0.0072	-0.0054	-0.0038	-0.0032	-0.0028	-0.0028	-0.0022	-0.0025	-0.0021	-0.0018	-0.0018	-0.0016	-0.0015	-0.0014	-0.0014

LBP (1,2,3,4) = Llaviucu bosque primario, LBS (1,2,3,4) = Llaviucu bosque secundario, LBSE (1,2,3,4) = Llaviucu bosque secundario con plantación de eucalipto, LBSP (1,2,3,4) = Llaviucu bosque secundario con plantación de pino, 14 – 224 = Días después de la instalación.

Fuente: Grupo de trabajo



**Anexo 6.** Muestras del LBSE, donde se puede comparar que la cantidad de hojarasca de las especies nativas (recuadro rojo), es mayor a las de eucalipto (recuadro amarillo), así mismo, las especies nativas son las que arrancan con el proceso de degradación (ejemplo: absorción de humedad, intervención de microorganismos, etc.).

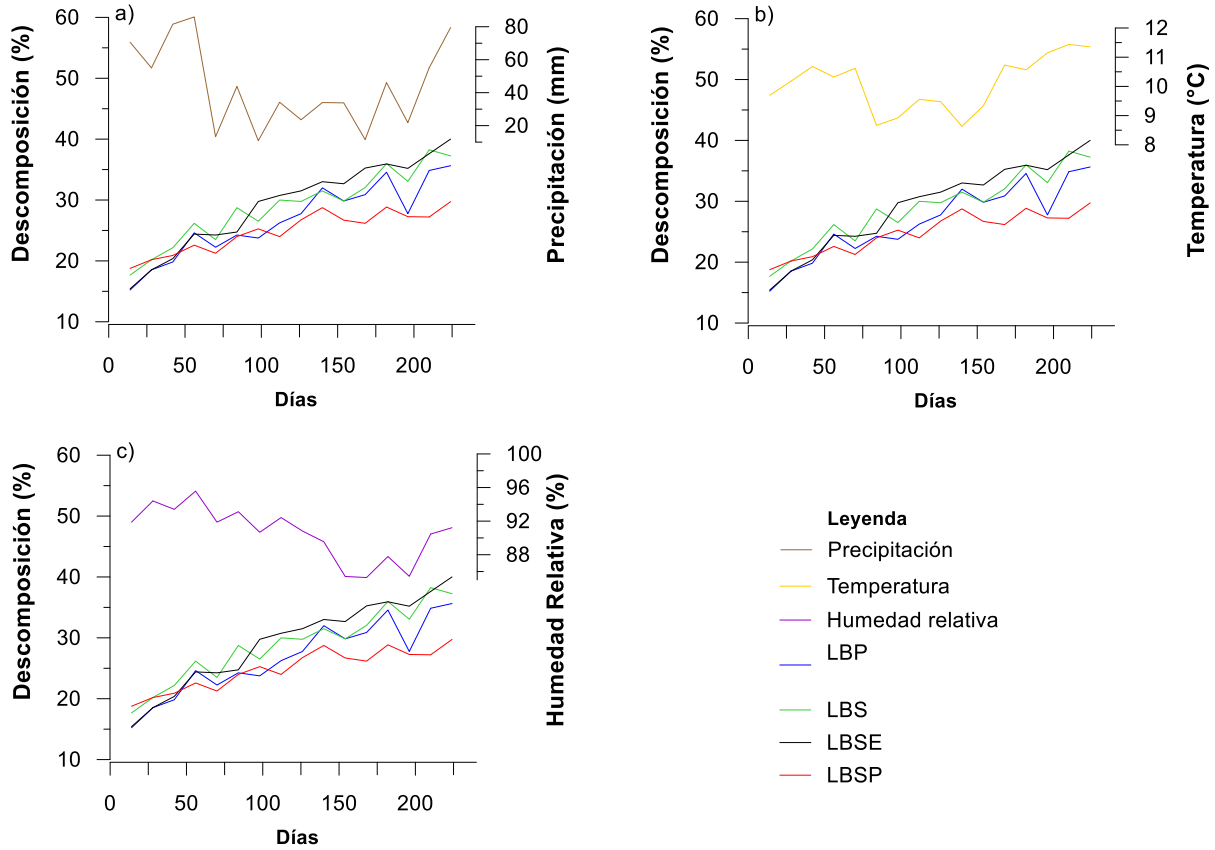


**Imagen 26.** Comparación de las especies nativas vs especies exóticas en descomposición.

Fuente: Grupo de trabajo.



**Anexo 7.** Comportamiento de las variables ambientales frente al porcentaje de descomposición de la hojarasca de las diferentes masas forestales.



**Figura 6.** Variables ambientales y el porcentaje de descomposición.

Fuente: Grupo de trabajo.



**Anexo 8. Porcentaje (%) de peso perdido de la hojarasca de las diferentes masas forestales con respecto al tiempo de muestreo.**

Bosque	Porcentaje (%) de peso perdido durante el tiempo															
	Días después del establecimiento															
	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224
<b>LBP1</b>	18.4	18.6	17.6	22.0	21.0	19.0	22.0	27.0	26.0	28.0	22.6	25.4	28.7	24.2	29.7	29.8
<b>LBP2</b>	14.4	19.8	24.5	28.0	26.0	31.0	29.0	30.0	29.0	38.0	29.7	33.6	30.7	32.5	35.2	35.1
<b>LBP3</b>	11.5	12.9	12.7	17.0	17.0	18.0	13.0	19.0	20.0	24.0	26.9	26.0	28.3	24.9	33.2	33.0
<b>LBP4</b>	16.6	22.8	24.5	31.5	25.0	29.0	31.0	29.0	36.0	38.0	40.2	38.5	50.6	29.4	41.3	44.7
<b>LBS1</b>	14.1	15.5	18.9	18.0	21.0	28.0	15.0	24.0	23.0	21.0	24.5	25.0	28.6	32.5	30.5	34.0
<b>LBS2</b>	17.4	19.5	24.3	26.9	24.0	28.0	30.0	29.0	33.0	36.0	32.8	37.0	36.3	31.4	40.4	41.0
<b>LBS3</b>	16.4	17.2	17.2	24.6	20.0	22.0	22.0	27.0	26.0	24.0	24.4	18.8	27.2	24.0	32.7	25.0
<b>LBS4</b>	22.8	28.6	28.3	35.2	29.0	37.0	39.0	40.0	37.0	45.0	37.7	47.4	51.8	44.4	49.3	49.0
<b>LBSE1</b>	13.7	16.3	19.6	23.7	19.0	26.0	27.0	32.0	28.0	33.0	33.0	32.6	35.2	34.9	35.6	31.9
<b>LBSE2</b>	16.1	20.8	20.6	22.5	25.0	25.0	29.0	29.0	33.0	35.0	36.4	38.3	36.5	34.0	39.8	45.5
<b>LBSE3</b>	16.2	20.4	19.9	25.4	28.0	26.0	31.0	32.0	33.0	36.0	30.7	37.8	37.9	36.6	36.5	49.1
<b>LBSE4</b>	15.6	16.6	21.4	26.0	25.0	22.0	32.0	30.0	32.0	28.0	30.6	32.3	34.1	35.3	38.6	33.5
<b>LBSP1</b>	17.6	21.6	20.0	25.0	22.0	23.0	26.0	23.0	27.0	31.0	31.0	25.5	31.2	27.8	25.2	30.8
<b>LBSP2</b>	21.5	21.4	22.7	23.0	23.0	25.0	26.0	26.0	28.0	29.0	27.9	26.7	29.8	28.7	30.0	32.2
<b>LBSP3</b>	17.9	19.6	20.5	23.0	20.0	27.0	25.0	25.0	25.0	30.0	24.1	26.1	29.0	26.8	28.0	28.3
<b>LBSP4</b>	18.0	18.2	20.4	19.3	20.0	21.0	24.0	22.0	27.0	25.0	23.8	26.4	25.4	25.8	25.7	27.6

Fuente: Grupo de trabajo

**Anexo 9.** Estados de descomposición de material foliar de las diferentes masas forestales.



**Imagen 27.** Descomposición en el primer mes.



**Imagen 28.** Descomposición de la hojarasca a los dos meses.



**Imagen 29.** Muestras de bosque primario a los cuatro meses



**Imagen 30.** Hojarasca de bosque secundario tras cinco meses de descomposición.





**Imagen 31.** Residuos de hojarasca de bosque secundario.



**Imagen 32.** Separación de hojarasca descompuesta y suelo.



**Imagen 33.** Estado de descomposición de una muestra de bosque primario a los ocho meses.



**Imagen 34.** Estado de descomposición de una muestra de bosque secundario a los ocho meses.

Fuente: Grupo de trabajo



**Anexo 10.** Dinámica de la pérdida de peso remanente de las diferentes coberturas forestales, dentro de sus respectivas parcelas en estudio.

Bosque	P. inicial/ Día 0	Peso remanente (g) durante el tiempo															
		14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224
<b>LBP1</b>	2	1.63	1.63	1.65	1.56	1.58	1.62	1.56	1.46	1.48	1.44	1.55	1.49	1.43	1.52	1.41	1.40
<b>LBP2</b>	2	1.71	1.60	1.51	1.44	1.48	1.38	1.42	1.40	1.42	1.24	1.41	1.33	1.39	1.35	1.30	1.30
<b>LBP3</b>	2	1.77	1.74	1.75	1.66	1.66	1.64	1.74	1.62	1.60	1.52	1.46	1.48	1.43	1.50	1.34	1.34
<b>LBP4</b>	2	1.67	1.54	1.51	1.37	1.50	1.42	1.38	1.42	1.28	1.24	1.20	1.23	0.99	1.41	1.17	1.11
<b>LBS1</b>	2	1.72	1.69	1.62	1.64	1.58	1.44	1.70	1.52	1.54	1.58	1.51	1.50	1.43	1.35	1.39	1.32
<b>LBS2</b>	2	1.65	1.61	1.51	1.46	1.52	1.44	1.40	1.42	1.34	1.28	1.34	1.26	1.27	1.37	1.19	1.18
<b>LBS3</b>	2	1.67	1.66	1.66	1.51	1.60	1.56	1.56	1.46	1.48	1.52	1.51	1.62	1.46	1.52	1.35	1.50
<b>LBS4</b>	2	1.54	1.43	1.43	1.30	1.42	1.26	1.22	1.20	1.26	1.10	1.25	1.05	0.96	1.11	1.01	1.02
<b>LBSE1</b>	2	1.73	1.67	1.61	1.53	1.62	1.48	1.46	1.36	1.44	1.34	1.34	1.35	1.30	1.30	1.29	1.36
<b>LBSE2</b>	2	1.68	1.58	1.59	1.55	1.50	1.50	1.42	1.42	1.34	1.30	1.27	1.23	1.27	1.32	1.20	1.09
<b>LBSE3</b>	2	1.68	1.59	1.60	1.49	1.44	1.48	1.38	1.36	1.34	1.28	1.39	1.24	1.24	1.27	1.27	1.02
<b>LBSE4</b>	2	1.69	1.67	1.57	1.48	1.50	1.56	1.36	1.40	1.36	1.44	1.39	1.35	1.32	1.29	1.23	1.33
<b>LBSP1</b>	2	1.65	1.57	1.60	1.50	1.56	1.54	1.48	1.54	1.46	1.38	1.38	1.49	1.38	1.44	1.50	1.38
<b>LBSP2</b>	2	1.57	1.57	1.55	1.54	1.54	1.50	1.48	1.48	1.44	1.42	1.44	1.47	1.40	1.43	1.40	1.36
<b>LBSP3</b>	2	1.64	1.61	1.59	1.54	1.60	1.46	1.50	1.50	1.50	1.40	1.52	1.48	1.42	1.46	1.44	1.43
<b>LBSP4</b>	2	1.64	1.64	1.59	1.61	1.60	1.58	1.52	1.56	1.46	1.50	1.52	1.47	1.49	1.48	1.49	1.45

Fuente: Grupo de trabajo