

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**LIBERACIÓN DE NUTRIMENTOS DE CINCO ESPECIES DE
UTILIDAD AGROFORESTAL EN EL BOSQUE HÚMEDO
TROPICAL. CEIACHI, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.**

YASIRA Y. MONTES C.

4-759-1379

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2015

**LIBERACIÓN DE NUTRIMENTOS DE CINCO ESPECIES DE
UTILIDAD AGROFORESTAL EN EL BOSQUE HÚMEDO
TROPICAL. CEIACHI, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA EN MANEJO DE CUENCAS Y
AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

FELICITA GONZALÉZ *M.Sc.* _____
Asesora

ALEXIS SAMUDIO *M.Sc.* _____
Miembro

LILIANA ESCALANTE *LIC.* _____
Miembro

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia, amigos, profesores.....

A Dios por su infinito amor y misericordia, gracias porque llegar al final de una formación profesional, es sin duda fruto de consagración personal, pero sería imposible sin su ayuda.

A toda mi familia por su apoyo brindado a lo largo de mi vida y por su esfuerzo en esta etapa.

Al comité asesor de tesis a la directora de Tesis Profesora FELICITA GONZÁLEZ, a mis asesores Profesor ALEXIS SAMUDIO, y Profesora LILIANA ESCALANTE; expresándole primeramente mi más sentido agradecimiento por haberme dicho **Si**, por su apoyo y asesoramiento en este reto, mi trabajo de investigación; y así de igual manera brindarme sus conocimientos y su valioso tiempo que Dios me los bendiga siempre.

Al personal del Laboratorio de Suelos y Aguas, por el tiempo brindado y las facilidades prestadas en la realización de los análisis químicos correspondientes.

Al Doctor José Ramón Binns por sus conocimientos y tiempo brindado

A todos mis amigos y compañeros gracias.....

DEDICATORIA

Dedicado principalmente!!!!.....

**AL SER SUPREMO CREADOR DEL CIELO Y LA TIERRA AL
“DIOS TODOPODEROSO”**

**A mis padres Marisol Candanedo y Camilo Montes, por el
apoyo y esfuerzo brindado en esta etapa alcanzada.**

**A mis hermanos Ginette Montes, Gisvel Montes y
Camilo Montes.**

A mis Tíos Luis A. Montes y José D. Montes.

LIBERACIÓN DE NUTRIMENTOS DE CINCO ESPECIES DE UTILIDAD AGROFORESTAL EN EL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL. CEIACHI, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.

Montes, Y. 2015. Liberación de nutrimentos de cinco especies de utilidad agroforestal en el bosque húmedo tropical. CEIACHI, provincia de Chiriquí. Tesis Ing. en Manejo Ambiental. Chiriquí, Panamá. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 74 p.

RESUMEN

La descomposición y liberación de nutrimentos de la hojarasca, constituyen procesos clave para garantizar el adecuado funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, y con ellos favorecer las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. Se estableció un ensayo en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí; Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicada en las coordenadas 8° 23' 40'' de latitud norte y 82° 20' 03'' de longitud oeste; con el objetivo de cuantificar la tasa de liberación de nutrimentos de cinco especies de utilidad agroforestal. Se utilizó el método de pérdida de peso seco, a través de bolsas de descomposición, que se colocaron al azar en campo con tres repeticiones en grupos de cinco bolsas para cada especie en estudio. El diseño estadístico fue de bloques completamente al azar. A cada bolsa se le introdujo 400 gramos de biomasa verde; por un período de dos semanas. Los muestreos se realizaron durante doce semanas. Las especies que se utilizaron fueron *Terminalia amazonia*, *Erythrina poeppigiana*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta* y *Trichanthera gigantea*. Las especies que presentaron mayor contenido nutrimental inicial fueron *Trichanthera gigantea*, seguido de *Erythrina poeppigiana*. El modelo de mejor ajuste para la pérdida de peso y liberación de nutrimento fue la ecuación polinómica $y = ax^2 + bx + c$; con un rango entre 0.92 y 0.99 del R^2 . La especie *Erythrina poeppigiana* obtuvo la mejor liberación de nitrógeno; la especie *Eucalyptus deglupta* obtuvo la mejor liberación de fósforo; mientras que la especie *Terminalia amazonia* obtuvo la mejor liberación de potasio, calcio y magnesio.

Palabras claves: Mineralización orgánica, patrones de liberación de nutrimentos, ciclaje de nutrimentos, sistema agroforestal.

NUTRIMENTS LIBERATION OF FIVE SPECIES OF AGROFORESTRY UTILITY IN THE TROPICAL RAIN FOREST; CEIACHI; CHIRIQUÍ PROVINCE.

Montes, Y. 2015. Nutriments liberation of five species of agroforestry utility in the tropical rain forest. CEIACHI; Chiriquí province. Graduation Thesis for the bachelor's degree in Watershed and Environmental Management Engineering. Chiriquí, PA. Faculty of Agricultural Sciences, University of Panama. 74 p.

ABSTRACT

The decomposition and liberation of nutriment from the leaf litter are important procedures to guarantee the right functioning of the biochemical cycles and to improve the physical, chemical and biological condition of the soils. This research was established in the Chiriquí Agricultural research center; Faculty of Agricultural Sciences, located between the coordinates 8° 23' 40" north and 82° 20' 03" west; with the purpose of quantifying the nutriment liberation rate of five species with agroforestry importance. The dry weight loss method was used, through decomposition bags, placed randomly on the field, with three repetitions in groups of five bags per species. The statistical design used in this investigation was "completely randomized block design". 400 grams of green biomass were placed in each bag, during a period of two weeks. The samplings were made during twelve weeks. The species used in this investigation were *Terminalia amazonia*, *Erythrina poeppigiana*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta* y *Trichanthera gigantea*. The species with the most nutrimental initial amount were *Trichanthera gigantea* and *Erythrina poeppigiana*. The best model for the weight loss and nutriment liberation was the polynomial equation $y = ax^2 + bx + c$; with a range between 0.92 and 0.99 of the R^2 . The species *Erythrina poeppigiana* was the one that had the best nitrogen liberation rate; the species *Eucalyptus deglupta* had the best phosphorus liberation rate while the species *Terminalia amazonia* had the best potassium, calcium and magnesium liberation rate.

Key words: organic mineralization, nutriment liberation patterns, nutriment recycling, agroforestry system.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁG
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	5
1.3. Objetivos	7
1.4. Hipótesis	7
1.5. Alcances y limitaciones	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 Descomposición de la materia orgánica	9
2.2 Factores que afectan la descomposición de la materia orgánica	10
2.2.1 Factores climáticos y micro climáticos	11
2.2.1.1 Temperatura	12
2.2.1.2 Precipitación	13
2.2.1.3 Humedad del suelo	14
2.3. Mineralización de la materia orgánica	14
2.4. Humificación de la materia orgánica	15
2.5. Microorganismos del suelo	16
2.6. Composición bioquímica del material orgánico	19

2.7. Descripción de las especies	20
2.7.1. Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	20
2.7.2. Eucalipto (<i>Eucalyptus deglupta</i>)	22
2.7.3. Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	23
2.7.4. Poro (<i>Erythrina poeppigiana</i>)	24
2.7.5. Amarillo (<i>Terminalia amazonia</i>)	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Localización del área de estudio	26
3.2. Geología y Suelos	26
3.3. Zona de vida y vegetación	27
3.4. Condiciones climáticas	27
3.5. Metodología	28
3.5.1 Metodología de evaluación de la tasa de liberación de los nutrimentos	28
3.5.2 Preparación y llenado de las bolsas de descomposición	28
3.5.3 Ubicación en campo	29
3.5.4 Recolección de las bolsas y Análisis químico	31
3. 5.5 Parámetros a evaluar	32
3.5.6 Análisis estadístico	34

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1.	Concentración inicial de nutrimentos en el follaje de las especies	35
4.2.	Descomposición del follaje de las cinco especies.	38
4.2.1.	Pérdida de peso	39
4.2.2.	Liberación de nutrimentos	44
4.2.2.1.	Liberación de nitrógeno	46
4.2.2.2.	Liberación de fósforo	51
4.2.2.3.	Liberación de potasio	54
4.2.2.4.	Liberación de calcio	58
4.2.2.5.	Liberación de magnesio	62
5.	CONCLUSIONES	65
6.	RECOMENDACIONES	67
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	68

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁG.
I.	CONCENTRACIONES INICIALES DE NUTRIMENTOS Y PORCENTAJE DE MATERIA SECA DE LAS CINCO ESPECIES ESTUDIADAS, CHIRIQUÍ-2015.	36
II.	VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.	39
III.	CAMBIOS EN CONTENIDO DE NITRÓGENO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ - 2015.	46
IV.	CAMBIOS EN CONTENIDO DE FÓSFORO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ - 2015.	51
V.	CAMBIOS EN CONTENIDO DE POTASIO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ - 2015.	54
VI.	CAMBIOS EN CONTENIDO DE CALCIO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ - 2015.	58
VII.	CAMBIOS EN CONTENIDO DE MAGNESIO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ - 2015.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁG.
I.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. CEIACHI. F.C.A. CHIRIQUÍ-2015.	26
II.	UBICACIÓN EN CAMPO DE LAS BOLSAS DE DESCOMPOSICIÓN, DEL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES ESTUDIADAS, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.	30
III.	PESO SECO (PORCENTAJE REMANENTE) DEL PESO SECO DEL FOLLAJE, DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE LAS 12 SEMANAS .CHIRIQUÍ-2015.	42
IV.	PORCENTAJE DE NITRÓGENO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE LAS 12 SEMANAS CHIRIQUÍ-2015.	48
V.	PORCENTAJE DE FÓSFORO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE LAS 12 SEMANAS CHIRIQUÍ-2015	53
VI.	PORCENTAJE DE POTASIO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE LAS 12 SEMANAS CHIRIQUÍ-2015.	56
VII.	PORCENTAJE DE CALCIO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE LAS 12 SEMANAS.CHIRIQUÍ-2015.	60
VII.	PORCENTAJE DE MAGNESIO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE LAS 12 SEMANAS.CHIRIQUÍ-2015.	64

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos contienen materia orgánica y la misma juega un papel importante ya que derivan residuos de plantas y animales, la cual es sintetizada durante la descomposición.

Sin embargo la materia orgánica del suelo (MOS), aunque no es su componente más abundante, en la mayoría de los suelos, sí es el más importante en todos debido a la gran actividad físico-química y biológica que genera y que controla en el mismo.

La descomposición y liberación de nutrimentos de la hojarasca, constituyen procesos clave para garantizar el adecuado funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, y con ellos favorecer las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Las características particulares de la hojarasca de cada especie influyen en la cantidad y el tiempo en que los nutrimentos son liberados al suelo durante el proceso de descomposición. Los ritmos de deposición, descomposición y liberación de nutrimentos al suelo deben sincronizarse con las necesidades nutrimentales de los cultivos y el mantenimiento de la actividad y funcionalidad biológica del suelo. Citado por Villegas 2008 (Beer et al. 1990, Schroth et al. 2001, Mendonca y Stott 2003).

La actividad de los microorganismos está controlada parcialmente por la cantidad de energía que pueda liberarse en la descomposición de la materia orgánica, lo que influencia la vida microbial y como ésta interviene en los procesos degradativos que dan origen a las transformaciones de nitrógeno en el suelo.

En Panamá, se sabe muy poco acerca de la tasa de descomposición y liberación de nutrientes que aporta la materia orgánica; las condiciones climáticas que presenta nuestro país referente a otros países varían; ya que, influyen de manera significativa en la liberación de nutrientes, debido a las altas temperatura y precipitaciones, mineralizando los residuos orgánicos influyendo en la disponibilidad de los nutrientes al cultivo en asocio. Con la presente investigación, se busca aportar información acorde con la zona de vida de la región, de forma que el productor que utilice esta técnica agroforestal tenga a mano información científicamente probada, esta situación puede ir cambiando a través del tiempo; ya que, pueden incluirse a especies de importancia e incentivar la utilización de este tipo de material vegetativo.

1.1. ANTECEDENTES

A través de los años se han realizado estudios e investigaciones referentes al tema, ya sea para conocer el comportamiento de especies o el rol que juegan en la descomposición de la materia orgánica; así lo señalan ciertos autores.

(Ortiz, 2010); realizó un estudio donde evaluó patrones de liberación en el follaje de cinco especies de importancia agroforestal; el único estudio en Panamá referente a este tema.

La calidad de la hojarasca ha sido considerada por numerosos estudios como buena predictora de la descomposición. Citado por Castellanos y León 2011 (xuluc-Tolosa, 2003; Ngoran, 2006; Martínez, 2007, Prause y Fernández 2007); ya que se han encontrado fuertes relaciones entre la pérdida de peso y algunos indicadores de calidad (v.g. contenido de lignina, fenoles, N, C, P, C/N, C/P, entre otros).

La literatura reporta estudios; citado por Osorio 2004, (Fassbender (1993) y Aranguren et al. (1982) en sistemas agroforestales donde se han evaluado para el componente arbóreo aspectos relacionados con producción de biomasa bajo diferentes sistemas de manejo de podas, densidades de plantación y arreglos espaciales, así como también la producción del cultivo asociado.

En las dos últimas décadas, un buen número de investigaciones han sido publicadas sobre descomposición de restos vegetales y la relación entre la

calidad de la hojarasca y la descomposición en particular. Estudios experimentales sobre la calidad de la hojarasca han definido índices de calidad química usando proporciones de C, N, lignina y polifenoles (Osorio 2004).

Estudios en este tipo de sistemas se han enfocado a determinar la producción y calidad del forraje. Citado por Casanova (2011); (Casanova et al., 2010; Petit et al., 2011). No obstante, se desconoce la cantidad de hojarasca que dichos sistemas pueden producir, así como los patrones de descomposición y liberación de nutrimentos a partir de dicha biomasa.

Algunos estudios realizados previamente por Cenicafe en las zonas cafeteras de Colombia han sido enfáticos en la descomposición de hojarasca sino en la liberación de nutrientes que aporta esta. Como (Farfan y Urrego, 2007) que evaluaron la descomposición y liberación de nutrimentos en *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* en sistemas agroforestales con café en el departamento de Quindío, mostrando que el sistema de cultivo de café a libre exposición solar o bajo sombra, no afecta la descomposición de sus residuos vegetales.

Cardona y Sadeghian (2005), evaluaron en agrosistemas de café a libre exposición y bajo sombrero el ciclo de nutrimentos y la actividad microbiana en términos de respiración, encontrando variaciones en las concentraciones de nutrimentos sin encontrar diferencias en las tasas de descomposición entre los cafetales.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En un sistema agroforestal el ciclaje de nutrimentos se encuentra principalmente en las raíces de los árboles y la capa de humus del suelo el cual se obtiene con la caída de hojarasca por poda o por raleo y los residuos de las cosechas los cuales hacen que se cree una capa que alberga muchos nutrientes; esta capa está compuesta por un tapete formado de micorrizas y humus en la parte superficial del suelo.

Los árboles son capaces de mantener o aumentar la fertilidad de los suelos a través del reciclaje de nutrimentos; es decir, logran el mantenimiento de la materia orgánica del suelo por medio de la producción y descomposición de hojarasca y de los residuos de podas. Citado por Arroyave 2012 (Mafongoya ,1998; Palm y Sánchez, 1990). Además el impacto de los árboles sobre el suelo depende de las características de reciclaje de nutrimentos, tales como la cantidad de hojarasca producida, su composición química y su tasa de descomposición (Montagnini et al. 1999).

Los residuos vegetales generados en los agroecosistemas, son objeto de procesos de descomposición y mineralización, que liberan una serie de compuestos importantes para la nutrición de las plantas y posibilitan la disponibilidad de cantidades considerables de N, P, K, Ca, Mg y otros microelementos. En este proceso, se producen tanto sustancias inorgánicas (en forma de aniones y cationes) como sustancias orgánicas, que pueden ser objeto

de nuevos procesos de resíntesis y polimerización, formando ácidos húmicos, con características y propiedades químicas específicas. (Fassbender 1992).

Las tasas de descomposición son un indicador de la funcionalidad de los procesos de los ecosistemas en el suelo y de los ciclos de nutrimentos, que incluyen descomposición de la hojarasca y el aporte de nutrimentos y en el que los organismos del suelo desempeñan un papel central (Tian y Badejo, 2001).

Esta investigación surge de las constantes situaciones que enfrenta el país por la escasa información y estudios realizados referentes al tema. Sin embargo con esto se busca aportar información bajo condiciones climáticas (clima, temperatura, precipitación) y con especies utilizadas por nuestros agricultores, además estudiar el aporte de minerales a través de la descomposición de materia orgánica que ofrecen los árboles de especies leguminosas y no leguminosas en los sistemas agroforestales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Cuantificar la tasa de liberación de nutrimentos del follaje de cinco especies de utilidad agroforestal.

1.3.2. Objetivos específicos

- Valorar mediante análisis químico el periodo de máxima liberación de nutrimentos para cada especie.
- Determinar el modelo de regresión que más se ajuste a las variables de respuesta.
- Evaluar el efecto edafo-climático sobre la descomposición del material orgánico producto de las cinco especies.

1.4. HIPÓTESIS

Ha:

Existen diferencias en los patrones de liberación de nutrimentos de las cinco especies en estudio, influenciado por el tiempo y el clima.

Hu:

No existen diferencias en los patrones de liberación de nutrimentos de las cinco especies en estudio, influenciado por el tiempo y el clima.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

1.5.1. Alcances

La escasez de información en nuestro medio sobre el uso de fuentes de abonos verdes, así como el desconocimiento por parte de los productores sobre la existencia en sus fincas de especies que pueden ser útiles para éstos fines. De igual forma se desconoce la tasa de descomposición de estas especies. El estudio va dirigido a investigadores agroforestales a la comunidad científica, a estudiantes, ONG y personal relacionado con la actividad, tanto a nivel nacional como internacional.

1.5.2. Limitaciones

Dentro de las limitantes que se presentaron podemos mencionar el ataque por insectos (hormigas, arrieras), que ocasionaron daños al material colectado y distribuido en campo, afectando mediante la remoción del material que se encuentra en las bolsitas colocadas en el suelo, la pérdida de peso del material vegetativo dando como resultado datos erróneos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descomposición de la materia orgánica.

La descomposición de la materia orgánica según Álvarez (2005), constituye un proceso ecosistémico, de importancia comparable a la producción primaria; se conoce mucho mejor todo lo relacionado con ésta última y el papel que desempeñan los organismos autótrofos en la misma, que lo relativo a los procesos de descomposición y, especialmente, al papel que llevan a cabo los microorganismos en ellos.

En este mismo sentido Berg (2000), nos indican la calidad y la cantidad de nutrimentos del suelo y la hojarasca influyen directamente en la abundancia, composición y actividad de la comunidad descomponedora. Por lo tanto, las interacciones entre el clima, la calidad de la hojarasca y la comunidad descomponedora ejercen controles importantes en la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrimentos.

Citado por Rojas (2005); Harmand (2003) define la materia orgánica del suelo (MOS), como la fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, incluyendo tejidos y células de organismos que viven en el suelo, y sustancias orgánicas producidas por los habitantes del mismo (flora y fauna).

Por otra parte, durante la descomposición de la materia orgánica pueden llegar a diferenciarse tres fases para la liberación de nutrientes: una inicial de rápida

liberación de componentes solubles, en la que dominan los procesos de lavado, seguida por una fase de inmovilización, y finalmente una fase de liberación neta. Citado por Castellanos y León 2011 (Weerakkody y Parkinson 2006a).

Esta liberación puede tomar varios caminos dependiendo de diferentes factores como la humedad, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la especie, la edad y, fundamentalmente, la calidad de la hojarasca (concentraciones de N y P; relaciones C/N y N/P; contenido de lignina, taninos, etc.). Estas características de calidad de la hojarasca pueden determinar a su vez la biomasa microbiana y la mineralización de los nutrientes. Citado por Castellanos y León 2011 (Attiwill y Adams 1993, Bubb et al. 1998, McGrath et al. 2000, Kumar y Agrawal 2001, Villela & Proctor 2002, Singh et al. 2004, Weerakkody y Parkinson 2006 b, Liao et al. 2006, Huang et al. 2007).

De igual manera Garrido (2001). Establece que la descomposición de la hojarasca comprende un conjunto de procesos físicos y químicos implicados en la degradación de la materia orgánica en sus constituyentes químicos elementales que se incorporan al suelo y a la atmósfera

2.2. Factores que afectan la descomposición de la materia orgánica.

Se sabe que el clima influye directamente en la tasa de descomposición de la materia orgánica presente en los suelos, la cual en conjunto con algunas características edáficas del sector, aceleran o retrasan dicha tasa. Dentro de los muchos factores que afectan la descomposición de la materia orgánica, los de

mayor incidencia son la aireación, textura, pH, temperatura y humedad del suelo. Todos estos factores en conjunto, actúan sobre la actividad biológica (Garrido, 2005). Citado por Navarro (2007).

Según Lavelle (2000), citado por Navarro (2007); entre los factores que regulan este proceso se encuentran: el clima (especialmente la temperatura y la humedad), la composición química de la hojarasca y los organismos del suelo.

2.2.1. Factores climáticos y micro climáticos

Oliver (2002), menciona que las variables climáticas condicionan las características físicas y químicas del ambiente que rodea la hojarasca, como temperatura, concentración de oxígeno, humedad y pH, estos factores afectan a la actividad de la comunidad que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica, formada por microorganismos del suelo que degradan enzimáticamente la materia orgánica y por la micro, meso y macrofauna edáfica, que contribuyen a la descomposición al fragmentar la hojarasca e ingerir materia orgánica.

Numerosos autores coinciden en señalar que los factores climáticos influyen en el proceso de descomposición de la hojarasca de las diferentes especies vegetales, y en especial, identifican que la temperatura y las precipitaciones son los indicadores de mayor importancia. Citado por Sánchez 2007 (Brown et al., 1994 y Mctierman et al., 2003).

Sin embargo, la hipótesis expuesta por Berg y Laskowski (2005), citado por Sánchez 2007, parece ser la más acertada, pues señalan que aunque ambos factores climáticos pueden influir en el proceso de descomposición, la combinación de la variación de la temperatura y la humedad puede ejercer un mayor efecto y predecir, a partir de ello, el comportamiento de la pérdida de biomasa durante el proceso de descomposición.

2.2.1.1. Temperatura

Citado por Sánchez (2007), Aerts (1997) y; Trofymow et al. (2002) señalaron que el decrecimiento de la temperatura implica la reducción en la actividad de los descomponedores y reduce la calidad de los materiales orgánicos que se incorporaran en el suelo.

La temperatura afecta significativamente la actividad microbiana del suelo; encontrándose que la temperatura de 27.5 grados centígrados fue óptima para la producción de óxido de carbono (CO_2) y 37.0 grados centígrados para la actividad de la deshidrogenasa, ambos procesos pertenecientes a la descomposición de la materia orgánica

El efecto de la temperatura resulta de la diferencia de respuesta de los procesos de producción de materia orgánica (crecimiento vegetal) y de destrucción de materia orgánica (descomposición microbiana) ante los incrementos de esta variable climática. En los suelos cálidos la mineralización es acelerada, por lo que la liberación de nutrientes es rápida pero la acumulación residual de materia

orgánica es menor que en los suelos más fríos. Por lo tanto, a medida que nos trasladamos desde los climas más cálidos hacia los más fríos, el contenido de materia orgánica de suelos equiparables tiende a aumentar. Los suelos regados de las regiones desérticas calientes, se encuentran entre los de más rápida velocidad de descomposición de la materia orgánica. (Corbella, Fernández). Cuando se observa un efecto negativo sobre la descomposición se debe a la coincidencia en el tiempo de las temperaturas altas con los periodos de sequía (Garrido, 2001).

2.2.1.2. Precipitación

Citado por Sánchez (2007), Aerts (1997) y Trofymow et al. (2002) señalaron por su parte, las precipitaciones no solo influyen en el proceso directamente mediante el lavado de los compuestos más solubles, sino que también modifican las condiciones para el desarrollo de la fauna descomponedora, por lo que ambos factores actúan en la dinámica de la descomposición de la hojarasca de las diferentes especies vegetales.

Generalmente, la precipitación produce un efecto positivo en la descomposición durante las primeras fases del proceso debido al lavado de componente solubles de la hojarasca (Salamanca et al., 2003).

Los mayores efectos sobre la descomposición no provienen de la cantidad total de las precipitaciones, sino, al menos en la primeras etapas, de la distribución de ellas a lo largo del año junto con la temperatura del aire, textura y aireación del

suelo, humedad y temperatura del horizonte superficial del suelo (Santa Regina, 2001).

2.2.1.3. Humedad del suelo.

El contenido de agua del suelo es otra importante variable para predecir la descomposición de la materia orgánica y la formación de gases de efecto invernadero asociada a ella. La sequía en el suelo limita la actividad fisiológica de los microorganismos y la difusión de nutrientes en el espacio poroso del suelo. Citado por Mediara (2012); (Harris, 1981; Robertson et al., 1997). De forma general puede indicarse que la actividad metabólica disminuye en el suelo cuanto éste se seca por debajo de un determinado límite, y que cuando hay un exceso de agua la actividad metabólica también desciende debido a la sustitución de las poblaciones aeróbicas por anaerobios facultativos/obligados y a la limitación de la difusión del oxígeno. Citado por Mediara (2012); (Rodrigo et al., 1997).

2.3. Mineralización de la materia orgánica

Arias (2001), menciona que en la descomposición de la materia orgánica se identifican dos procesos, que actúan simultáneamente: la mineralización y humificación. Y define la mineralización como la producción de nutrimentos inorgánicos que provienen de la oxidación de compuestos orgánicos y nutrimentos tales como iones de amonio (NH_4^+), dióxido de carbono (CO_2), calcio, magnesio, potasio entre otros.

La mineralización, es una fase muy lenta, y en ella el humus estable recibe la acción de otros microorganismos que lo destruye progresivamente, liberando así los minerales que luego absorberá el cultivo.

En este mismo sentido, citado por Salazar (2008); (Santa Regina, 1987) y (Preston y Trofymow, 2000). Mencionan que el conjunto de cambios que sufren los restos vegetales tienen dos orientaciones: la mineralización y la humificación. La mineralización conduce a la destrucción total de los restos orgánicos descomponiéndolos en sus productos inorgánicos sencillos, en general, solubles (fosfatos, sulfatos, nitratos, etc.) o gaseosos (CO^2 , NH^3). La mineralización puede afectar a la materia orgánica fresca (mineralización primaria) o a los compuestos húmicos (mineralización secundaria). La diferente tasa de descomposición condiciona la formación de los distintos tipos de humus.

2.4. Humificación de la materia orgánica

La humificación es considerada como un proceso mediante el cual la materia orgánica se va transformando en humus y llega a mineralizarse formando el ácido húmico que luego es extraído separando las huminias insolubles de los ácidos húmicos y fúlvicos solubles. (Mayhew, 2009).

La humificación es una fase bastante rápida, durante la cual los microorganismos del suelo actúan sobre esta en el momento en que se incorpora al suelo, formando el humus. Según (Julca, 2006), el humus tiene un

efecto positivo sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniendo a las arcillas, favoreciendo la penetración del agua y protegiendo al suelo al disminuir la erosión.

En relación a esto Magdoff y Weil (2004); citado por Kalil (2007), señalaron la humificación es el paso final de la degradación de la materia orgánica, la cual es básicamente el clivaje de moléculas de gran peso molecular en complejos coloides amorfos que contiene grupos fenólicos. La mayoría de los procesos de humificación se logran debido a los microorganismos del suelo, sin embargo es acentuado por actividades de invertebrados como los nematodos y artrópodos

2.5. Microorganismos del suelo

La biota del suelo constituye una fracción primordial de la biodiversidad terrestre. La mayoría de la energía capturada por la vegetación se utiliza por la biota del suelo para una serie de funciones esenciales de la integridad y productividad del sistema. Citado por Sánchez (2007); (Palm et al., 2001 y Martin y Lavelle, 1992).

La mayor presencia de especies como las lombrices, los coleópteros y los diplópodos, resulta de vital importancia, pues son consideradas dentro de la macrofauna edáfica como activos consumidores de materia orgánica. Citado por Sánchez 2007, (Velásquez et al., 2004).

De acuerdo con su participación en el proceso de descomposición, la fauna del suelo se agrupa en descomponedores y detritívoros. Los organismos

descomponedores son bacterias y hongos que participan en las primeras etapas de la descomposición y consumen principalmente azúcares y aminoácidos, citado por Sánchez (2007), (Martius, *et. al.*, 2004).

Los microorganismos, como las bacterias, los hongos y los protozoos, los cuales pueden denominarse ingenieros químicos del suelo, son los responsables de la descomposición de la materia orgánica y de hacer disponibles los nutrientes para las plantas, los animales y los humanos; además tienen gran importancia en la formación del humus (Turbé et al., 2010).

La actividad de los microorganismos es muy importante para la transformación y la vida de los suelos; en la cual se encuentran bacterias, hongos, hormigas, lombrices y otros microorganismos que intervienen en la transformación de la materia orgánica.

Los organismos del suelo constituyen la biomasa microbiana en la cual se incluyen:

Hongos: Los hongos del suelo presentan una alta heterogeneidad y diversidad. Han sido estudiados ampliamente por su importancia en la descomposición de tejidos vegetales y animales, por su papel en la rizosfera, por la formación de micorrizas y por su capacidad fitopatógena. Son organismos heterótrofos y por regla general aerobios estrictos. Son capaces de degradar un alto número de sustratos, como la lignina, celulosa, quitina, o la queratina, entre otros. (Prescott et al., 2004); Citado por Salazar(2008).

Los hongos son los principales agentes de descomponedores de la de la materia orgánica; ellos intervienen en la descomposición de la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón, grasas y compuestos de lignina. Los hongos participan en la formación del humus y contribuyen al reciclaje de nutrientes y a la estabilidad de agregados mediante la degradación de residuos vegetales y animales. (Ugarte, 2008).

Bacterias: Las bacterias presentan una gran variedad fisiológica, y por lo general, es el grupo más numeroso del suelo. La mayoría son heterótrofas, y, aunque tienen un papel importante en la degradación de la materia orgánica, son poco eficaces en la formación del humus (Prescott et al., 2004). Citado por Salazar(2008).

En la medida que avanza la descomposición, el proceso es más lento y participan hongos septados especializados, como Ascomycota, Basidiomycota y Actinobacterias, que pueden degradar la celulosa, la lignina y las proteínas más complejas. Oligoquetos, que son las lombrices de tierra; y Moluscosa que incluye a los caracoles y las babosas, citado por Sánchez (2007); (Decaens et al., 2004 y Jiménez y Decaens, 2004). La mayor presencia de especies como las lombrices, los coleópteros y los diplópodos, resulta de vital importancia, pues son consideradas dentro de la macrofauna edáfica como activos consumidores de materia orgánica (Velásquez et al., 2004). El papel fundamental de estos organismos es el reciclaje de los nutrimentos. Citado por Sánchez (2007); (Stork y Eggleton, 1992).

2.6. Composición bioquímica del material orgánico

La descomposición de la hojarasca está fuertemente relacionada con su composición química, especialmente la concentración inicial de nitrógeno, la relación carbono: nitrógeno (C: N) y la relación lignina: N. Citado por Sánchez (2007); (Preston et al., 2000).

Generalmente la tasa de pérdida de masa es mayor en la hojarasca con una mayor disponibilidad de nutrientes, pero se reduce cuando contiene una mayor concentración de lignina o polifenoles, citado por Sánchez (2007); (Preston et al., 2000 y Trofymow et al., 2002).

La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son los componentes más importantes de la hojarasca, los que constituyen el 50-80% de la materia seca. Citado por Sánchez (2007); (Berg 2000 y Trofymow et al. 2002). Estas macromoléculas, previamente a la asimilación por los microorganismos, deben ser hidrolizadas a subunidades más simples, mediante enzimas extracelulares. La celulosa es uno de los componentes estructurales orgánicos más importantes de los tejidos vegetales y la capacidad para su utilización se considera una propiedad esencial de los hongos saprófitos que degradan la hojarasca. Después de la celulosa, la lignina es el segundo componente más importante de la hojarasca. La lignina es un polímero constituido por unidades de fenilpropano con múltiples enlaces y se degrada por un complejo de enzimas, entre ellas lacasas, lignino peroxidasas y tirosinasas, que actúan sinérgicamente, citado por Sánchez (2007); (Fioretto et al., 2005).

La disponibilidad de nutrientes para las plantas, está determinada por la proporción en que los nutrientes circulan dentro del sistema y la cantidad de insumos que éste recibe. Citado por Romero (2006); (Lampkin 2001). La composición bioquímica de los restos vegetales varía dentro de los límites, según su edad y funciones del órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas, mientras que los tejidos leñosos presentan mayores contenidos en compuestos fenólicos (ligninas) y celulosas. Citado por Romero (2006); (Fassbender 1992). Son los contenidos de polifenoles y ligninas factores adicionales que influyen la liberación de los nutrientes de la hojarasca y otros residuos vegetales, ya que ambos disminuyen la calidad de los materiales vegetales. Citado por Romero (2006); (Palm 1995).

2.7. Descripción de las especies

2.7.1 Laurel (*Cordia alliodora*)

Familia: Boraginaceae

Nombre Común: Laurel

Cordia alliodora es una especie latifoliada, especie conocida por diferentes nombres comunes como laurel o laurel blanco en América Central, Colombia, Ecuador y Panamá; lapochillo en Argentina; capa prieta en República Dominicana y, súchil sabanero en México. Esto por mencionar algunos países a lo largo de su distribución natural, citada por Bailarín (2011); Boshier y Lamb 1997.

En regiones húmedas tropicales, el laurel es generalmente un árbol alto, delgado, de copa angosta, rala y abierta, con mínima bifurcación, un fuste de 15 a 20 m, con 40 m de altura y diámetro de 1 m. Sin embargo, en bosques secos el laurel es más pequeño, alcanzando raramente una altura de 20 m y diámetro de 30 cm. Citado por Bailarín (2011); (Boshier y Lamb 1997; Cordero, 2003).

El laurel crece en gran variedad de climas, con mejor crecimiento en zona, húmeda tropical y muy húmeda tropical, en donde la precipitación anual promedio varía entre 2,000 y 2,500 mm y la temperatura anual promedio es de 24 °C. En América Central crece mucho más lento en zonas de vida forestal tropical o subtropical seca, en donde la precipitación anual promedio varía entre 750 y 2,000 mm y la temperatura anual promedio es de 25 a 27 °C, y con período seco de cero a siete meses. La distribución altitudinal del laurel se da cerca del nivel del mar hasta los 2,000 msnm, con crecimiento frecuente debajo de los 500 msnm. En Centroamérica la especie se distribuye desde el nivel del mar hasta 1,400 msnm en la vertiente del Pacífico y desde el nivel del mar a 700 msnm en la vertiente del Atlántico. Citado por Bailarín (2011); (Francis y Lowe 2000; Cordero, 2003).

El laurel blanco requiere condiciones nutritivas de suelos fértiles, bien drenados y de textura media para crecer vigorosamente. No obstante, también se adapta a suelo de arenas profundas infértiles y poca materia orgánica como Entisoles u Oxisoles y a suelos volcánicos fértiles, profundos y ricos en materia orgánica como Andosoles.

2.7.2 Eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) (Blume)

Familia: Boraginaceae.

Nombre Común: Eucalipto

Es la única especie de eucalipto que aparece naturalmente, tanto al norte como al sur del Ecuador, y prospera en condiciones de lluvias y temperaturas uniformemente altas todo el año, donde otras especies pueden ser susceptibles a enfermedades. En estas condiciones es de rápido crecimiento y con una forma razonablemente buena (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Citado por Dzib (2003); FAO (1981).

Las características del árbol son: altura de 35-75 m, con muy buena forma por lo general, el tipo de corteza es lisa, se descortezan en largas tiras. La madera es de color rojo pardo clara a oscura, se acerca más a una madera de bosque pluvial, de grano áspero que a la de eucaliptos; resistencia moderada pero no durable, con una densidad 560-800 kg. Citado por Dzib (2003); (FAO, 1981).

En América Central se planta en las zonas bajas húmedas de la vertiente atlántica y en menor escala en la pacífica, en elevaciones por debajo de los 1200 msnm. Y con una precipitación superior a 1000 mm de lluvia anuales Citado por Dzib (2003); (CATIE 1994a).

Respecto a las hojas de los árboles, en la época seca se observa una menor cantidad de hojas en la copa, a diferencia de la cantidad de hojas observadas en

la época lluviosa, aunque esta especie de árboles nunca queda sin hojas durante el año (Angrand, 2002).

2.7.3 Nacedero (*Trichanthera gigantea*)

Familia: Acanthaceae.

Nombre Común: Madre de agua

Nacedero es un árbol forrajero que pertenece al orden tubiflores. Es originario del Norte de la región Andina y su desarrollo óptimo lo alcanza desde el nivel del mar hasta los 2,500 msnm, desarrolla alturas entre 8 y 12 m, no produce semilla sexual viable y solo se puede reproducir por estaca. (Arosemena, 2008).

Se le conoce con diferentes nombres como cajeto, madre de agua, quiebra barrigo, yátago, cenicero y aro (Pérez 1990). Los nombres “nacederos” y “madre de agua”, significan que el árbol crece en los nacimientos de las aguas (Pérez 1990).

Las ramas poseen nudos bien pronunciados, hojas opuestas aserradas y vellosas verdes muy oscura por el haz y más clara por el envés; las flores dispuestas en racimos terminales son acampanadas de color amarillo ocre con anteras pubescentes (peludas de ahí su género *Trichanthera*). El fruto es una cápsula pequeña redonda con varias semillas orbiculares (Pérez 1990).

2.7.4 Poró, palo santo (*Erythrina poeppigiana*) (Wal) O.F. Cook

Familia: Fabaceae

Nombre Común: poró, palo santo

Es una especie que se distribuye en América Tropical, desde Panamá hasta Bolivia, alcanza altura entre los 20 y 25 m, y un DAP medio 1.2 m hasta 2 m. En Costa Rica es conocido como poró o poró gigante. Se encuentra en altitudes de 600 hasta 1700 msnm, con temperatura promedio anual de 18 a 28 °C y precipitación de 1000 a 1300 mm.

El uso más común es en sistemas agroforestales, en especial como sombra en cafetales, debido a su capacidad de fijar nitrógeno, gran producción de nódulos y gran tolerancia a podas frecuentes durante largo tiempo que permite ajustar la sombra al cultivo principal, además de producir grandes cantidades de hojarasca rica en nitrógeno (4.1 - 4.9 %); de aquí el valor de la especie en conservar, mejorar el suelo y contribuir a rendimientos elevados y sostenibles de los cultivos asociados. Citado por Montenegro (2005); (CATIE 2000; Cordero 2003).

2.7.5 Amarillo (*Terminalia amazonia*) (J.F. Gmel.) Excell

Familia: Combretácea

Nombre Común: amarillo

Sus nombres comunes son roble coral, amarillón, cancún, naranjo, volador, amarillo real (América Central y Panamá), sombrerete, tepesuchil (México), guayo, chicharrón (Cuba), bullywood, (Belice), arispin, aceituno (Venezuela),

guayabo león, palo prieto (Colombia). Citado por Dzib (2003); (Salazar et al., 2000b).

Se adapta bien a suelos ultisoles y andisoles; y no es sensitivo a suelos ácidos. Citado por Solís y Moya; (Calvo y Arroyo, 1997). Se ha observado que en su ambiente natural crece en suelos con buen drenaje, desde moderadamente profundos (mayor a 60 cm) a profundos (Valerio y Chavarría 1993).

Se distribuye naturalmente desde el golfo de México en la vertiente Atlántica, hasta las Guayanas en América del Sur. También se concentra en las antillas. Es común en laderas húmedas y planicies de los bosques. La distribución altitudinal varía de 40 a 1200 msnm, con una precipitación de 2500 a 3000 mm y temperaturas superiores a los 28°C. También se encuentra en suelos arcillosos o pobres y arenosos; no obstante su crecimiento es óptimo en suelos arcillosos a francos con pH de ácido a neutro. Citado por Dzib (2003); (Salazar et al., 2000b).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá en el corregimiento de Chiriquí, distrito de David, provincia de Chiriquí. Geográficamente está situado entre los 8°23'40'' de latitud Norte y 82° 20'03'' de longitud Oeste. (Proyectos, Estudios y Asesorías, S.A. 1980).



FIGURA N° 1: LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. CEIACHI. F.C.A.CHIRIQUÍ-2015

3.2 Geología y Suelos

Las formaciones sedimentarias de tipo volcánico no diferenciadas del terciario y las formaciones ígneas extrusivas de tipo máfico como basalto y andesita del oligoceno-mioceno constituyen la geología del área. Estos materiales han originado los suelos rojos arcillosos de las terrazas altas producto de la meteorización.

Atravesando el terreno y en la parte baja de campo existen suelos desarrollados sobre planicies fluviales formados por deposiciones de origen más recientes las cuales consisten de material cascajoso sobre los cuales se han formado suelos de textura liviana con horizontes muy pocos diferenciados. Estos materiales no consolidados de finales del plioceno a inicios del pleistoceno fueron depositados por el río Chiriquí. (Proyectos, Estudios y Asesorías, S.A. 1980).

3.3 Zona de vida y vegetación

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Tossi (1987), el área establecida para la realización del ensayo pertenece a un Bosque Húmedo Tropical Basal.

La vegetación del sitio se caracteriza por especies como: *Bambusa vulgaris*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Anacardium occidentale*, *Tabebuia rose*, *Manguijera indica*, *Diphysa robinoides*, *Bursera simaruba*, *Ocotea sp*, *Byrsonima crassifolia*, entre otras.

3.4 Condiciones climáticas

La precipitación pluvial registrada según la estación meteorológica CEIACHI (Centro de Enseñanzas e Investigación Agropecuaria de Chiriquí), registró una precipitación pluvial promedio de 78.82 milímetros, durante el periodo comprendido entre diciembre 2014, enero y febrero 2015.

La temperatura máxima promedio fue de 33.60 grados centígrados; y la mínima de 21.59 grados centígrados. (Laboratorio de física de la atmosfera 2014-2015).

3.5 METODOLOGÍA

3.5.1 Metodología de evaluación de la tasa de liberación de los nutrimentos.

Para la elaboración de la tasa de liberación se utilizó el método de pérdida de peso seco; esta metodología consiste en la medición de la pérdida del peso seco. Se colocaron muestras de follaje de las especies seleccionadas, las bolsas fueron colocadas en el terreno al azar, por un período de tres meses.

3.5.2 Preparación de las bolsas de descomposición.

En el estudio de la dinámica de la descomposición se utilizó el método de bolsas de descomposición según (Arguello, 1998; Munguía, 2003); las dimensiones de cada bolsa fueron de 40 x 30 centímetros, el material utilizado para la parte superior de la bolsa fue una malla de hilo de saram con orificios de cinco milímetros de diámetro, la parte inferior de dos milímetros ambos materiales se unirán entre sí con lira; esto busca minimizar las pérdidas del material orgánico que se fragmenta durante el proceso de descomposición, para crear un microambiente interno no muy diferente del medio exterior, y así permitir la entrada de la fauna edáfica. Además cada bolsa se le adicionara una numeración por medio de una colilla de plástico colocado dentro de las bolsas para su debida identificación.

Las muestras foliares, se recolectaron de la parte intermedia de la copa del árbol de las especies seleccionadas, de manera tal de obtener una uniformidad entre

el follaje de las diferentes especies, asemejando el proceso en su estado de desarrollo completo.

Llenado de las bolsas de descomposición

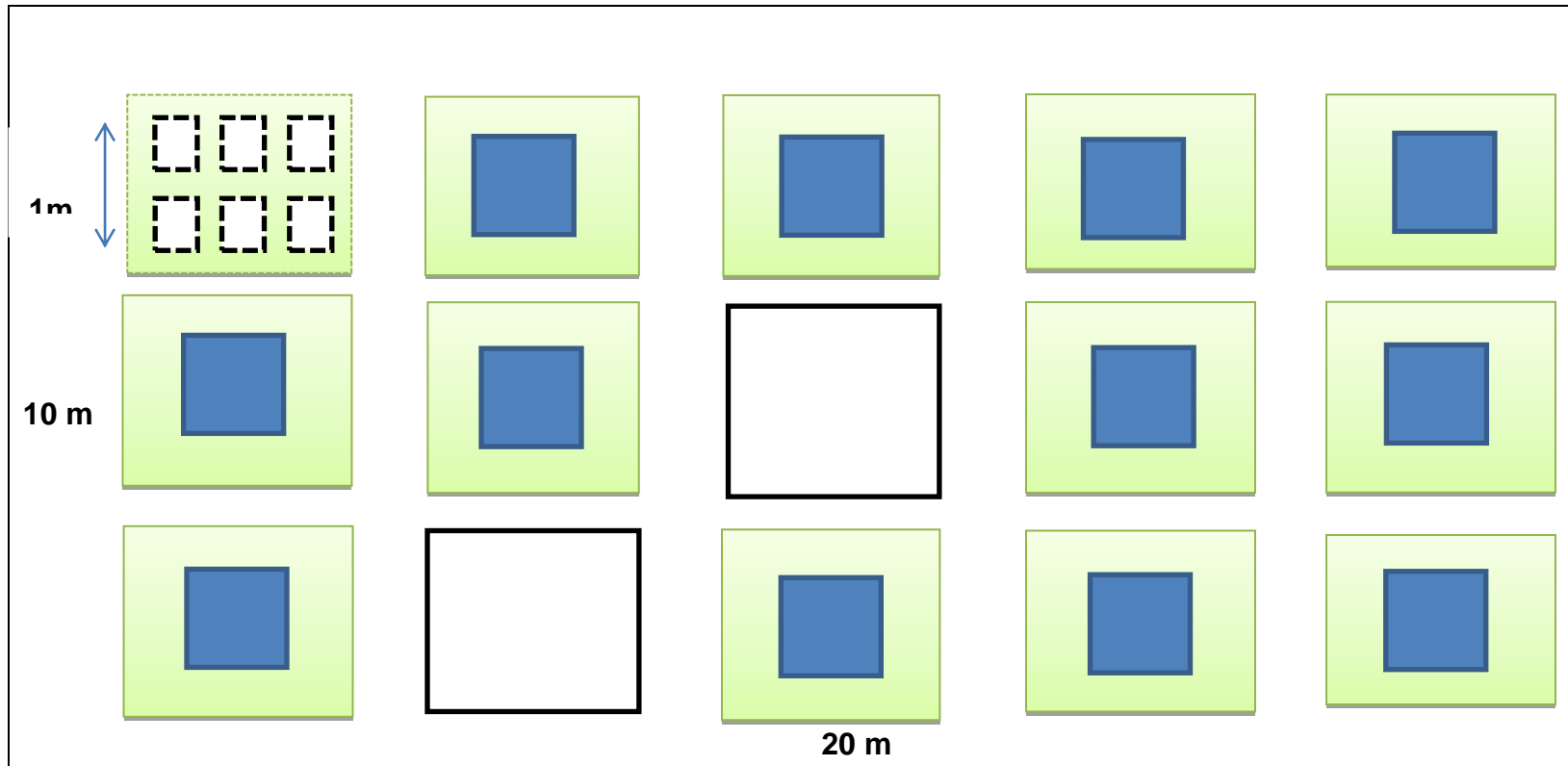
El follaje de las especies en estudio se recolectó a los alrededores del sitio de la investigación (CEIACHI). Antes de introducir el follaje a las bolsas se tomaron 100 gramos de material fresco, para cada especie para obtener el valor inicial de materia seca, conformando de esta forma los datos iniciales de la curva de descomposición.

En cada bolsa se introdujo 400 gramos de follaje por especies, el llenado de las bolsas se realizó de manera cualitativa incluyéndose follaje con las mismas características de desarrollo, grosor, tamaño de peciolo y tamaño de ramas.

3.5.3 Ubicación en campo

La ubicación del ensayo en campo se realizó en un área de 450 metros cuadrados y separaciones de 0.50 metros entre grupos de tratamientos denominada parcela experimental. En la figura N° 1 se muestra la ubicación en campo de las bolsas de descomposición del follaje de las cinco especies.

La parcela donde se estableció el ensayo fue limpiada de la vegetación existente, con el propósito de que las bolsas tuviesen contacto con los microorganismos del suelo; y así de esta forma asemejar el proceso natural de descomposición.



- T1. *Terminalia amazonia*
- T2. *Eritrina poeppigiana*
- T3. *Cordia alliodora*
- T4. *Eucalyptus deglupta*
- T5. *Trichanthera gigantea*

Repetición



* 6 bolsas para cada repetición



FIGURA N° 2. UBICACIÓN EN CAMPO DE LAS BOLSAS DE DESCOMPOSICIÓN, DEL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES ESTUDIADAS, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.

3.5.4 Recolección de las bolsas y Análisis químico

La recolección se realizó periódicamente, obteniendo una bolsa por cada especie por repetición en un período de tres meses, la primera recolección se llevó a cabo a la segunda semana del establecimiento en campo, repitiendo las siguientes mediciones en las semanas cuatro, 6, 8, 10,12.

Las bolsas retiradas de campo fueron llevadas al laboratorio donde se procedió a limpiarlas y extraerle todo material extraño al foliar, luego fueron pesadas y secadas al horno a de 65°C por 72 horas para obtener un peso constante.

Las muestras ya secas se fragmentaron en un molino foliar (Thomas), con un tamiz N° 1.00 milímetros.

Análisis químico

Para determinar el contenido de nutrimentos de las cinco especies en estudio, se analizaron en el laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Chiriquí.

Las muestras secas y molidas se incineraron a 450°C por 12 horas, los minerales son extraídos de las cenizas con una solución de HCl 1:1(Beaty y Keber, 1993).

Utilizando ese extracto se determinó el fosforo por espectrofotometría de color utilizando molibdo-vanadato de amonio y el K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

El Nitrógeno fue determinado por la técnica de Kjeldahl, iniciando con una digestión ácida, seguida de una destilación en la que se capturo el nitrógeno en una solución de boro al 4% y finalmente se cuantificó el nitrógeno por titulación con HCl 0.1N.

3.6 Parámetros a evaluar

- ❖ **Pérdida de peso de las bolsas de descomposición:** Se determinó mediante el porcentaje de materia seca (%Ms), con la siguiente formula.

$$\%Ms = (PS/ PF) \times 100$$

Dónde:

PS= Peso seco

PF= Peso fresco

- ❖ **Porcentajes de nutrimentos:** se determinaron las concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), a cada especies por su respectivas semanas; empleando las metodologías descritas en el estudio.
- ❖ **Porcentaje remanente:** Se estimó mediante el cociente del peso seco inicial sobre el peso seco final.

Porcentaje remanente del peso seco (% PSR):

$$\%PSR = (Xt/Xo) \times 100$$

Donde

% PSR= Porcentaje remanente peso seco

Xt= materia seca final

Xo= materia seca inicial

❖ **Porcentaje remanente nutrimental (%NR):**

$$\%NR = (Ct \times Xt / Co \times Xo) \times 100$$

Dónde:

% NR= Porcentaje remanente nutrimental

Ct= concentración de nutrimento final

Xt= peso seco final

Co= concentración de nutrimento inicial

Xo = peso seco inicial

❖ **Condiciones climáticas**

Para este fin se analizaron los datos de los registros de precipitación y temperatura tabulados para los meses de diciembre 2014; enero y febrero 2015 correspondientes al tiempo donde se desarrolló el estudio. (Laboratorio de física de la atmosfera 2014-2015).

3.7 Análisis estadístico

Una vez analizados y obtenidos los datos de campo, se procedió al análisis estadístico mediante el modelo de regresión simple entre las variables dependientes, peso seco, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio versus la variable independiente tiempo (semanas de muestreo).

El modelo lineal para las variables de estudio se expresa de la siguiente forma:

$$Y = a + bx + \epsilon$$

Dónde:

y = variable dependiente (peso, N, K, Ca, Mg)

x = variable independiente (tiempos, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12)

a b = parámetros a estimar

ϵ = error aleatorio

A los resultados de peso seco se les aplicó la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), según (Navarro 2006 y Montgomery 2003), citado por (Wong 2010), la prueba de Duncan, también conocida como la prueba de rango múltiple, es conveniente aplicarla cuando los tamaños de las muestras son iguales y los tratamientos presentan una relación ordinal, es decir, pueden ordenarse de manera ascendente o descendente en una escala no numérica, a diferencia de los tratamientos que responden a variables continuas en las que procede un análisis de regresión.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración inicial de nutrimentos en el follaje de las especies.

Los resultados en porcentaje del análisis de la concentración inicial para macronutrimentos y micronutrimentos; así como el peso seco de cada una de las especies se presentan en el cuadro I , observándose que la especie *Terminalia amazonia* presentó el mayor porcentaje de peso seco 49.84 por ciento, seguido de *Cordia alliodora* 36.56 por ciento) y *Eucalyptus deglupta* 30.82 por ciento; mientras que *Erythrina poeppigiana* 21.62 por ciento y *Trichanthera gigantea* (16.70) presentaron los porcentajes más bajos.

Al observar las concentraciones iniciales de los nutrimentos, para el caso específico del nitrógeno, la especie *Trichanthera gigantea* presentó el mayor porcentaje 3.96 por ciento, considerando así el porcentaje más alto; seguidas por *Erythrina poeppigiana* 3.40 por ciento, *Cordia alliodora* 2.80 por ciento de igual manera la especie *Eucalyptus deglupta* con un valor de 2.38 por ciento y *Terminalia amazonia* 1.67 por ciento reflejando los menores porcentajes. Los valores de nitrógeno inicial se asemejan a los encontrados por Montenegro (2005), citado por Ortiz (2010), para la especie *Terminalia amazonia*, registrando valores de 1.61 y 1.91 por ciento tanto en época seca y lluviosa.

En un estudio realizado por (Tian 1997 y Constantinides y Fownes 1994); citado por Osorio (2004), muestra que la concentración de nitrógeno (N) inicial en las hojas verdes de otras especies leguminosas fue de 3.88% para *Erythrina poeppigiana*.

La concentración de nitrógeno presente en las hojas verdes de *Inga edulis* con 3.75%. En este mismo sentido Osorio (2004) y Gutiérrez (2003); citado por Montenegro (2005), encontraron que al evaluar la concentración de nitrógeno en hojas verde de especies leguminosas, de *Erythrina poeppigiana* 3.88% e *Inga edulis* 3.75% de N encontró valores menores en *T. amazonia* 1.73% N.

CUADRO I. CONCENTRACIONES INICIALES DE LOS NUTRIMENTOS INVESTIGADO Y PORCENTAJE DE MATERIA SECA DE LAS CINCO ESPECIES ESTUDIADA, CHIRIQUÍ-2015.

Especies	PESO SECO	N	P	K	Ca	Mg
	%	%	%	%	%	%
<i>Terminalia amazonia</i>	49.84	1.67	0.10	0.62	1.96	0.10
<i>Erythrina poeppigiana</i>	21.62	3.40	0.18	0.72	1.77	0.25
<i>Cordia alliodora</i>	36.56	2.80	0.17	0.72	4.43	0.77
<i>Eucalyptus deglupta</i>	30.82	2.38	0.20	0.89	1.00	0.15
<i>Trichanthera gigantea</i>	16.70	3.96	0.25	0.79	8.57	0.43

Para el caso de fósforo las especies *Trichanthera gigantea* 0.25 por ciento y *Eucalyptus deglupta* 0.20 por ciento presentaron la concentración de fósforo más alta, seguida de *Erythrina poeppigiana* 0.18 por ciento, mientras que *Cordia alliodora* 0.17 por ciento, y *Terminalia amazonia* 0.10 por ciento, mostraron los valores más bajos para este elemento. Los valores encontrados son similares a los de (Fonseca 2008, Montenegro 2005), citado por Ortiz (2010), en las especies *Terminalia amazonia* e *Inga edulis* donde los porcentajes de fósforo inicial se estimaron entre 0.12 y 0.17 por ciento respectivamente.

La concentración inicial para el potasio mostraron valores de 0.89 y 0.79 por ciento para las especie *Eucalyptus deglupta* y *Trichanthera gigantea* respectivamente, seguido de las especies *Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora* con un valor de 0.72 por ciento para ambas especies y con un valor de 0.62 por ciento para *Terminalia amazonia*; este último valor se asemeja a lo encontrado por Montenegro (2005) y Fonseca (2008), citado por Ortiz (2010), donde *Terminalia amazonia* obtuvo valor de 0.67 por ciento para este nutrimento.

Con respecto al calcio, las especies con mayor concentración inicial fueron *Trichanthera gigantea* con 8.57 por ciento, seguida por *Cordia alliodora* con 4.43 por ciento y con menor porcentaje se encuentran la *Terminalia amazonia* con 1.96 por ciento, *Erythrina poeppigiana* 1.77 por ciento y *Eucalyptus deglupta* con 1.00 por ciento. En estudios realizados por Osorio (2004), Montenegro (2005) y Fonseca (2008), citado por Ortiz (2010), reportaron valores superiores para esta misma especie *Terminalia amazonia* 2.01 por ciento en relación a los encontrados en este estudio.

Para el nutrimento de magnesio; las especies que presentan mayor concentración inicial de este lo fueron *Cordia alliodora* con 0.77 por ciento, *Trichanthera gigantea* 0.43 por ciento, mientras que las especies de menor concentración fueron *Erythrina poeppigiana* 0.25 y *Eucalyptus deglupta* 0.15 por ciento y *Terminalia amazonia* 0.10 por ciento. Rodriguez y Guevara (2002), encontraon valores de 0.17 y 0.18, para las especies de *Terminalia amazonia* y *Cratylia argétea*.

4.2 Descomposición del follaje de las cinco especies.

Para estimar el modelo con mejor ajuste a la variable pérdida de peso en la descomposición del follaje de las especies en estudio, se encontró que la ecuación polinómica fue la de mejor ajuste cuyo modelo es el siguiente:

$$Y = ax^2 + bx + c$$

Dónde:

Y = porcentaje de peso seco remanente

a, b y c = valores constantes

x = tiempo en semanas

El valor de R^2 se mantuvo entre el rango de 0.92-0.99, lo que indica que hubo un buen ajuste para las variables tanto dependientes como independientes es este estudio.

Estudios realizados por Arguello (1988) y Osorio (2004), indican que los modelos exponenciales han sido de mejor ajuste, ya que tienden a perder peso más rápido; sin embargo los modelos polinominales tienen una pérdida de peso constante.

El estudio muestra que el modelo polinomial fue el de mejor ajuste, a pesar de que las especies presentaron condiciones ambientales diferentes, las tasas de descomposición y liberación fueron distintas, ya que Arguello (1988), menciona que esto se debe a la composición bioquímica del follaje de las especies.

4.2.1 Pérdida de peso

En el cuadro II se muestran los resultados de la variación del porcentaje de materia seca por especie durante el período de estudio que comprendió 12 semanas.

CUADRO II. VARIACION DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA POR ESPECIE, A TRAVES DEL PROCESO DE DESCOMPOSICION DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.

Especies	S	e	m	a	n	a	s
	1*	2	4	6	8	10	12
<i>Terminalia amazonia</i>	49.84	40.92a	39.26a	37.02a	36.46a	36.24a	36.09a
<i>Erythrina poeppigiana</i>	21.62	17.81d	17.4d	15.31d	14.62c	14.28c	13.93c
<i>Cordia alliodora</i>	36.56	35.97a	33.71b	30.61b	28.35b	27.13b	25.05b
<i>Eucalyptus deglupta</i>	30.82	30.08c	26.24c	25.72c	25.05b	24.41b	23.91b
<i>Trichanthera gigantea</i>	16.70	15.58d	13.61e	12.85d	12.15c	11.92c	11.60c

Valores seguidos por la misma letra, no difieren significativamente (Duncan 5%).

* Valores de la semana uno representan los porcentajes iniciales.

La especie *Terminalia amazonia* presentó el mayor peso seco inicial y la menor pérdida presentó durante las 12 semanas; además mostró una variación de porcentaje de peso seco en la semana uno a la dos de 8.92 por ciento; mostrando pérdida de peso entre las semanas 6,8,10 y 12 con un valor promedio de 0.23 por ciento; estas fechas corresponden al mes de enero donde hubo una precipitación de 1.02 milímetros y una temperatura máxima de 35.28 grados centígrados, durante el mes de febrero la precipitación fue de 27.94

milímetros. Otro factor que incide en la finalización de la descomposición es el hecho de que disminuye el contenido de nutrimentos los cuales son energía para los microorganismos del suelo. En estos dos meses se registraron lloviznas lo que pudo tener un efecto en el comportamiento de la descomposición. Para esta especie no hubo diferencia significativa entre los tratamientos en la variación del porcentaje de materia seca.

Factores como la temperatura y la humedad influyeron en la descomposición; ya que las muestras se expusieron en los meses de diciembre, enero y febrero, este último presentó la menor precipitación en el año en la zona de estudio, ya que la vida microbiana y su multiplicación exigen la presencia de humedad, bien provenga de los residuos vegetales o de precipitaciones, realizando así con mayor rapidez la desintegración de la biomasa.

Las especies *Eucalyptus deglupta* con 3.84 por ciento y *Trichanthera gigantea* 1.97 por ciento presentaron su mayor pérdida de peso durante las cuatro primeras semanas coincidiendo con una mayor precipitación; sin embargo las especies *Cordia alliodora* 3.1 por ciento, *Erythrina poeppigiana* 2.09 por ciento y *Terminalia amazonia* 2.24 por ciento; mostraron su mayor pérdida de peso durante la semana cuatro a la seis, atribuido a un periodo de mayor precipitación.

En este mismo sentido las especies *Erythrina poeppigiana* y *Trichanthera gigantea* no mostraron diferencias significativas durante las tres últimas semana

(8, 10, 12); sin embargo, entre las semana 6 y 8 se registró una diferencia para cada especie.

Trichanthera gigantea fue la especie que más pérdida de peso seco presentó; mientras que la de menor pérdida fue *Terminalia amazonia*.

El periodo entre las semanas 10 a la 12 las especies *Erythrina poeppigiana* y *Trichanthera gigantea* fueron las de menor variación de materia seca 0.35 y 0.32 por ciento. Ambas especies presentaron variaciones de materia seca; ya que fue en los periodos de menor precipitación y temperatura.

Por su parte *Cordia alliodora* presentó diferencia significativa en la semana uno y dos de 0.59 por ciento; a partir de la semana cuatro a la última semana no se presentaron cambios significativos. En cuanto a *Eucalyptus deglupta* la mayor pérdida de peso seco fue en la semana dos a la cuatro de 3.84 por ciento; presentando la diferencia significativa entre la sexta y octava semana, mientras la menor fue entre la semana uno y dos. Pande (1999), citado por Munguía (2003), establece que las lentas tasas de descomposición de *E. deglupta* se deben probablemente al alto contenido de polifenoles y a menores contenidos de N y homocelulosa.

La Figura 3 muestra los porcentajes remanentes del material vegetal de las cinco especies; durante el proceso de la descomposición; donde se observa que la especie *Terminalia amazonia* mostró inicialmente mayor descomposición en relación a las demás especies, siendo *Cordia alliodora* la de menor pérdida.

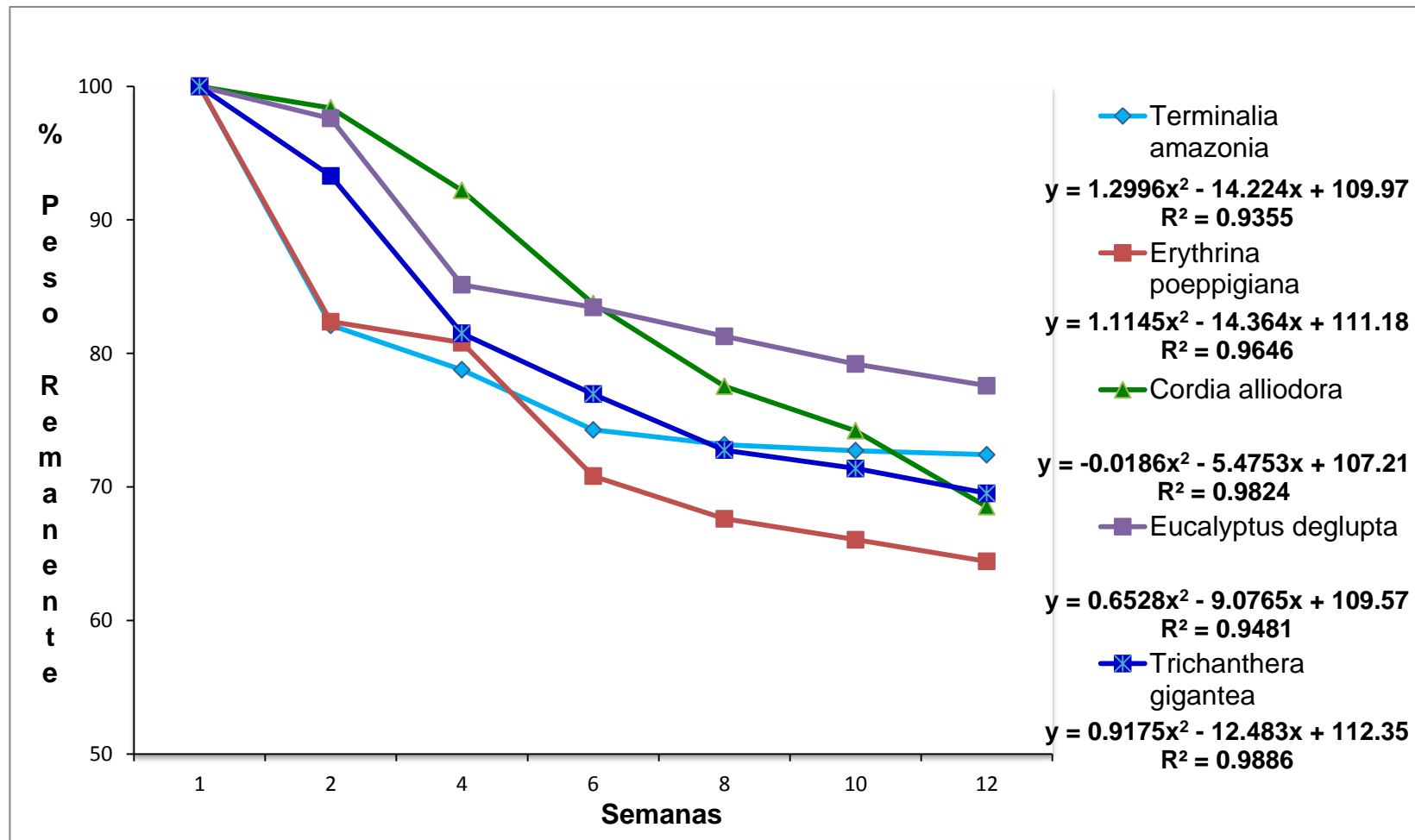


FIGURA N° 3 PESO SECO (PORCENTAJE REMANENTE) DEL PESO SECO DEL FOLLAJE, DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO. DURANTE LAS 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015

El grupo comprendido por *Erythrina poeppigiana* y *Terminalia amazonia* presentaron una tasa de descomposición similar hasta la semana dos, con un 78 y 80 por ciento de porcentaje remanente, mientras que *Terminalia amazonia* incrementó la pérdida de peso seco a partir de la semana cuatro y seis posterior a estas fechas se mantuvo constante.

Por su parte *Cordia alliodora* y *Eucalyptus deglupta* presentaron una tasa de descomposición similar en la semana seis con valores de 83.7 y 83.5 por ciento de porcentaje remanente (16.3 y 16.5 por ciento del inicial); sin embargo *Cordia alliodora* a partir de la semana ocho aumentó a un ritmo más rápido que *Eucalyptus deglupta*. Por su parte *Eucalyptus deglupta* en la última semana presentó el porcentaje de materia seca más bajo con un 22.4 por ciento en relación a las demás especies. *Trichanthera gigantea* empezó a liberar a un ritmo más rápido a partir de la semana dos con un valor de 18 por ciento del porcentaje inicial.

La calidad de la hojarasca ha sido considerada como el principal atributo de predicción de la descomposición. Citado por D'Acunha (2015); (Aerts 1997 y Martinez et al. 2007) puesto que se ha encontrado una fuerte relación entre la pérdida de peso y algunos indicadores de calidad, por ejemplo el contenido de lignina, fenoles, N, P, C/N, entre otros. Citado por D'Acunha (2015); (Castellanos y León 2011).

Las fuentes literarias enmarcan que durante los primeros meses se da la etapa más rápida de descomposición de la materia orgánica y que la segunda etapa se da a partir del segundo trimestre; esto ocurre mediante la diferenciación en la composición química y fenología del material vegetal de las especies en estudio el cual se ve influenciado por las condiciones climáticas del lugar. Según (Swift et al. Citado por Arguello, 1988), establece que la relación C/N y la relación lignina/celulosa de los residuos vegetales tiene mucha influencia en la velocidad de descomposición vegetal.

4.2.2 Liberación de nutrientes

La descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca, constituyen procesos clave para garantizar el adecuado funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, y con ellos favorecer unas apropiadas condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. (León, 2008). Citado por Castellanos (2011).

Después de la destrucción mecánica y física de los restos vegetales, se produce el ataque por microorganismos que a base de sus jugos digestivos y enzimas, se llevan a la destrucción de los componentes orgánicos y a la liberación de minerales. (Fassbender, 1986), citado por Pérez y Soza (2006).

La liberación de nutrientes durante la descomposición de la hojarasca, es conocido como uno de los procesos cuantitativamente más importantes que contribuyen con el ciclo de los nutrientes en los agrosistemas (Prause, 2003). Citado por Pérez y Soza (2006). Es un proceso que puede tardar horas o meses

dependiendo de múltiples factores como condiciones climáticas y edáficas, especie vegetal, edad y densidad de las poblaciones donde la tasa de fijación puede variar ampliamente dependiendo del proceso de fijación y de los microorganismos (Ibarra, 2003). Citado por Pérez y Soza (2006).

El modelo de mejor ajuste en la liberación de nutrientes y pérdida de peso corresponde a la ecuación polinómica. A continuación se describe el modelo:

$$Y = ax^2 + bx + c$$

Dónde:

Y = porcentaje de peso seco remanente

a, b y c = valores constantes

x = tiempo en semanas

4.2.2.1 Liberación de nitrógeno

La liberación de N, está dada por la diferencia entre la fracción inicial de este elemento y el contenido remanente en el material vegetal (Mafongoya, 1998). Citado por Segura, Casanova, Solorio, Chay (2012).

El contenido de nitrógeno por especie y semana se muestra en el cuadro III, donde se puede observar que la especie *Trichanthera gigantea* presentó el mayor porcentaje inicial de nitrógeno; disminuyendo para la última semana con un valor de 3.09 por ciento; seguido de *Erythrina poeppigiana* que liberó 3.40 por ciento; investigaciones realizadas por (CATIE 2000, Cordero *et al.* 2003). Citado por Montenegro (2005). Señalaron que *Erythrina poeppigiana* produce grandes cantidades de hojarasca rica en nitrógeno (4,1–4,9%), por ello, su valor en la conservación y mejora del suelo y la contribución a elevados y sostenibles rendimientos para los cultivos asociados.

CUADRO III. CAMBIOS EN CONTENIDO DE NITRÓGENO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ - 2015.

ESPECIES	S	e	m	a	n	a	s
	1*	2	4	6	8	10	12
<i>Terminalia amazonia</i>	1.67	1.64	1.63	1.61	1.62	1.56	1.48
<i>Erythrina poeppigiana</i>	3.40	2.99	2.97	2.95	2.98	2.96	2.91
<i>Cordia alliodora</i>	2.80	2.71	2.68	2.60	2.59	2.63	2.60
<i>Eucalyptus deglupta</i>	2.38	2.37	2.33	2.22	2.11	2.00	1.90
<i>Trichanthera gigantea</i>	3.96	3.73	3.43	3.27	3.15	3.13	3.09

* Valores de la semana uno representan los porcentajes iniciales.

La especie *Terminalia amazonia* obtuvo el menor porcentaje de nitrógeno inicial con 1.67 por ciento; la misma en la última semana presentó el porcentaje menor 1.48 por ciento en relación a las demás especies, presentando una diferencia entre la semana inicial y en la semana 12 de 0.19 por ciento. Esto se debe a que los períodos de mayor liberación de nitrógeno coincidieron con la época de mayor precipitación, mientras que los de menor liberación se encontraron durante precipitaciones bajas. (Ortiz, 2010), encontró valores similares para la especie *Terminalia ivorensis* de 1.54 por ciento de su nitrógeno inicial y además la misma manifestó menor variación durante todo el estudio y presentaron una diferencia entre la semana inicial y en la semana 19 de 0.29 por ciento.

En la figura 4, se muestra el porcentaje remanente de nitrógeno de las cinco especies estudiadas; donde *Erythrina poeppigiana* obtuvo la mayor liberación del nitrógeno inicial con un 73 por ciento del porcentaje remanente; En las leguminosas, especialmente *Erythrina spp*, Palm y Sánchez (1990); citado por Montenegro (2005); determinaron que esta especie se descompone y libera nutrientes significativamente más rápido debido a la presencia de bajos contenidos de polifenoles en las hojas al compararse con *Inga edulis* y *Cajanus cajan*. Sin embargo *Eucalyptus deglupta* a esa fecha solo liberó 2.8 por ciento del nitrógeno inicial; en la semana seis a la ocho *Eucalyptus deglupta*.

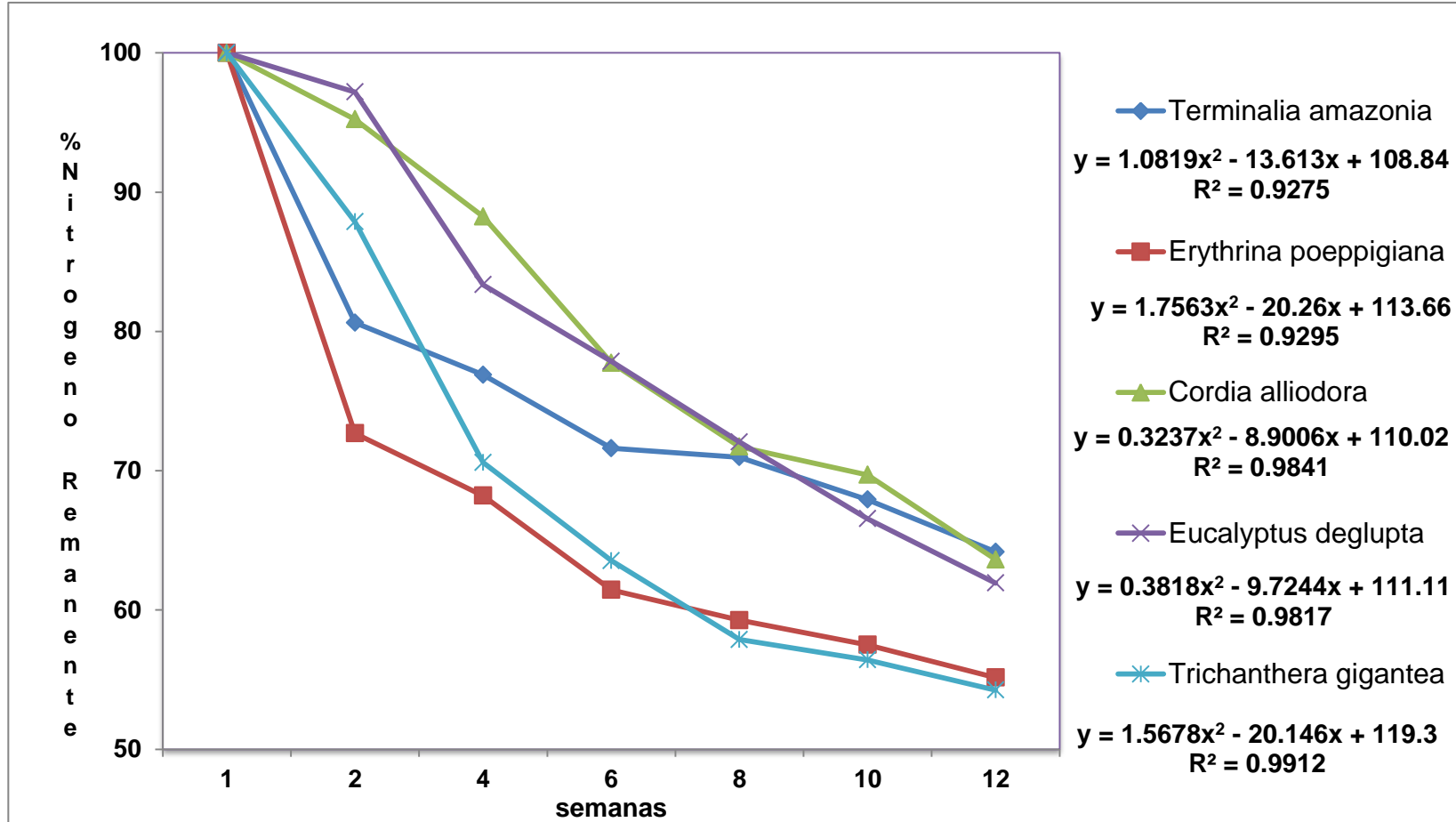


FIGURA N° 4 PORCENTAJE DE NITROGENO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.

En un estudio sobre la disponibilidad y dinámica de nitrógeno en el suelo bajo especies maderables y leguminosas usadas como sombra en sistemas de café, en la subcuenca del Río Grande del General en Costa Rica, Gutiérrez (2003), determinó que las especies maderables *T. ivorensis*, *E. deglupta*, y *T. amazonia*, y las leguminosas *E. poeppigiana* y *de Inga sp* presentaron mayores tasas de liberación de nitrógeno por sus residuos (hojas y raíces) e influenciaron positivamente el contenido de nitratos del suelo y el nitrógeno potencialmente disponible del suelo.

La lenta liberación de N posiblemente se deba según Schlesinger (1991), a la baja demanda microbiana en el suelo, a pesar de que los incrementos de sus cantidades residuales en el último evento de muestreo, sugieren un proceso de inmovilización, probablemente por el aumento de la biomasa microbiana de organismos colonizadores

Por su parte las especies *Cordia alliodora* y *Eucalyptus deglupta* en la semana seis ambas obtuvieron valores similares de 78 por ciento de peso remanente y continuaron con valores similares a la semana ocho donde ambas especies liberaron 72 por ciento del porcentaje remanente y 28 por ciento de nitrógeno liberado.

A la semana ocho se pueden distinguir dos grupos el primero formado por *Eucalyptus deglupta*, *Cordia alliodora* y *Terminalia amazonia*; y el segundo grupo formado *Erythrina poeppigiana* y *Trichanthera gigantea*. El primer grupo a la

semana ocho liberaron 71 y 72 por ciento del porcentaje remanente, con un 28 por ciento del nitrógeno liberado; y a la semana diez y doce vuelven a tener porcentajes remanentes muy similares. De igual manera el segundo grupo a la semana ocho habían liberado 40 y 42 por ciento del nitrógeno. La especie *Terminalia amazonia* presento la tasa de liberación más lenta, ya que en la semana doce sólo liberó 35 por ciento del nitrógeno inicial.

4.2.2.2 Liberación de Fósforo

Se muestra en el cuadro IV, el contenido de fósforo analizado por especie donde se observa que la especie *Trichanthera gigantea* en la etapa inicial muestra el mayor porcentaje con un 0.25 por ciento en relación a las demás especies; *Terminalia amazonia* 0.10 por ciento presentó el contenido más bajo.

El comportamiento del fósforo en la hojarasca durante el proceso de descomposición muestra resultados muy diversos dependiendo de la especie, de factores ambientales y de la metodología empleada (Teklay y Malmer, 2004).

CUADRO IV CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE FOSFORO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS, CHIRIQUI- 2015.

ESPECIES	S	e	m	a	n	a	s
	1*	2	4	6	8	10	12
<i>Terminalia amazonia</i>	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
<i>Erythrina poeppigiana</i>	0.18	0.21	0.22	0.23	0.24	0.21	0.19
<i>Cordia alliodora</i>	0.17	0.15	0.15	0.15	0.16	0.14	0.12
<i>Eucalyptus deglupta</i>	0.20	0.18	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14
<i>Trichanthera gigantea</i>	0.25	0.22	0.24	0.24	0.25	0.24	0.25

* Valores de la semana uno representan los porcentajes iniciales.

Si observamos en el transcurso de la descomposición por semana y especie, muestra que las mismas mostraron un patrón de liberación lento; donde se observa que las diferencias se dieron durante las dos primeras semanas.

En la figura 5, se muestra el porcentaje remanente de liberación de fósforo; la especie *Trichanthera gigantea* presentó la mayor liberación de fósforo entre la semana uno y dos 18 por ciento del porcentaje inicial; mientras que *Erythrina poeppigiana* fue la especie que menor fósforo aportó cuatro por ciento del inicial. *Terminalia amazonia*, en ese mismo sentido aportó 10 por ciento del fósforo inicial. Mostrando valores similares a los encontrados para la misma especie por (Ortiz, 2010); cuyo valor fue de siete por ciento de fósforo. *Terminalia amazonia* fue la especie que mantuvo un ritmo de liberación que iba aumentando lentamente; la semana 6 a la 8 fue la menor liberación 0.05 por ciento del fósforo inicial; además en la última semana fue la especie que mostro la menor liberación del fósforo inicial 28 por ciento.

Cordia alliodora y *Trichanthera gigantea* en la semana seis obtuvieron un 74 por ciento del porcentaje remanente; siguieron hasta la semana ocho donde obtuvieron un mismo valor con un 73 por ciento del porcentaje remanente; sin embargo a partir de la semana diez *cordia alliodora* siguió liberando a un ritmo mayor, en la última semana obtuvo un valor de 48 por ciento del porcentaje remanente) en esa misma semana *Cordia alliodora* había liberado un 52 por ciento del fósforo inicial.

En la semana dos a la cuatro *Eucalyptus deglupta* mostró la mayor liberación de fósforo; a partir de esa semana se mantuvo igual hasta la semana la semana 12 donde liberó 46 por ciento del fósforo inicial. Para la especie *Erythrina poeppigiana* se pudo observar una liberación irregular durante las primeras seis semanas, a partir de la semana ocho comienza una liberación más rápida.

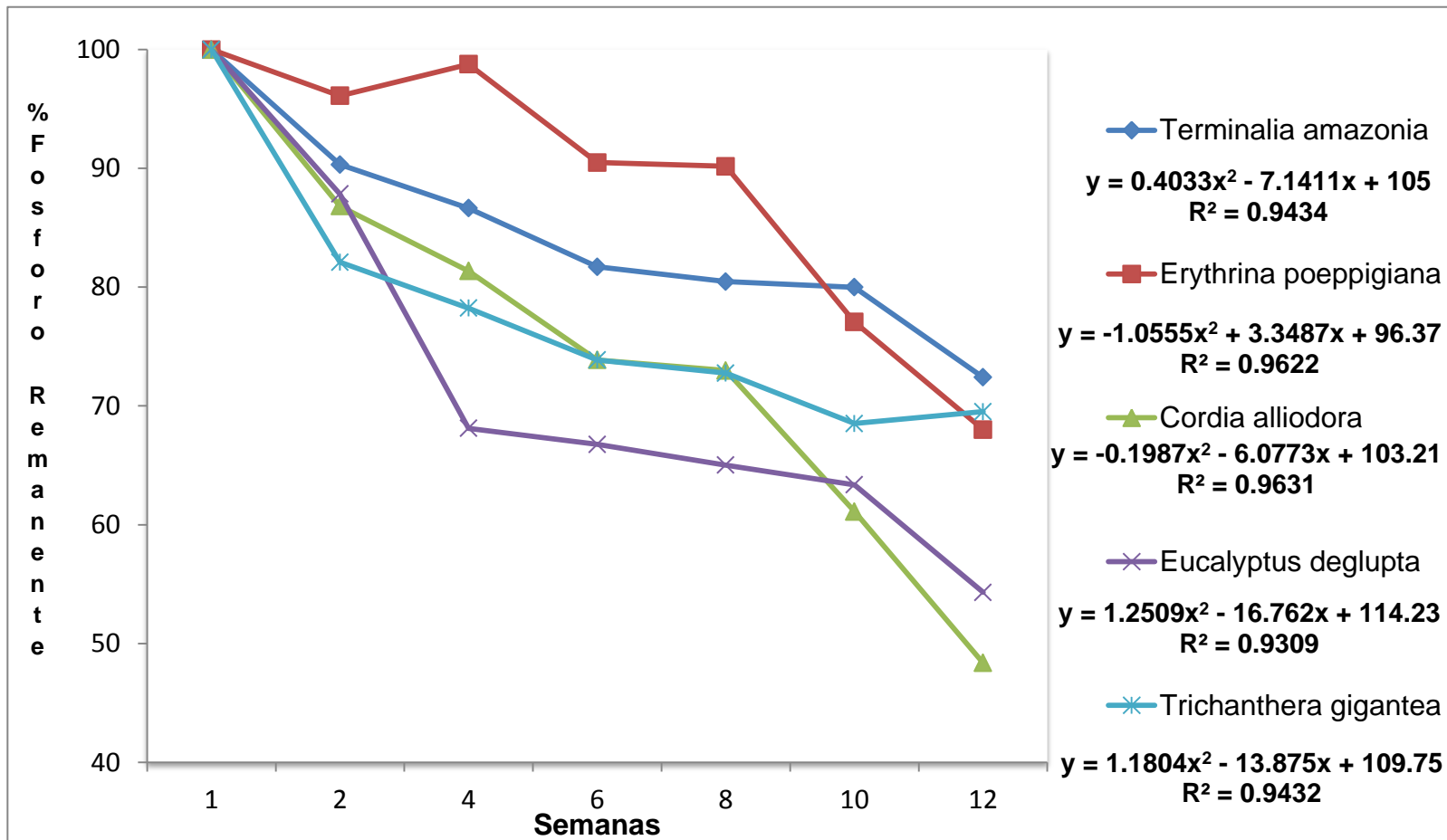


FIGURA N° 5 PORCENTAJE DE FÓSFORO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.

4.2.2.3 Liberación de potasio

Los cambios en el contenido de potasio porcentual para cada especie se muestra en el cuadro V donde observamos que *Eucalyptus deglupta* a la primera semana muestra el mayor contenido de potasio 0.89 por ciento; seguida por *Trichanthera gigantea* 0.79 por ciento, luego *Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora* donde obtuvieron un 0.72 por ciento.

CUADRO V CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE POTASIO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS, CHIRIQUI- 2015.

ESPECIES	S	e	m	a	n	a	s
	1*	2	4	6	8	10	12
<i>Terminalia amazonia</i>	0.62	0.63	0.50	0.45	0.43	0.44	0.43
<i>Erythrina poeppigiana</i>	0.72	0.82	0.78	0.76	0.76	0.73	0.71
<i>Cordia alliodora</i>	0.72	0.72	0.73	0.70	0.64	0.56	0.53
<i>Eucalyptus deglupta</i>	0.89	0.83	0.78	0.74	0.72	0.60	0.58
<i>Trichanthera gigantea</i>	0.79	0.71	0.74	0.64	0.63	0.63	0.64

* Valores de la semana uno representan los porcentajes iniciales.

Durante el transcurso del proceso de descomposición por semana *Eucalyptus deglupta* durante la semana uno a la dos se da el mayor aporte de potasio.

Trichanthera gigantea tuvo una variación de 0.08 durante la semana uno a la dos; como también se observa *Terminalia amazonia* mantuvo el menor contenido de potasio durante todo el estudio y en base a las demás especies; y

de igual manera obtuvo el contenido más bajo de 0.43 por ciento en comparación a las demás especies.

Tal como nos indica (Tukey 1970, Parker 1983); citado por Catellanos (2011); la rápida liberación del potasio ha sido ampliamente reportada dado su carácter móvil como resultado de no estar unido a estructuras orgánicas en los tejidos foliares, sino en forma libre, con lo cual es fácilmente lavado y/o removido.

El porcentaje de potasio remanente en el follaje de las especies se muestra en la figura 6 donde las especies *Terminalia amazonia* y *Trichanthera gigantea* presentaron en la semana dos una tasa de liberación rápida 83 y 84 por ciento del porcentaje inicial, en relación a las otras especies. Por su parte *Terminalia amazonia* aumento su ritmo de liberación en la semana cuatro en comparación a la *Trichanthera gigantea*; en la semana seis mostraron ritmo de liberación parecido hasta la última semana donde ambas obtuvieron un 44 por ciento del potasio inicial liberado. Además la especie *Cordia alliodora* fue la que menor liberación inicial de potasio presentó 1.6 por ciento.

Hasta la semana cuatro *Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora* mostraron una lenta liberación; sin embargo a partir de la semana seis *Cordia alliodora* aumento la tasa de liberación; llegando a la semana doce con un 50 por ciento del potasio liberado; mientras que *Erythrina poeppigiana* registró un ritmo de liberación menor en base a las demás especies durante todo el estudio y obtuvo en la última semana de estudio el porcentaje más bajo del potasio liberado.

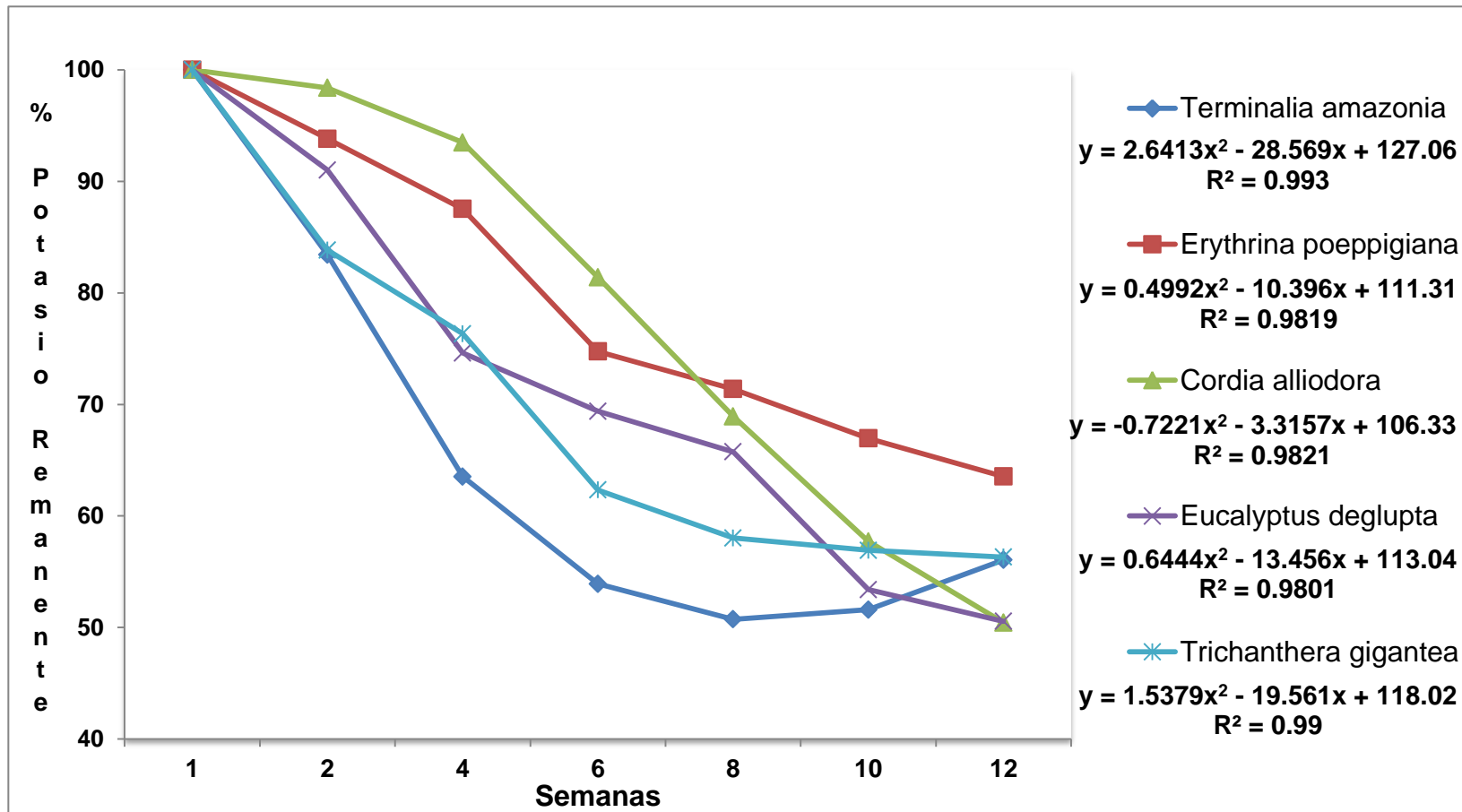


FIGURA N° 6 PORCENTAJE DE POTASIO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.

Por su parte *Eucalyptus deglupta*, su mayor liberación fue en la semana dos a la cuatro donde libero un 16.4 por ciento del potasio inicial, manteniéndose hasta la última semana a un ritmo más lento. En este mismo sentido Munguia (2003), citado por Pérez y Soza (2006); encontró que la tasa de descomposición de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta* en dos fincas en Costa Rica fueron lentas (-.0081) y (-0.163), mientras que la tasa de descomposición de hojas en mezclas de *Eucalyptus deglupta* y *C. arabica* es mayor con -0.137; sin embargo, en la mezcla de *Eucalyptus deglupta* y *Erythrina poeppigiana* la velocidad de descomposición se incrementa a -0.255 y -0.256.

Jordán citado por Arguello (1988), establece que la alta movilidad del potasio se debe a que los cationes monovalentes se mueven más rápidamente que los cationes polivalentes. Estos cationes monovalentes, por no ser un componente estructural del follaje, se transfieren del follaje al suelo por la lluvia puesto que son lavados fácilmente de las hojas. Esto tiene relación con este estudio donde las especies disminuyeron sus tasa de liberación a partir de la semana 8, donde los datos de precipitación registraron una cantidad de lluvia de solo 1.02 mm.

4.2.2.4 Liberación de Ca

Los cambios en el contenido de calcio se muestran en el cuadro VII, para las especies *Trichanthera gigantea*, *Cordia alliodora* y *Terminalia amazonia* exhiben los valores iniciales mayores.

Para la especie *Cordia alliodora* en la semana uno a la semana seis aumentó lentamente la tasa de liberación; en la semana ocho a la diez disminuyó. Por su parte *Eucalyptus deglupta* presentó una tasa de liberación lenta durante las doce semanas.

CUADRO VII. CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE CALCIO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS, CHIRIQUI- 2015.

ESPECIES	S	e	m	a	n	a	s
	1*	2	4	6	8	10	12
<i>Terminalia amazonia</i>	1.96	1.75	1.72	1.70	1.68	1.43	1.37
<i>Erythrina poeppigiana</i>	1.77	1.65	1.65	1.48	1.39	1.25	1.22
<i>Cordia alliodora</i>	4.43	4.41	4.01	3.36	2.94	2.81	2.65
<i>Eucalyptus deglupta</i>	1.00	0.97	0.95	0.91	0.91	0.82	0.63
<i>Trichanthera gigantea</i>	8.57	8.32	8.28	6.75	5.60	5.59	5.25

* Valores de la semana uno representan los porcentajes iniciales.

(Munguia 2003 y Osorio 2004), señala que especies como *Terminalia ivorensis* e *Inga edulis*, el calcio está asociado a su función dentro de la estructura de la hoja, donde las especies presentan una estructura laminar fuerte y las mismas

hojas demorarán más en fragmentarse influyendo en la lenta liberación del calcio.

La liberación remanente de calcio se muestra en la figura 7, se inicia con la especie *Terminalia amazonia* fue la que registra la mayor liberación inicial 26.7 por ciento del calcio inicial, seguida de *Erythrina poeppigiana*; mientras que las de menor liberación son *Trichanthera gigantea*, *Eucalyptus deglupta* y *Cordia alliodora*; además las especies que presentaron menor liberación mantuvieron casi el mismo ritmo hasta la semana cuatro; por su parte *Trichanthera gigantea* y *Cordia alliodora* siguieron el mismo ritmo hasta la semana diez y *Cordia alliodora* llegó a la última semana con el mayor porcentaje 59 por ciento del calcio inicial liberado y obteniendo así la mayor liberación en relación a las demás especies.

Al llegar a la semana seis se muestra que las especies *Terminalia amazonia* y *Cordia alliodora* registraron un porcentaje remanente de 63 y 64 por ciento y un 35 y 36 por ciento del porcentaje inicial; de igual manera mantuvieron el ritmo similar hasta la semana diez.

Por su parte *Trichanthera gigantea* y *Erythrina poeppigiana* en la semana seis mostraron valores de 44 y 43 por ciento del porcentaje del calcio remanente, a la semana ocho varió el ritmo, pero siguieron el mismo ritmo en las dos últimas semanas del estudio.

Todas las especies mostraron ritmos de liberación parecidos excepto *Eucalyptus deglupta* que mostró una liberación diferente a partir de la semana seis y por consiguiente en la última semana liberó 51 por ciento del calcio inicial igual que con la especie *Terminalia amazonia*.

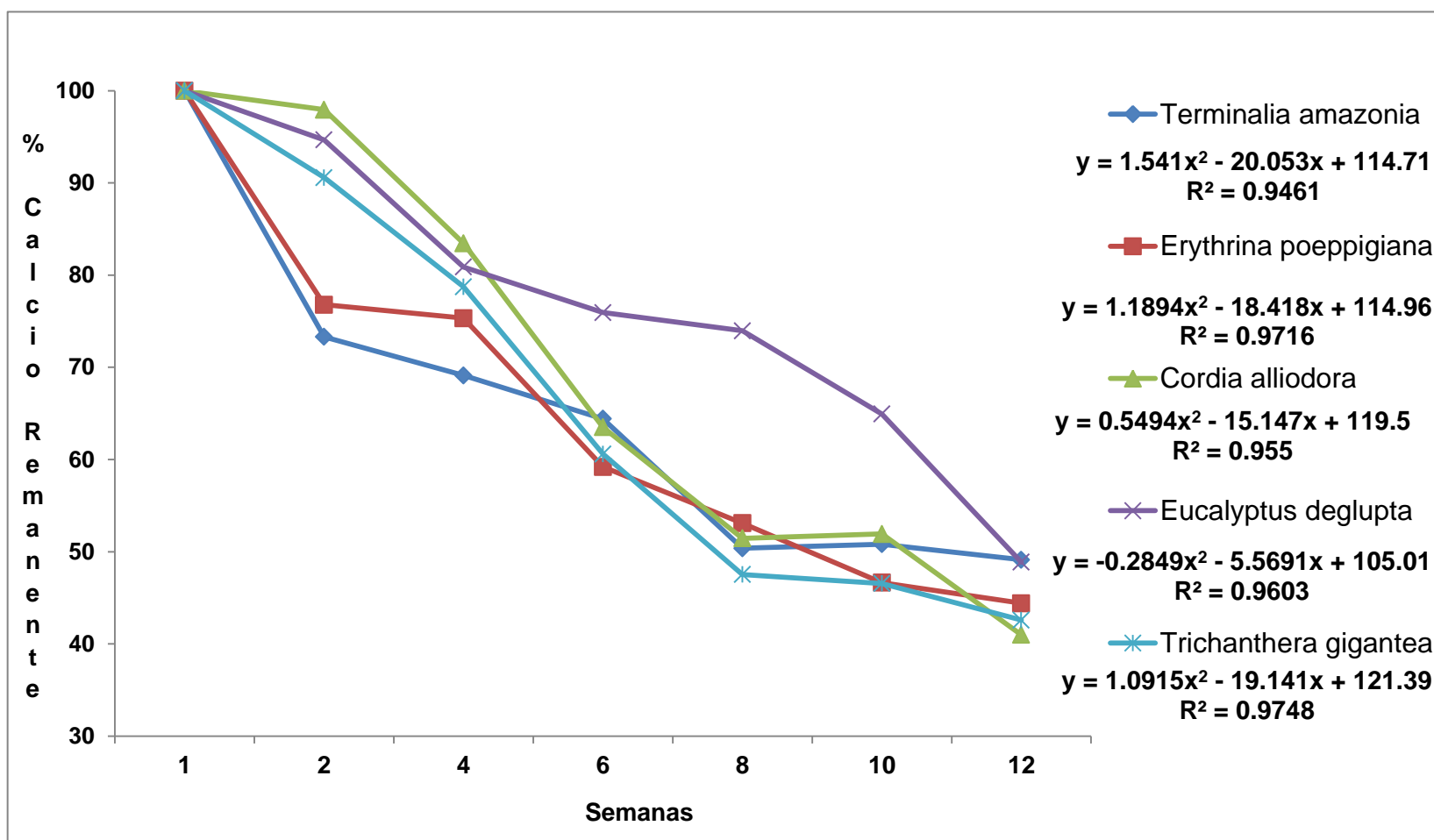


FIGURA N° 7 PORCENTAJE DE CALCIO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.

Citado por Ortiz (2010); (Munguia 2003, Barrera *et al* 2004) establecen que el calcio es lixiviado a medida que las hojas empiezan a descomponerse, ya que al ser un componente estructural de la lámina media de la hoja necesita fuertes precipitaciones para su liberación. El calcio es un elemento muy variable en cuanto a su dinámica en la hojarasca en descomposición, su comportamiento a lo largo del proceso es bastante impredecible.

Así, algunos autores han encontrado que su concentración aumenta a lo largo de la descomposición debido a la inmovilización en las fases iniciales (Garrido, 2001; Blanco, 2004); en otros casos, la concentración se mantiene estable a lo largo del proceso (Liu *et al.*, 2000; Smit *et al.*, 2002) y, por último, se han observado casos en los que decrece a lo largo del proceso (Staaf y Berg, 1982; Santa Regina *et al.*, 1997). Citado por Salazar (2008).

Lo señalado por (Munguia 2003, Barrera *et al* 2004), citado por Ortiz (2010); coincide con los datos de precipitación ya que este elemento requiere de fuertes precipitaciones, lo que explica que el calcio no mostro una rápida liberación durante las últimas semanas donde la precipitación muy baja; pero donde hubo una mayor precipitación las especies *Erythrina poeppigiana* y *terminalia amazonia* mostraron las mayor liberación.

4.2.2.5 Liberación de magnesio

En el cuadro VIII, se muestran los cambios en los contenidos de magnesio, la especie *Cordia alliodora* presentó el mayor porcentaje inicial 0.77 por ciento, la misma se mantuvo con los valores más altos durante todo el estudio. Por su parte *Trichanthera gigantea* mostró una variación de porcentaje de peso seco en la semana uno a la dos de 0.06 por ciento; incrementándose en la semana 4 y 6.

CUADRO VIII. CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE MAGNESIO (PORCENTAJE) POR ESPECIE, A TRAVÉS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL FOLLAJE, DURANTE 12 SEMANAS, CHIRIQUI-2015.

ESPECIES	S	e	m	a	n	a	s
	1*	2	4	6	8	10	12
<i>Terminalia amazonia</i>	0.10	0.10	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
<i>Erythrina poeppigiana</i>	0.48	0.45	0.39	0.34	0.34	0.29	0.29
<i>Cordia alliodora</i>	0.77	0.75	0.72	0.66	0.62	0.58	0.56
<i>Eucalyptus deglupta</i>	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.11
<i>Trichanthera gigantea</i>	0.43	0.37	0.35	0.24	0.22	0.19	0.17

* Valores de la semana uno representan los porcentajes iniciales

Para todas las especies el contenido de magnesio fue variante a medida que pasaban las semanas; presentando diferencias durante las primeras semanas.

La figura 8, de liberación de porcentaje remanente, muestra que la especie *Erythrina poeppigiana* fue la que mostró mayor liberación de magnesio, seguida de *Trichanthera gigantea* y *Terminalia amazonia*; mientras que las especies

Cordia alliodora y *Eucalyptus deglupta* presentaron la menor tasa de liberación a la segunda semana, en relación a las demás especies.

Al llegar a la semana dos se pueden distinguir dos grupo de especies, el primero conformado por *Erythrina poeppigiana*, *Trichanthera gigantea* y *Terminalia amazonia*; donde *Trichanthera gigantea* y *Terminalia amazonia*, con porcentaje remanente de aproximadamente 80 y 82 por ciento (18 por ciento del magnesio liberado). Por su parte en la semana cuatro *Terminalia amazonia* presentó su mayor tasa de liberación con más del 50 por ciento del porcentaje inicial aumentó considerablemente su liberación y se mantuvo hasta la semana doce donde presentó un 22 por ciento de porcentaje remanente de magnesio 78 por ciento de magnesio inicial fue liberado. Ortiz, (2010) nos indica en investigación con *Terminalia ivorensis* en la misma semana registró 40 por ciento de porcentaje remanente y 60 por ciento de magnesio liberado; a la semana cuatro *Erythrina poeppigiana*, *Trichanthera gigantea* con un porcentaje remanente de 66 por ciento (34 por ciento del magnesio liberado); a partir de la semana seis *Trichanthera gigantea* siguió a un ritmo más constante. El segundo grupo (*Eucalyptus deglupta* y *Cordia alliodora*); en la semana seis presentaron tasas de liberación similar 28 y 27 por ciento; *Eucalyptus deglupta* presentó la menor perdida durante las 12 semanas, siendo la semana 10 y 12 donde obtuvo la mayor liberación ; mientras que la de menor fue entre la semana seis y ocho. *Cordia alliodora* presentó una tasa de liberación lenta hasta la semana cuarta; sin embargo aumentó la liberación hasta la última semana donde mostró un valor de 50 por ciento de magnesio liberado.

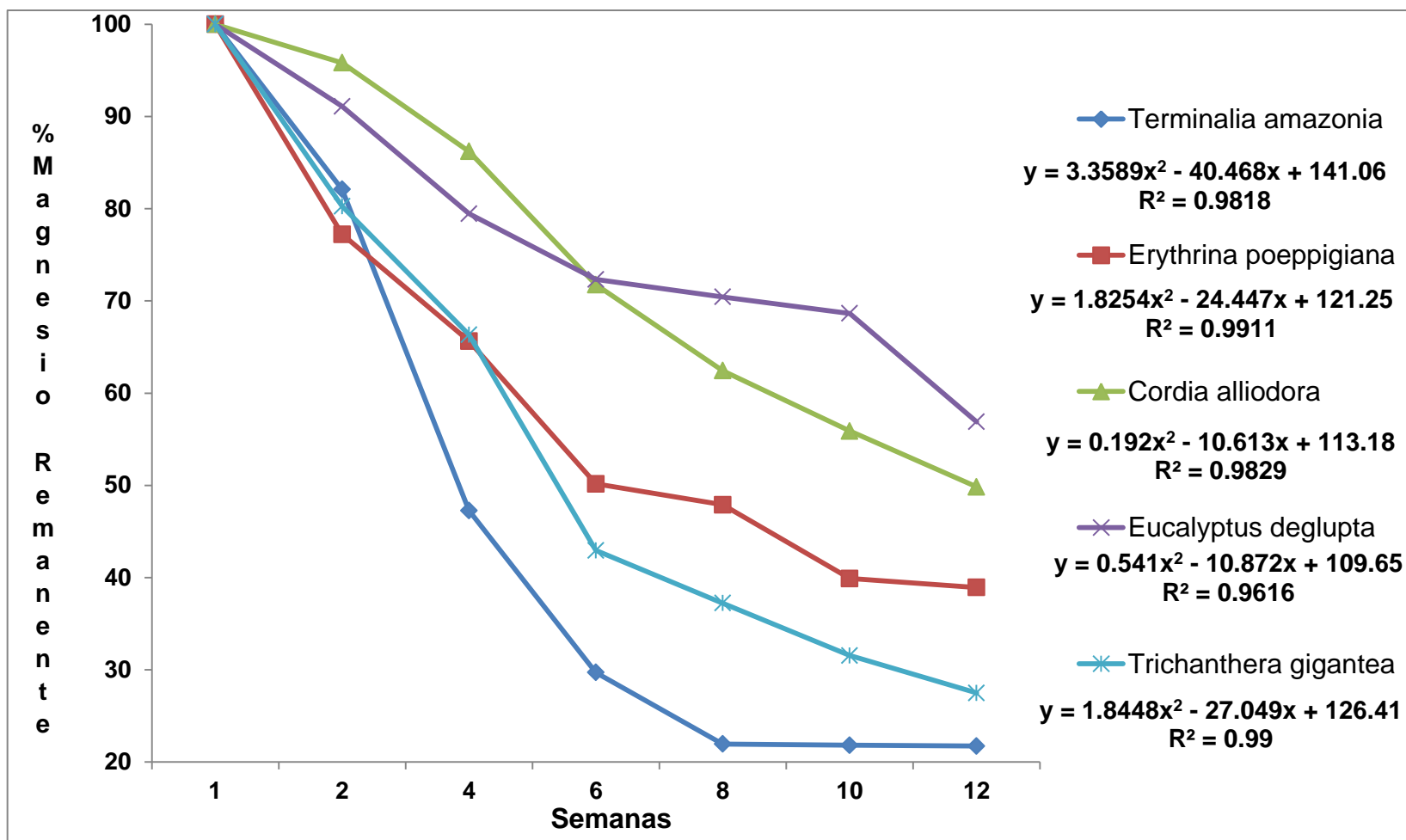


FIGURA N° 8. PORCENTAJE DE MAGNESIO REMANENTE EN EL FOLLAJE DE LAS CINCO ESPECIES DE ESTUDIO, DURANTE 12 SEMANAS. CHIRIQUÍ-2015.

5 CONCLUSIONES

- Se afirma la hipótesis alternativa, indica que existen diferencias en los patrones de liberación de nutrimentos de las cinco especies, influenciados por el tiempo y el clima; ya que al considerar las precipitaciones que se presentaron durante las semanas, esto pudo tener efecto en la diferencias encontradas en los patrones de descomposición y la velocidad de liberación de nutrimentos entre las especies, debido a que no se encontraban en las mismas condiciones climáticas, ya que la lluvia pudo favorecer las primeras cuatro semanas el lavado de los compuestos más hidrosolubles, y las condiciones de humedad fueron favorables para la actividad de la biota responsable de la descomposición; pero en el periodo de baja humedad, el proceso de descomposición se hizo más lento debido a que disminuye la cantidad de nutrimentos necesarios que los microorganismos requieren para realizar su función.
- La ecuación polinómica $Y=ax^2+bx+c$, fue la que mejor se ajustó; ya que, hubo una buena relación entre las variables, con un R^2 para peso seco de 0.99; y para los nutrimentos durante el estudio; con un R^2 que se mostró en un rango de 0.92-0.99, que indica que el porcentaje del comportamiento real de los datos es explicado por el ajuste encontrado o la tendencia obtenida.

- Los periodos de máxima liberación de los nutrimentos de estas especies se dan durante las primeras cuatro semanas; donde la especie *Erythrina poeppigiana* obtuvo la mejor liberación de nitrógeno; en el caso del fósforo *Eucalyptus deglupta* mostró la mejor liberación para este elemento; para el potasio, calcio y magnesio la especie *Terminalia amazonia*.
- Las características edafológicas permitieron el desarrollo de poblaciones de microorganismo que descomponen la materia orgánica, los cuales necesitan desarrollarse en un medio húmedo para una generación de energía ; lo cual tuvo relación durante el estudio en las primeras semanas se observaron gran cantidad de microorganismos desintegrando la materia; sin embargo las condiciones climáticas influyeron en gran medida ya que el periodo donde hubo la mayor precipitación, las especies presentaron sus máximas liberaciones; esto indica que los microorganismos se incrementan con temperaturas y humedades óptimas ya que obtienen nutrimentos que son fuentes de energía para que la liberación de nutrimentos sea más rápida; pero se reduce mediante la sequía debido a que hay un decrecimiento que implica la reducción de microorganismos descomponedores.

6 RECOMENDACIONES

- Realizar estudios con otras especies ya que, es poco el conocimiento sobre el aporte real por especie vegetales dentro de sistemas agroforestales y la velocidad con que son liberados en el suelo.
- Realizar estudios en época seca y lluviosa y combinar tantas especies forestales y leguminosas para conocer el comportamiento de ambas.
- Realizar estudios para conocer la relación C/N, ya que influye en la velocidad de descomposición del material vegetal, este efecto puede explicarse por la diferente composición química del material vegetal.
- Seleccionar árboles que pueden incorporarse mejor a los sistemas teniendo en cuenta las condiciones locales; particularmente algunas especies forestales de rápido crecimiento que posean características deseadas, y capacidades de fijar nitrógeno.
- Se recomienda tomar en cuenta otros factores como el pH del suelo, la textura; la evapotranspiración etc., con el fin de conocer el comportamiento de las especies en relación a estos factores.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arroyave. Z. M.A. 2012. Dinámica del agua y los nutrientes solubles en agrosistemas cafeteros. Tesis. MSc. Medellín, Colombia. 95p.

Álvarez, S. 2005. La descomposición de la materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. Madrid, ES. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/lateral.asp>.

Angrant, J. C. 2002. Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* L. en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia, Costa Rica. Tesis Mag., SC. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 56 p.

Arguello, A. 1988. Tasa de descomposición y liberación de nutrimentos en el follaje de ocho especies de interés agroforestal en la franja Premontano de Colombia. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 132 p.

Arias, A.C. 2001. Suelos tropicales. San José, C.R. EUNEA. 188.p

Arosemena, J. 2008. Efecto de la altura y épocas de corte sobre la producción y calidad de biomasa de nacedero (*Trichanthera gigantea*). Panamá, IDIAP. 2 p.

Bailarín, A.; Solís, J. 2011. Comportamiento y manejo de *Tectona grandis* L. f. y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 26 p.

Beaty, R.D.; Kerber, J.D. 1993. Concepts, instrumentation and techniques in atomic absorption spectrophotometer. Norwalk, CT, U.S.A. Pekin-Elmer Corporation. 77p.

Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133: 13-22.

Castellanos, B., León, J. (2011). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*: 59, 113-128.

Centro de Enseñanzas e Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI, 2015).

Cardona, CDA; Sadeghian, KHS. (2005) Ciclo de nutrimentos y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de *Inga* spp. *CENICAFE* 56(2):127-141.

Corbella R, Fernández J. *Materia orgánica del suelo*. Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. 10p.

D'Acunha B. M.S. 2015. Estudio de la dinámica de la degradación de hojarasca en bosque tropical amazónico utilizando marcadores químicos de descomposición. Tesis. Pontificia universidad católica del Perú facultad de ciencias e ingeniería. Lima, Perú.

Dzib B; Castillo, B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 124p

Farfán, F., Urrego, J.B., 2007. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 58 (1): 20-39. Feijoo, A., Knapp, E.B., Lavelle, P., Moreno, A.

Garrido, M.V. 2001. Ciclos de nutrientes: producción, descomposición y dinámica de los elementos minerales de los detritos arbóreos. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca, 251 pp.

Gutiérrez C, M. 2003. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo bajo especies maderables y leguminosas usadas como sombra en sistemas de café, en la subcuenca del Río Grande del General. Tesis M Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 62p.

Julca- Otiniano, A. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESIA. 24(1): 49-61 pp.

Kalil S, P.P. 2007. Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado. Pontificia Universidad Javeriana. Carrera de Microbiología Industrial. Bogotá D.C. 89p.

Mayhew, L. 2009. "Humic Substances in Biological Agriculture".; "Amino and Humic Acids Promote Growth, Yield and Disease Resistance of Faba Bean Cultivated in Clayey Soil." Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(2): 731-739.

Mendiara S.C. 2012. Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmosfera en un agroecosistema semiarido del Valle del Ebro. Ingeniería Técnica Agrícola, Especialidad de Industrias Agrarias y Alimentarias. Universidad de Vic, Escuela Politécnica Superior.82p.

Montagnini, F; Jordan, CF; Matta, RM. 1999. Reciclaje y eficiencia de nutrientes en sistemas agroforestales. Yvyrareta 9: 21-40.

Montenegro, J. 2005. Efecto de la dinámica de la materia de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis M.Sc., Turrialba, CR, CATIE. 67 p.

Munguía, R. 2003. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y de hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* solas y en mezclas. Tesis MSc. Turrialba, CR. CATIE 2003. 82 p.

Navarro J; Manríquez, L. 2007. Variación del contenido de materia orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas. Tesis. Valdivia, Chile. 93 p.

Oliver, L., Pérez–Corona, M.E., Bermúdez de Castro, F.. 2002. Degradación de la hojarasca en un pastizal oligotrófico mediterráneo del centro de la Península Ibérica. *Anales de Biología* 24: 21-32.

Ortiz, M. 2010. Patrones de liberación de nutrimentos en el follaje de cinco especies de importancia en sistemas agroforestales en un bosque húmedo tropical; CEIACHI, provincia de Chiriquí. Tesis Ing. en Manejo Ambiental. Chiriquí, Panamá. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 92p.

Osorio M, V. E. 2004. Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Tesis MSc. Turrialba, CATIE, Costa Rica. 75p.

Pérez A. E 1990 *Plantas Útiles de Colombia*. edit. Víctor Hugo. pp 158 Medellín Colombia. 85p.

Pérez, D.F, A; Soza, A. 2006. Producción, descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca bajo café a pleno sol y con sombra de *Gliricida sepium* (Jacq) en Carazo, Nicaragua. 90p

PRESA S.A. 1980. Estudios agroecológicos del suelo. C.R.5ed.Barcelona, Esp. Ateneo.498p.

Rodríguez, I.; Guevara I. 2002. Producción de material seca y valor nutritive de la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea* en el sur del estado Anzoategui, Venezuela. (En línea) Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/28194/1/articulo_56.pdf

Rojas M, J. 2005. Secuestro de carbono y uso de agua en Sistemas Silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Tesis, Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 71p

Romero, S.; Lopez, A. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis. Mag. Sc.; CATIE. Turrialba, Costa Rica.128p.

Salamanca, E.F.; Kaneko, N.; Katagiri, S. 2003. Rainfall manipulation effects on litter decomposition and the microbial biomass of the forest floor. *Applied Soil Ecology* 22:271-281.

Salazar S. I. 2008. Estudio de procesos ecológicos para el desarrollo sostenible del castaño (*castanea sativa* mill.) de la sierra de Francia. Universidad de Salamanca Departamento de Biología animal, ecología, parasitología, edafología y química agrícola. 90p.

Sánchez C.S. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. máximo* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis. Habana.120p

Santa Regina, I. 2001. Litter fall, decomposition and nutrient release in three semi-arid forest of the Duero basin, Spain. *Forestry* 74 (4): 347-358.

Schlesinger, W. H. (1991). *Biogeochemistry: an analysis of global change*. Academic Press, New York.

Segura A. R, Casanova F. L, Solorio F.J. S, Chay A. J. C. 2012. Asociación de especies leñosas en bancos de forraje: influencia sobre el aporte de hojarasca, descomposición y liberación de nitrógeno. *Cuerpo Académico de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales*. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Villa hermosa, Tabasco, México. 61-69p.

Solís M. C; Moya R. R. *Terminalia amazonia*. Costa Rica. Disponible en: http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/Amarillon/Manual%20Terminalia%20amazonia%20en%20Costa%20Rica.pdf

Teklay T, 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". *En Soil Biology & Biochemistry*, 36:777-786.

Tian G., Badejo, M. A. 2001. Soil fauna and soil fertility. *En: G. Tian , Jerry L. Hatfield , F. Ishida (Eds), Sustaining Soil Fertility in West Africa (45–67)*. Madison, Wisconsin: SSSA Special Publication

Tosi, JA. 1997. Zonas de vida: una base ecológica para investigaciones silvícolas e inventariación forestal en la República de Panamá. FAO, Rome. pa.125 p.

Turbé, 2010. Anne et al. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, NIOO. Report for European Commission DG Environment.14 p.

<http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/1%20Exec%20Summ.pdf> [8/2/2010].

Ugarte, A. 2008. Procesos biológicos del suelo. (En línea). CL. Consultado 20 agosto de 2015. Disponible en: <http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/10hojas.html>.

Universidad de Panamá. Laboratorio de física de la atmosfera. Datos meteorológicos. 2014-2015.

Valerio, R. Y Chavarría, M. 1993. Guía preliminar de parámetros silviculturales para apoyar los proyectos de reforestación en Costa Rica. MÍRENEM.202 p

Villegas C. R.P. 2008. Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y en mezcla en Alto Beni, Bolivia. Tesis MSc, Turrialba, CATIE, Costa Rica.96p.

Wong E.G. 2010. Análisis de varianza. Agronomía Mesoamericana. Información técnica. ISSN: 1021-7444.