

**PRODUCCIÓN DE HOJARASCA EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CON
CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y DOS ESPECIES DE SOMBRÍO: ACACIA (*Acacia
Mangium*) y YOPO (*Anadenanthera peregrina* L.)**

MARIA ALEXANDRA MORA RAMOS

LORENA CABRERA RUBIANO

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

INGENIERIA AGRONOMICA

VILLAVICENCIO

2020

PRODUCCIÓN DE HOJARASCA EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CACAO
(*Theobroma cacao* L.) Y DOS ESPECIES DE SOMBRÍO: ACACIA (*Acacia Mangium*) y
YOPO (*Anadenanthera peregrina* L.)

MARIA ALEXANDRA MORA RAMOS

LORENA CABRERA RUBIANO

Proyecto de trabajo de Tesis presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrónomo.

DIRECTOR

JORGE ALBERTO RANGEL MENDOZA

Docente universidad de los llanos

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

INGENIERIA AGRONOMICA

VILLAVICENCIO

2020

Nota de aceptación _____

Jorge Alberto Rangel Mendoza Director

Amanda Silva Parra Jurado

Sergio David Parra González Jurado

Villavicencio, octubre 2020

PERSONAL DIRECTIVO

PABLO EMILIO CRUZ CASALLAS

Rector

MARÍA LUISA PINZÓN ROCHA

Vice-rector Académico

GIOVANNY QUINTERO REYES

Secretario General

CRISTÓBAL LUGO LÓPEZ

Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

JORGE ALBERTO RANGEL MENDOZA

Director de Escuela de Ciencias Agrícolas

ÁLVARO ÁLVAREZ SOCHA

Director del programa de Ingeniería Agronómica

Agradecimientos

MARIA ALEXANDRA MORA RAMOS

Quiero agradecer a Dios y a la Virgencita, que en su infinita bondad me han regalado múltiples bendiciones durante todo este proceso.

A mi mamá, mi papá, mis hermanos, a mi novio, mis amigos y demás familiares que me apoyaron incondicionalmente en cada paso que di en este camino lleno de luchas y alegrías.

A el profesor Jorge Rangel, quien fue nuestro director de proyecto de grado, y nos brindó su guía y conocimientos para poder llevarlo a cabo con éxito.

a la profesora AMANDA SILVA PARRA por su paciencia, dedicación y colaboración, en este arduo proceso.

LORENA CABRERA RUBIANO

Agradecer a Dios por regalarme la vida, a mis padres Raúl Cabrera Barreto y María Esperanza Rubiano Porras, por confiar en mis proyectos, por brindarme su apoyo, confianza, por sus consejos, los valores y principios que inculcaron en mí.

Agradecer a nuestro director en este proyecto de grado el profesor Jorge Rangel, por el aporte de su experiencia, conocimientos y sus consejos para culminar de la mejor manera este proyecto.

Dedicatoria

MARIA ALEXANDRA MORA RAMOS

Quiero que sepan que este logro no es solo mío, si no de todas y cada una de las personas que de una u otra forma estuvieron involucradas en mi proceso de formación tanto profesional como personal, ayudándome a forjar mi camino y a convertirme en un ser humano integro.

Dedico este logro a mis padres, Rosse Mary Ramos Torres e Ignacio Fermín Mora Díaz, quienes me han apoyado incondicionalmente, han sido mi baluarte y han llenado mi vida de valores, de sabiduría y entendimiento, siendo el bastón en el cual me he apoyado en los momentos más difíciles de mi vida y mi carrera.

A mis hermanos Francly, John y Camilo (quien hoy es una estrella más en el cielo, un angelito en nuestras vidas), quienes siempre de una u otra forma me impulsaron a continuar y seguir luchando por mis sueños.

A mi esposo Herney Giovanny Ladino, quien, con su amor incondicional, tomo mi mano y recorrió conmigo el camino que me condujo hacia este logro que hoy resalta este trabajo, le doy infinitas gracias y citando el principito le quiero decir que “si tuviera que volver a comenzar mi vida, intentaría buscarle mucho antes”.

A Dios y la Virgencita, quienes escucharon siempre mis oraciones y las de mis padres, nunca nos desampararon, siempre en cada momento y cada lugar me permitieron sentir su presencia y amor incondicional.

LORENA CABRERA RUBIANO

A Dios por guiarme por a lo largo de este camino, por regalarme bendiciones y obstáculos que se superaron con su ayuda y protección.

Dedico este trabajo con todo cariño y amor para mis padres, por su apoyo constante, y por sus valiosos consejos.

CONTENIDO

CONTENIDO	1
LISTA DE TABLAS.....	2
LISTA DE ILUSTRACIONES	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. PROBLEMA	8
2.1 ANTECEDENTES GENERALES	8
2.2 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	9
2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. OBJETIVOS	13
4.1 OBJETIVO GENERAL	13
4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	13
5. MARCO TEÓRICO	14
5.1 MARCO CONCEPTUAL.....	14
5.1.1 La producción de hojarasca en especies forestales.....	14
5.1.2 Los sistemas agroforestales de cacao	15
5.1.3 Efecto del clima en la producción de hojarasca	18
5.1.4 La hojarasca y los ciclos biogeoquímicos.....	19
5.1.5 Efecto de la hojarasca sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo	20
5.2 ESTADO DEL ARTE.....	21
5.2.1 Producción de hojarasca en el cacao	22
5.2.2 Producción de hojarasca de la Acacia.....	23
6. METODOLOGÍA.....	25
6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	25
6.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.	27
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
7.1 ANÁLISIS DE VARIANZA	28
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. presenta la extracción de nutrientes por tonelada de cacao según diferentes autores	06
Tabla 2. Análisis de varianza para la interacción de los factores sistemas, épocas y muestreos durante la época húmeda y seca.....	28
Tabla 3. Comparación de la producción de hojarasca entre los sistemas (gr/m ² /mes).....	29
Tabla 4. Prueba de Tukey para Sistemas de las épocas húmeda y seca (n=18)	30
Tabla 5. Prueba de Tukey para los Muestreos en la época húmeda y seca (n=30).....	31
Tabla 6. Medias de los desdoblamientos de las interacciones significativas época climática*especies en el SAF para cantidad de hojarasca (g/m ² /mes). Evaluaciones en las épocas húmeda y seca (n=9)	32
Tabla 7. Medias de los desdoblamientos de las interacciones significativas épocas de muestreo*tratamientos para la variable cantidad de hojarasca (g/m ² /mes). Muestreos en la época húmeda y seca (n=6).....	34
Tabla 8. Medias de los desdoblamientos de las interacciones significativas tratamientos*épocas de muestreo*muestreos para la variable cantidad de hojarasca (g/m ² /mes). Prueba de tukey (n=3).....	36

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Canasta colectora de hojarasca.....	26
---	----

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación del Jardín clonal de cacao, Sede Barcelona.....9
- Figura 2.** Ubicación de las canastas recolectoras de hojarasca en el sistema agroforestal 26
- Figura 3.** Comparación de la producción de hojarasca entre la época húmeda y seca (gr/m²/mes).....33
- Figura 4.** Interacción de los sistemas con muestreos y épocas para las épocas húmeda y seca.....37

**PRODUCCION DE HOJARASCA EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CON
CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y DOS ESPECIES DE SOMBRÍO: ACACIA (*Acacia
Mangium*) y YOPO (*Anadenanthera peregrina* L.)**

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación “Producción de hojarasca en el sistema agroforestal con cacao (*Theobroma cacao* L.) y dos especies de sombrío: Acacia (*Acacia Mangium*) y Yopo (*Anadenanthera peregrina* L.)”, tuvo como objetivo general “Determinar la cantidad de hojarasca que producen las especies que integran el sistema agroforestal, con cacao (*Theobroma cacao* L) con dos especies de sombrío: acacia (*Acacia mangium* Will) y yopo (*Anadenanthera peregrina* L) establecido en la granja de la sede Barcelona Universidad de los Llanos, en dos épocas: seca y húmeda.”

. La caída de la hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas de la planta hacia el suelo (Schlatter et al., 2006). La hojarasca que cae al suelo forma un estrato orgánico conocido como mantillo, el cual cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y de humedad, y también permite que retornen elementos nutritivos en una cantidad importante (Schlatter et al., 2006).

A lo largo de la presentación de resultados, se encuentran elementos que permiten validar la metodología utilizada para la cuantificación de la producción de hojarasca, con un enfoque agronómico y en el marco de los beneficios ambientales de este cultivo, como es el aporte de nutrientes de la hojarasca al suelo, que, aunque no sé evidencio como resultados de este estudio, hizo parte de los resultados publicados por Rangel-Mendoza y Silva-Parra, (2020).

En el manejo de la fertilización y nutrición del cultivo de cacao en Colombia es escasa la información sobre la cantidad de hojarasca generada en los arreglos forestales y su aporte a la nutrición del cultivo. La fertilización y nutrición del cultivo se fundamenta principalmente en las propiedades físicoquímicas del suelo sin incluir el aporte nutricional de la hojarasca (ICA, 2012) (FINAGRO, s.f.) (COMPAÑIA NACIONAL DE CHOCOLATES, 2012) (LUTHERAN WORD RELIEF, 2013) (Guerrero Riascos, 1995). En los manuales de cacao se indica que en plantaciones sin fertilizar existe pérdida de la fertilidad del suelo (ICA, 2012) (COMPAÑIA NACIONAL DE CHOCOLATES, 2012) (LUTHERAN WORD RELIEF, 2013). Los valores publicados sobre la extracción de nutrientes en cacao dependen en gran medida de las condiciones de cada cultivo, parte de la planta valorada y edad del cultivo, tipo de suelo y estado nutricional del cultivo (Hartemink, 2003) (Tabla 1).

Tabla 1 presenta la extracción de nutrientes por tonelada de cacao según diferentes autores

Fuente	Rendimiento grano seco (Ton)	N (kg)	P₂O₅ (kg)	K₂O (kg)	CaO (kg)	MgO (kg)
(ICA, 2012)	1	30	8	40	13	10
(Guerrero Riascos, 1995)	10	100	46	240	15	10
(LUTHERAN WORD RELIEF, 2013)	2,2	33	8,5	44	28	22

Leiva (2012), indica que en Colombia la investigación edáfica y foliar en cacao es escasa; sin embargo, se indica que cacaotales bajo sombrero tienen poca respuesta a la fertilización edáfica (Leiva, 2012) (Puentes, 2014; Mejía, 2000). Tal vez por esta razón no es utilizada la práctica de fertilizar este cultivo (Álvarez et al, 2012).

Sin embargo, se reconoce la importancia de las especies forestales en el cultivo y el hecho de que la hojarasca actúa como fertilizante natural y su descomposición incorpora

materia orgánica y nutrientes, pero hasta el momento son muy pocos los trabajos relacionados con la cuantificación de hojarasca y su aporte nutricional (FEDECACAO, 2006, LUTHERAN WORD RELIEF, 2013, Álvarez, Rojas, & Suarez, 2012). La organización LUTHERAN WORD RELIEF (2013) cita que, durante un año, los árboles aportan al suelo 200 libras de nitrógeno, 22 libras de fósforo, 77 libras de potasio, 50 libras de magnesio y 308 libras de calcio por hectárea.

Somarriba y Beer (2011), citados por Álvarez, Rojas, & Suarez, (2012) indican que dependiendo de la fertilidad del suelo se recomiendan las especies forestales asociadas al cacao. Otros estudios indican que el aporte nutricional de la hojarasca es diferencial según la composición arbórea y el material genético utilizado (Leiva Rojas, 2012, Álvarez, Rojas, & Suarez, 2012). Finalmente, Sánchez et al (2005), citado por Leiva (2012), sugiere la necesidad de investigar sobre las causas que originan este comportamiento.

En la Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de Cacao-Chocolate en Colombia (2007), no es visible el abordaje de los aportes nutricionales de la hojarasca, aunque identifica la oportunidad del “Manejo propuesto para el cultivo controlando densidades de siembra, nutrición de las plantas, áreas de producción y podas”; de éstos proponen dos opciones de proyectos relacionados con el manejo de sistemas agroforestales a nivel regional por clones, clases y especies forestales y, estandarización y sensibilización de conceptos relacionados con cacaos orgánicos, funcionales, especiales, entre otros (MADR - UNAL, 2007). En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la producción de hojarasca por efecto de las especies que integran el sistema agroforestal de cacao *Theobroma cacao*, dos épocas climáticas (verano e invierno) a los 30, 60 y 90 días.

2. PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

En un sistema natural, la nutrición de las especies arbóreas depende de los ciclos biogeoquímicos y del equilibrio u homeostasis de los nutrientes en el suelo. En el marco de este equilibrio, depende de la producción de hojarasca del suelo; ya que ésta funciona como cobertura del suelo, aporte de materia orgánica y base para el retorno de nutrientes a través de la actividad biológica de los microorganismos del suelo (Schlatter et al., 2006).

El cultivo de cacao, como monocultivo y/o sistema agroforestal, funciona desde un sistema de ciclaje de nutrientes, en dónde la hojarasca, no solo se convierte en materia orgánica, sino que aporta nutrientes en el suelo (Rangel-Mendoza y Silva-Parra, 2020). Entre los sistemas productivos el cacao favorece la formación de una abundante capa de hojarasca, y con los años, forma una espesa capa de materia orgánica.

En el mundo, la producción de hojarasca en el bosque y en algunos sistemas productivos, ha sido tema de investigación de las ciencias naturales, especialmente, de biólogos y ecólogos. En tanto, en las ciencias agrarias, especialmente en la ingeniería Agronómica, poco ha sido abordado como un elemento de análisis del funcionamiento del ciclaje de nutrientes, en especial, en el cultivo de cacao donde por tradición en la región de la Orinoquía, es un sistema que poco se viene fertilizando y el manejo de la fertilidad se basa casi exclusivamente de la producción de hojarasca. De ahí, la razón por la cual se decide estudiar el comportamiento de la producción de la hojarasca de un sistema agroforestal de cacao en condiciones del piedemonte llanero.

2.2 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

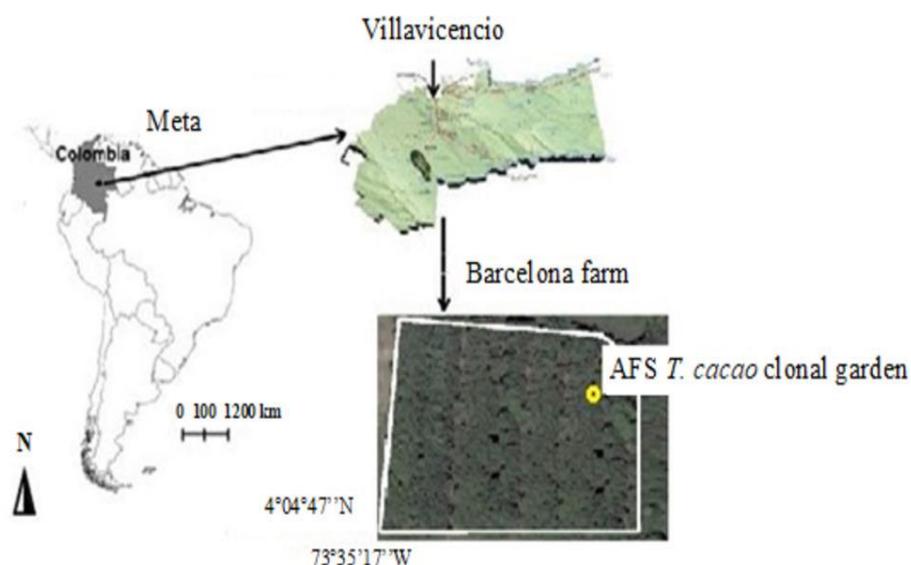


Figura 1. Ubicación del Jardín clonal de cacao, Sede Barcelona

El Jardín clonal de cacao en la Sede Barcelona está ubicado en las coordenadas geográficas 4°04'47''N y 73°35'17''W (Figura 1). El clon estándar de cacao es el IMC 67 obtenido de cultivos de Arauca, y fue establecido como jardín clonal en Abril del 2012, en la granja de la sede Barcelona de la Universidad de los Llanos. En el inventario obtenido en 2019 se tenía 781 árboles de cacao, 232 de yopo y 163 de Acacia (Rangel-Mendoza y Silva-Parra, 2020). En el lote No. 9 donde se ubicó el sistema agroforestal de cacao, yopo y acacia; anteriormente, se desarrollaban experimentos con especies semestrales (hortalizas o cereales), cubre un área total de 9690 m².

Con el establecimiento del cultivo de cacao, la dinámica de la cobertura vegetal del lote cambió significativamente, generándose una capa de materia orgánica en el suelo. Dadas las condiciones iniciales del lote, el funcionamiento del sistema permite el aporte de la hojarasca como fuente y almacenamiento de nutrientes, además de la posibilidad de generar capas de materia orgánica del suelo (MOS).

Sin embargo, no se ha investigado sobre la cantidad de hojarasca que aporta el sistema, la cual contribuye no solamente con el retorno de nutrientes al suelo, sino en evitar la erosión del suelo. Desde esta perspectiva, la investigación identificó los beneficios del sistema agroforestal en términos de la producción de hojarasca por efecto del tipo de especie involucrada, época climática y días de evaluación (muestreos).

2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el manejo del sistema agroforestal, se hace necesario investigar cuánta hojarasca produce el sistema, no como un estudio biológico o de la ecología de las especies involucradas, sino como un aspecto que hace parte del manejo agronómico del sistema agroforestal. En los últimos años se ha enfatizado en la recuperación de los suelos y el aumento de cobertura del suelo con hojarasca como una de las estrategias más económicas en cultivos de cacao. Por ello, y con base en los antecedentes y ubicación del sistema, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuánta es la cantidad de hojarasca producidas de las especies que integran el sistema agroforestal en dos épocas climáticas (época seca vs época húmeda), bajo las condiciones climáticas de la granja de la sede Barcelona de la Universidad de los Llanos?

Las hipótesis para comprobar son:

Ho: Los factores investigados: tipo de especies en el sistema agroforestal, tres épocas de muestreos a los 30, 60 y 90 días, y época climática tienen efectos similares en la producción de hojarasca.

Ha: Los factores investigados: tipo de especies en el sistema agroforestal, tres épocas de muestreos a los 30, 60 y 90 días, y época climática generan efectos diferentes sobre la producción de hojarasca.

3. JUSTIFICACIÓN

El diseño del sistema agroforestal de cacao se realiza, principalmente, por la necesidad de regular la cantidad de luz que ingresa en el sistema agroforestal. El cacao es una especie de sombrío que requiere que la intensidad de la luz sea aproximadamente del 30% del total que recibe el cultivo. No obstante, la producción de hojarasca no se valora o cuantifica; es intrínseca e inherente al paisaje del cultivo y se asume como una buena práctica para la conservación del suelo y el agua.

Desde ese punto de vista, se plantea la necesidad de conocer cuánta es la producción de hojarasca en el sistema agroforestal, para las especies que lo conforman: cacao, yopo y acacia, aprovechando el arreglo que tiene el sistema agroforestal de la granja Barcelona de la Universidad de los Llanos. En la literatura se reporta producción de hojarasca para el cacao y la Acacia (Salgado et al. 2009), pero muy poco para yopo; y se suma, que el sistema agroforestal no utiliza las especies tradicionales para generar sombrío, ni la distribución tradicional del cacao y las especies de sombrío. Considerándose una oportunidad de estudio.

La producción de nueva biomasa depende en gran parte de las condiciones edafológicas, climatológicas, de las épocas de muestreo; disponer de esta información es necesario para generar un manejo racional de éste sistema agroforestal que garantice mayor eficiencia y sostenibilidad de los agroecosistemas.

La cuantificación de la hojarasca en un sistema agroforestal bajo el modelo propuesto permitirá generar visiones más de tipo agronómico, que pueden servir como un escenario potencial para valorar cuáles son las especies arbóreas que aportan más hojarasca y rápidamente generan una cobertura del suelo, o como escenario en la valoración del secuestro de carbono y el aumento de la necromasa del suelo; también para identificar futuros escenarios y temas de investigación sobre aporte y ciclaje de nutrientes en el cultivo de cacao bajo condiciones de la Orinoquia Colombiana. Finalmente, puede ser la base para identificar la necesidad de realizar estudios sobre la dinámica de los microorganismos del suelo, su efecto en la disponibilidad de nutrientes y la posibilidad de favorecer el desarrollo de alternativas de fertilización biológica y orgánica.

Estudios similares no se han realizado en la Orinoquia Colombiana para el cultivo de cacao, y el estudio sobre la producción de hojarasca y sus aportes nutricionales es un campo de conocimiento que se abre camino a medida que se introduce el concepto de la producción limpia, biológica y orgánica, y con ello, la certificación de cultivos y productos agrícolas; y a medida que se genera la necesidad de reducir la dependencia por las fuentes fertilizantes sintéticas. Por ello, los resultados y conocimientos generados en esta investigación son una contribución importante al conocimiento sobre el ciclaje de nutrientes en sistemas productivos, en nuestro caso, para el cultivo de cacao, a nivel local, regional, nacional e internacional.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de la producción de hojarasca por efecto de las especies que integran el sistema agroforestal, con cacao (*Theobroma cacao* L) con dos especies de sombrío: acacia (*Acacia mangium* Will) y yopo (*Anadenanthera peregrina* L) establecido en la granja de la sede Barcelona Universidad de los Llanos, y los factores que inciden en dicho proceso, dos épocas climáticas: seca y húmeda en diferentes tiempos de muestreo.

4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Medir la cantidad de hojarasca que producen las especies que integran el sistema agroforestal, con cacao (*Theobroma cacao* L) con dos especies de sombrío: acacia (*Acacia mangium* Will) y yopo (*Anadenanthera peregrina* L) establecido en la granja de la sede Barcelona Universidad de los Llanos, en las épocas húmeda y seca a los 30, 60 y 90 días.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 La producción de hojarasca en especies forestales

La producción y descomposición de hojarasca son procesos en los que la materia orgánica se deposita y reduce en sus elementos constituyentes. Ambos procesos regulan la cantidad y contenido bioquímico de la materia orgánica producida en un ecosistema y son responsables de la formación de sustancias húmicas que contribuyen a la calidad/fertilidad del suelo. La producción de la hojarasca está controlada por tres factores principales: el clima, el tipo de especie y condiciones de suelo. Los residuos vegetales depositados (hojas, ramas, flores y frutos) son una fuente valiosa de materia orgánica que después de sufrir procesos de descomposición liberan elementos nutritivos que se incorporan al suelo para ser nuevamente utilizados por las plantas (Laossi et al., 2008). El conocimiento de los procesos de producción y descomposición constituye un paso necesario para el manejo de sistemas productivos (Rocha & Ramírez, 2009).

Los sistemas agroforestales tropicales desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad, dado que representan un hábitat potencial para una gran variedad de especies nativas de fauna y flora. Estos sistemas promueven procesos funcionales entre las plantas y los microorganismos presentes en el suelo, aumentando los beneficios productivos, ambientales, económicos y sociales por su fácil adaptación al medio (Daza, 2018)

La diversidad biológica o biodiversidad es la variación de las formas de vida, y se manifiesta en la diversidad genética de poblaciones, especies, ecosistemas y paisajes. Colombia tiene una extensión continental de 114.174.800 hectáreas, que representan aproximadamente

el 0,7% de la superficie continental mundial. En esta área se encuentra el 10% de la biodiversidad, constituyendo a Colombia un país “megadiverso”; sin embargo, se vive un proceso acelerado de transformación de sus hábitats y ecosistemas naturales por causas como la inadecuada ocupación y utilización del territorio, que han agudizado los problemas de colonización y ampliación de la frontera agrícola. En los ecosistemas adicionalmente se ejerce presión sobre el uso del suelo, debido a la explosión demográfica registrada en muchos lugares del trópico, a la tala, quema, siembra de monocultivos y cultivos transitorios, especialmente en topografía quebrada, la eliminación de la biodiversidad y la materia orgánica, a través de prácticas agronómicas no adecuadas, entre otros, lo cual conduce a la degradación del suelo, disminución del rendimiento de los cultivos y a la invasión de hierbas difíciles de controlar. Una de las alternativas para frenar estos procesos y hacer frente a las variaciones que en el clima pueda presentarse a futuro es la explotación de la tierra a través de sistemas agroforestales o agroforestería. (Valencia, 2014).

El área cultivada con cacao se ha incrementado en 60%, al pasar de cerca de 100 mil hectáreas en el 2007 a 160 mil hectáreas en el 2014. En ese mismo lapso, la producción ha pasado de 60 mil a 80 toneladas (MADR – UNAL, 2007). El uso de fertilizantes está entre 200 y 500 kg/año (MADR – UNAL, 2007).

5.1.2 Los sistemas agroforestales de cacao

Como es bien sabido, el cacao en Colombia se cultiva bajo sistemas agroforestales en los cuales se imitan las condiciones naturales en las que se originó esta especie de bosque húmedo tropical amazónico.

Un buen sistema agroforestal debe garantizar que haya un mejor uso del espacio, el agua y los nutrientes. El diseño del sistema debe ayudar a regular la temperatura en la

plantación, moderar la entrada de luz, disminuir el efecto del viento, proteger y mejorar el suelo. Todo esto ayuda a generar una alta productividad y fomentar la biodiversidad en los sistemas agroforestales de cacao (Somarriba y Beer, 2011).

En este tipo de sistema agroforestal las especies acompañantes del cacao cumplen una doble función, de un lado proporcionan un sombrío moderado al cacao que le permita desarrollarse adecuadamente, y de otro, generan ingresos a corto y largo plazo para el agricultor (Somarriba y Beer, 2011). De la misma manera, durante el primer año de desarrollo del cultivo, en los espacios que queda entre los surcos, pueden ser aprovechados para la siembra de cultivos del ciclo corto, lo cuales, generalmente, son cultivos de pancoger tales como maíz, yuca, frijol y en algunos casos hortalizas (Jose, 2009).

Este tipo de sistemas productivos presentan para el pequeño productor grandes ventajas frente al sistema de monocultivo, ya que no dependerá de un solo producto, sino con cultivos de diferentes ciclos productivos que aportarán a su seguridad alimentaria y en algunos casos, con los excedentes, a mejorar su flujo de caja.

Además, este tipo de sistemas impacta positivamente al medio ambiente, ya que ayudan a un mejor control de la erosión, se disminuye el impacto nocivo de la radiación solar, y se reduce la escorrentía superficial.

Aunado a esto, el SAF produce gran cantidad de biomasa que regresa al suelo que puede ser utilizada como materia prima para la elaboración de compost y abonos orgánicos, para utilizar en el cultivo y permite el reciclaje de nutrientes en el suelo lo que contribuye a la conservación de este (Jose, 2009).

Es así, como los sistemas agroforestales, son fuente de recursos útiles para su aprovechamiento en las fincas, recursos como la madera, forrajes, abonos verdes, etc. Igualmente, el efecto del incremento de la materia orgánica en este tipo de sistemas favorece

la biodiversidad de flora y fauna, tanto a nivel macro como micro, originando el equilibrio ecológico y disminuye la posibilidad del incremento de poblaciones en plagas, enfermedades, plantas parásitas y malezas.

Se estima que el aporte por hectárea de biomasa de un sistema agroforestal de cacao conformado por 1.200 plantas de cacao, 1.200 de plátano y 120 árboles maderables, en un año es de 31,5 toneladas, de las cuales 7,8 toneladas corresponden al aporte de los maderables y el sombrío temporal; 2,8 toneladas al aporte de los residuos de las podas del cacao; 2,9 toneladas al aporte de las hojas del cacao que caen al suelo al renovar sus hojas y 18 toneladas al aporte de las cáscaras del cacao (Fedecacao, 2020).

Es importante tener en cuenta que las densidades que se manejan en Colombia para siembra de cacao, oscilan entre 700 y 1300 árboles por hectárea; sin embargo, lo recomendado es establecer mínimo 1000 árboles por hectárea, para que el cultivo sea rentable y competitivo. (Fedecacao, 2020).

La principal función de los cultivos asociados en un sistema agroforestal con cacao (*Theobroma cacao* L.), es proveer una base económica o productiva para el agricultor, es el caso de la asociación con musáceas y especies perennes, que generan una respuesta positiva en producción económica, así como una complementariedad al sistema, ya que el cacao requiere un nivel de sombra tanto en su etapa inicial como durante su desarrollo (Jose, 2009). La utilización de plátano como sombrío temporal durante los primeros años de establecimiento, es esencial para un desarrollo óptimo y brinda una ayuda adicional al agricultor, para garantizar su seguridad alimentaria, saneamiento básico, enriquecimiento ambiental y una entrada económica adicional que favorece la economía campesina.

Las especies acompañantes en cacao, en las primeras fases del cultivo, pueden representar beneficio ecológico, económico y social (Somarriba y Beer, 2011). Los forestales utilizados como sombríos cumplen a su vez funciones ecológicas que permiten la protección del suelo, modifican las características físicas por medio del aporte de biomasa, reduciendo las pérdidas de suelo y manteniendo una descomposición natural de la hojarasca aportada por las especies asociadas promoviendo el ciclaje de nutrientes favoreciendo las condiciones físicas y químicas

Así mismo, la hojarasca utilizada como cobertura minimiza la erosión del suelo, protegiéndolo del impacto de la lluvia, reduce la velocidad de escorrentía y disminuye la pérdida de nutrientes. Los sistemas agroforestales en asocio con cacao son considerados como fuentes de recursos potenciales para el secuestro de carbono orgánico, reducción de estrés hídrico, evaporación y aumento de la biodiversidad. (Daza, 2018).

5.1.3 Efecto del clima en la producción de hojarasca

La producción de hojarasca está relacionada con las condiciones climáticas. La producción de hojarasca es mayor en las zonas húmedas y cálidas con suelos fértiles, mientras que disminuye en zonas secas y frías y con una baja disponibilidad de nutrientes (Gallardo et al., 2009). La producción de hojarasca es afectada por las variaciones de precipitación y temperatura. Las precipitaciones pueden causar la caída prematura de las hojas debido al viento y lavan nutrientes de las hojas verdes; el periodo de sequía puede aumentar el contenido de nutrientes de la hojarasca debido a una caída prematura de las hojas viejas en respuesta al estrés hídrico. Los ciclos de secado y humedad del suelo durante la estación de crecimiento son los

que probablemente más condicionan las tasas de descomposición y mineralización (Álvarez Sánchez, 2001).

5.1.4 La hojarasca y los ciclos biogeoquímicos

El funcionamiento de los ecosistemas forestales depende en gran medida de la descomposición del manto orgánico de restos vegetales sobre el suelo, el cual tiene un papel clave en el reciclaje de nutrientes (Polyakova y Billor 2007). El manto orgánico de hojas, ramas, frutos, corteza, etc., que se forma sobre el suelo de un bosque es llamado mantillo. La descomposición del material orgánico que cae de los árboles hasta el suelo es una de las principales fuentes de carbono orgánico y de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y da origen al "ciclo de nutrientes" dentro del sistema suelo-planta (Olson 1963, Attiwill 1968, O'Connell 1988, Foelkel 2008).

La tasa de descomposición del mantillo puede ser determinada por la relación entre la cantidad que cae anualmente con la acumulada en el suelo. De acuerdo con Poggiani y Schumacher (2004) y Pallardy (2008) la forma y velocidad de descomposición están relacionadas principalmente con las condiciones climáticas y fundamentalmente con la relación C/N, afín con los microorganismos que efectúan el proceso. Normalmente, las hojas verdes presentan mayor tasa de descomposición que las hojas senescentes debido a su concentración inicial más elevada de nitrógeno y de fósforo, y los materiales más lignificados son más resistentes a la descomposición (Reis y Barros 1990). La tasa de mineralización del nitrógeno en el piso del bosque está correlacionada con la mineralización total del nitrógeno (mantillo y suelo) y depende además de la calidad de la hojarasca (expresada como las tasas C/N o lignina/nitrógeno) (Vogt et al. 1986, Stump y Binkley 1993).

5.1.5 Efecto de la hojarasca sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

El coeficiente de descomposición (k), que indica la relación caída de hojarasca/acumulación, varía de 0.5 en los bosques templados, a 2.0 en las selvas tropicales (Alvarez Sánchez, 2001).

En consecuencia, la producción de hojarasca y su contenido de nutrientes es de gran variabilidad. Las cantidades medias de N y P que retornan al suelo a través de la hojarasca son mayores para especies caducifolias que para perennifolias (Gallardo et al., 2009).

La capa de hojarasca produce un abrigo orgánico sobre la superficie de los suelos, dando por resultado un microclima edáfico peculiar, y condiciones adecuadas para un espectro más amplio de organismos. Su descomposición contribuye a la regulación del ciclo de nutrientes y de la productividad primaria, así como al mantenimiento de la fertilidad del suelo forestal. Como proceso, la descomposición es clave para el funcionamiento de los bosques, ya que, si los nutrientes son liberados rápidamente, pueden perderse por lixiviación edáfica o por volatilización.

El patrón general para la pérdida de peso de la hojarasca en descomposición comprende dos fases de estado, una inicial de rápido desarrollo por el lavado de compuestos solubles y la descomposición de materiales lábiles, y una segunda más lenta, como resultado de la lenta descomposición de elementos recalcitrantes como celulosa, hemicelulosa, taninos y lignina. 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. 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. 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. En el caso de la recuperación de áreas degradadas por actividades de minería superficial, la restitución de estos procesos es fundamental, ya que la vegetación ha sido eliminada y con ella el funcionamiento de estos ciclos. (Castellanos-Barliza & Peláez, 2011)

5.2 ESTADO DEL ARTE

El aporte nutricional de la hojarasca y caída de hojarasca depende de varios factores, entre ellos, la humedad, la temperatura, la calidad de la hojarasca y la actividad de los microorganismos (Castellanos Barliza & León Peláez, 2011), además de las características del suelo que favorecen la actividad de los desintegradores, tales como porosidad, aireación y contenido de materia orgánica (Álvarez Sánchez, 2001). La caída de la hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas de la planta hacia el suelo (Bonilla et al, 2008).

5.2.1 Producción de hojarasca en el cacao

De acuerdo con Cerda (2008) y Vilas et al., (1999) la producción media de hojarasca (y su desviación estándar – σ -) en un sistema cacao laurel fue de 3972,57 ($\sigma=965,34$) kg/ha/año y cacao como monocultivo fue de 2.483, 73 ($\sigma=753,03$) kg/ha/año; el testigo, que fue un barbecho produjo 4046,19 ($\sigma=748,43$) kg/ha/año. Los investigadores citados demostraron que el sistema de cacao laurel es similar al efecto originado por el barbecho y confirma que los sistemas agroforestales protegen y promueven un mayor contenido de materia orgánica en el suelo.

Según Cerda (2008), el porcentaje de fragmentos gruesos (% FG) de la hojarasca fue mayor en el sistema cacao asociado con laurel y cacao en monocultivo, mientras que en el barbecho predominó el porcentaje de fragmentos finos (%FF) y esto depende de la relación C/N de los tejidos que regulan los procesos de mineralización e inmovilización en los suelos (Cerda, 2008)

Estudios realizados por Salgado et al (2009) indican que la cantidad de hojarasca siendo más elevada en plantaciones con sombra predominante de leguminosas y el árbol del cacao el que más hojarasca incorpora (3,41 ton/ha/año); así se encontraron 481 de N, 49 de P, 271 de K, 492 de Ca y 472 de Mg; la tasa de descomposición fue baja, $r= 0.30$ (Salgado et al, 2009). En otro estudio se evaluó la descomposición de la hojarasca en tres tipos de sistemas de cacao con sombrío en frutales, siendo el aporte de los tres sistemas de 8,3 ton/ha/año.

5.2.2 Producción de hojarasca de la Acacia

La producción total de hojarasca de *Acacia mangium* en Sumatra (Indonesia) fue de 13.0–16.5 ton/ha/año (Sugimoto et al, 2013). En Filipinas, la producción total de hojarasca fue de 11,44 +/-0,59 ton/ha/año (Lee & Woo, 2012), en Malasia, la producción de hojarasca fue de cerca de 10.2 ton/ha/año (Luhende, Nyadzi, & Malimbwi, s.f.).

Según Castellano y León (2011), la liberación de nutrientes en *Acacia mangium* siguió el siguiente orden K>N>Mg>Ca>P. La liberación del N se dio en tres fases, una fase inicial que fue lenta (113 días) debido probablemente a una baja demanda microbiana de N, una rápida a los 141 días y una final dominada por el proceso de inmovilización coincidiendo con incrementos de 300% en materia orgánica, 200% en N y 340% en P, y una liberación efectiva de elementos como Ca, Mg y K. El P mostró una tendencia a la inmovilización.

Según Bolivar et al. (s.f.), en un cultivo de *Acacia mangium* en Panamá, los contenidos de Ca, Mg, K y Mn en el suelo, el pH y el Al intercambiable no se vieron afectados comparado con un arreglo silvopastoril; aunque el Ca, K y Mn tendieron a ser mayores en arreglo silvopastoril, favoreciendo los contenidos de humedad del suelo, P, N amoniacal y nitratos en 15, 98 y 177% respectivamente. La humedad, el pH, los nitratos y el P aumentaron en la época lluviosa.

En suelos ácidos la integración de *A. mangium* en pasturas con *Brachiaria humidicola* aumentó el contenido de fósforo y nitrógeno en el suelo (Martínez, 2013).

Información bibliográfica sobre estudios de hojarasca en Yopo no fueron encontrados.

Los trabajos tendientes a evaluar los efectos de la producción de hojarasca en sistemas agroforestales con cacao permitirán entender mejor la dinámica del reciclaje de nutrientes en estos sistemas que son de importancia económica relevantes en el trópico.

Desde el componente científico el proyecto permite avanzar en un vacío de conocimiento científico sobre el sistema agroforestal Cacao, Yopo y Acacia, el cual es promovido por Fedecacao. A nivel técnico, permite determinar las cantidades de nutrientes que aporta el sistema agroforestal y ajustar los requerimientos de fertilización. A nivel académico, permite generar conocimiento y el uso de metodologías de investigación aplicadas a contextos productivos reales. De igual manera, fortalece los procesos de investigación, vinculación de estudiantes y construcción de capacidades para la investigación y resolución de problemas científicos y técnicos asociados a la producción agrícola.

6. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en el sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L) con dos especies de sombrío: acacia (*Acacia mangium* Will) y yopo (*Anadenanthera peregrina* L); se encuentra ubicado en la Granja de la sede Barcelona de la Universidad de los Llanos, en la Vereda Barcelona del Municipio de Villavicencio (Colombia, Meta); con coordenadas geográficas, según Google Earth (WSG84: 4'22.94"N, 73°34'49.98"O, km 1 vía Puerto López. La edad del cultivo es de cuatro años. El suelo de la granja es franco arenoso ubicado en un paisaje de terraza coluvio-aluvial del piedemonte depositacional de la Orinoquia Colombiana.

6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

En la investigación se utilizó un diseño factorial en arreglo en bloques completos al azar, donde el primer factor corresponde a los arreglos agroforestales (tratamientos), el segundo factor a los muestreos (realizados a los 30, 60 y 90 días) y el tercer factor a las épocas climáticas: húmeda y seca. Los tratamientos fueron: T1= Cacao, T2 = Yopo, T3= Acacia, T4= Cacao-Yopo y T5=Cacao-Acacia. De cada tratamiento se realizaron tres repeticiones.

La colecta de hojarasca se realizó utilizando canastas para recolección de esta, cuya estructura se elaboró en PVC; las dimensiones fueron un metro ancho y un metro de largo, por un metro de alto. (Valdez, 2017). En ella se colocó una malla de mosquitero para la recolección de la hojarasca (Fotografía 1). Las canastas para la recolección de hojarasca se ubicaron dentro del lote al azar (Figura 1).

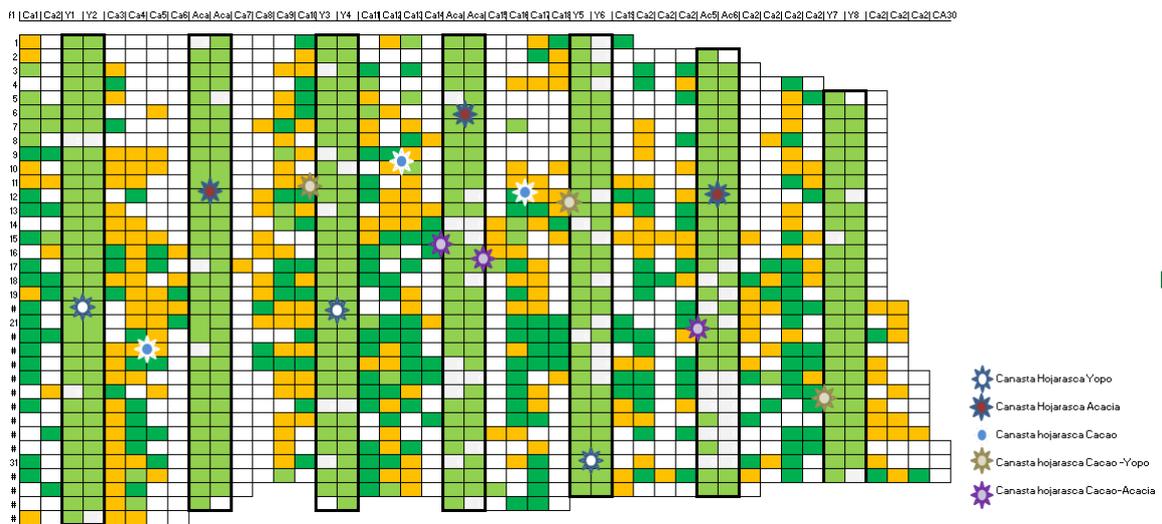
La recolección de hojarasca en cada periodo estacional se realizó mensualmente durante tres meses: en época húmeda la colecta de hojarasca ocurrió entre los meses de octubre a diciembre de 2017. En la época seca ocurrió entre los meses de enero a marzo de 2018.



Ilustración 1 Canasta colectora de hojarasca

Fuente: El autor.

Figura 2. Ubicación de las canastas recolectoras de hojarasca en el sistema agroforestal



Fuente: El autor.

La distribución de los árboles de cacao en el arreglo agroforestal en la figura 2, es 3 x 4 m, el cual está formado por surcos dobles continuos de yopo y acacia cada 12 m, entre los dobles surcos de acacia y yopo las distancias de siembra son de 3 m x 6 m en orientación norte-sur.

Las variables que se tuvieron en cuenta fueron:

- Producción de hojarasca por especie involucrada en el SAF.

- Producción de hojarasca por época climática seca y húmeda.
- Producción de hojarasca por muestreo a los 30, 60 y 90 días.

6.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

La recolección de datos se realizó en dos fases: en campo y en laboratorio. En campo, la recolección de la hojarasca colectada se realizó utilizando una lista de chequeo con el fin de verificar la producción hojarasca de todas las canastas. (Satizabal, 1993).

La hojarasca recolectada en campo se guardó en bolsas plásticas, cada bolsa se rotuló identificando el sitio. Posteriormente, en el laboratorio, se empacó en bolsas de papel rotuladas para la debida identificación de la muestra. Las bolsas de papel se colocaron en horno a 70 °C por 72 horas (Cerde Bustillos, 2008). Posterior al tiempo de secado de cada muestra, las hojas se pesaron y se registró el valor en un formato de registro de producción de hojarasca. Las unidades de medida en el laboratorio fue g/m² (Pérez, 2002).

El diseño experimental correspondió a un Diseño Completamente al Azar en arreglo factorial 5 x 2 x 3 (5 tratamientos, 2 épocas de muestreo y 3 épocas de evaluación a los 30, 60 y 90 días). El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza al 99 y 95% de probabilidad, las comparaciones múltiples para estimar la significancia estadística entre los factores se realizaron utilizando el método de Tukey a una probabilidad del 95%, para lo cual se analizan las diferencias significativas con su posible causa y consecuencia.

El análisis de varianza se realizó con apoyo del software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018). En él se ingresaron los valores de la producción de hojarasca en el siguiente orden: arreglo agroforestal, muestreos y épocas.

Las gráficas estadísticas se generan con el software Infostat y el apoyo de las funciones de una hoja de cálculo, donde en algunos casos se recurre al análisis estadístico de tipo descriptivo.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza de las interacciones mostró que se presentaron diferencias estadísticas significativas entre sistemas, épocas húmeda y seca al 95% de probabilidad, y entre muestreos a los 30, 60 y 90 días y entre épocas*muestreos al 99% de probabilidad (Tabla 7). Se presentó interacción entre sistemas*épocas*muestreo (95%) (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para la interacción de los factores sistemas, épocas y muestreos durante la época húmeda y seca.

F.V.	SC	Gl	CM	F	Pvalor
Modelo	7912,87	29	272,86	4,67	<0,0001
Sistemas	1121,89	4	280,47	4,80	0,0020*
Épocas	461,04	1	461,04	7,89	0,0067*
Muestreos	3386,24	2	1693,12	28,98	<0,0001**
Sistemas*Épocas	96,65	4	24,16	0,41	0,7982*
Sistemas*Muestreos	383,42	8	47,93	0,82	0,5878*
Épocas*Muestreos	1837,92	2	918,96	15,73	<0,0001**
Sistemas*Épocas*Muestreos	625,70	8	78,21	1,34	0,2424*
Error	3505,26	60	58,42		
Total	11418,13	89			

* Diferencias al 95% de probabilidad, ** Diferencias al 99% de probabilidad.

7.2 EFECTO DE LOS SISTEMAS, ÉPOCAS Y MUESTREOS EN LA PRODUCCIÓN DE HOJARASCA

Las especies en el sistema agroforestal de cacao influyeron en la producción de hojarasca (Tabla 3).

Tabla 3 Comparación de la producción de hojarasca entre los sistemas (gr/m2/mes)

Época	Cacao	Yopo	Acacia	Cacao-Yopo	Cacao-Acacia
Producción de hojarasca	169,35A	125,10B	88,94C	135,25AB	123,75B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Error: 58,4210 gl: 60

La suma de la producción de hojarasca, para cada uno de los tratamientos, de mayor a menor fue: Cacao (169,35 gr/m2/mes), Cacao-Yopo (135,25 gr/m2/mes), Yopo (125,10 gr/m2/mes), Cacao-Acacia (123,75 gr/m2/mes), y Acacia (88,94 gr/m2/mes). Se dieron diferencias entre Cacao con Yopo y Cacao-Acacia y con Acacia. Cacao-Yopo fue similar a Cacao (Tabla 3). La caída de hojarasca promedia mensual fue más alta en cacao, a diferencia de la Acacia que es una especie con baja producción de hojarasca, mostrando diferencias significativas ($p \leq 0,05$). La comparación de medias registró diferencias no significativas entre el sistema agroforestal Cacao-yopo, con Cacao-Acacia y Yopo ($P \geq 0,05$). Leiva & Ramírez (2012) plantean que el cultivo de cacao es altamente productor de hojarasca y realiza un aporte de hojarasca de $1.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Según Álvarez (2004), resulta extremadamente complicado comparar los resultados de trabajos que se dedican a la cuantificación de hojarasca, esto debido a que no hay una estandarización en la metodología, así, se tiene que algunos autores consideran los residuos de las podas como parte fundamental de estos aportes, otros tienen métodos que van desde canastas sujetadas en los árboles, artefactos cónicos sujetados al suelo, hasta el uso de especies arbóreas como receptoras (o que interceptan) la hojarasca. Los resultados anteriores también plantean dos formas de manejo en los agroecosistemas de cacao, una, la necesidad de eliminar la competencia con otras especies vegetales es posible que el cacao al no tener competencia, aumenta el aporte natural de hojarasca para la activación de la circulación de nutrientes, y la otra, se relaciona con los sistemas agroforestales, que al mantener más de dos especies puede generar un volumen considerable de hojas aportado. En el caso de la Acacia, el resultado anterior llevaría al productor a adicionar insumos externos que permitan suplir las deficiencias y requerimientos de éstas especies introducidas por la falta de generar suficiente cantidad

de biomasa, lo que aumentaría la dependencia del sistema y no lo haría sostenible. Barlow et al. (2007) encontraron mayor variación en la producción de hojarasca en bosques primarios y secundarios comparados con sistemas agroforestales y monocultivos en la Amazonía Brasileña, debida a la mayor diversidad de especies de plantas en esos sitios.

El alto porcentaje de hojas en la producción de hojarasca le permite al cacao, acumular altas cantidades de materia orgánica y de esta manera retornar importantes cantidades de nutrientes al suelo (Rangel-Mendoza y Silva-Parra, 2020).

La tabla 4 muestra que en la época húmeda se presentó la mayor producción de hojarasca con respecto a la época seca.

Tabla 4 Prueba de Tukey para producción de hojarasca en las épocas húmeda y seca (n=18)

Épocas	Medias (g/m ² /mes)
Húmeda	22,75 a ± 1,14
Seca	18,22 b ± 1,14

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Error: 58,4210 gl: 60

Se determinó que la producción de hojarasca en época húmeda fue de 22.75 g/m²/mes, diferentemente Valle (2003), menciona que hay una disminución marcada en la caída de la hojarasca de los árboles en climas estacionales, principalmente en épocas húmedas. En climas poco estacionales como las selvas húmedas tropicales, la mayor caída de la hojarasca se da cuando hay mayor precipitación, causado por la acción de la lluvia sobre el follaje de las plantas. El comportamiento encontrado puede deberse a que en la época seca los suelos no abastecen de suficiente agua a las diferentes especies forestales involucradas y se baja la producción de hojarasca. Sin embargo, Roing et al., (2005) determinaron en forestales que, en las épocas de verano, se produce un cambio fisiológico en las plantas, aumentando la caída de la hojarasca. Cardona y Sadeghian (2005) en café, argumentaron que la caída de las hojas durante la cosecha se asoció con la senescencia, proceso de mayor incidencia durante las últimas etapas de la maduración de los frutos, donde ocurre transferencia de nutrientes de las

hojas hacia los granos, provocando la caída de estas, factor que puede estar asociado a los resultados obtenidos en cacao en producción.

En los muestreos, tanto para la época húmeda, como para la época seca, el orden de la producción de hojarasca de mayor a menor fue: Muestreo 1 (30 días) > Muestreo 2 (60 días) = Muestreo 3 (90 días) (Tabla 5). La prueba de Tukey evidencia la existencia de diferencias significativas entre el muestreo a los 30 días, con los otros muestreos; los muestreos a los 60 y 90 días no presentan diferencias significativas ($P \geq 0.05$) (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de Tukey para los Muestreos en la época húmeda y seca (n=30)

Muestreos	Medias (g/m ² /mes)
M1	28,95 a ± 1,40
M2	17,88 b ± 1,40
M3	14,62 b ± 1,40

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Error: 58,4210 gl: 60

Este resultado estaría indicando que la producción de hojarasca no sería estable a través del año, y posiblemente en los primeros 30 días tanto en época seca como húmeda, se estén presentando condiciones que favorecen la caída como factores relacionados con las condiciones climáticas ya sea por viento o precipitación. Las temporadas de lluvia influyen en la generación de hojarasca, pero la producción se relaciona generalmente con la calidad productiva de la localidad y con el comportamiento funcional de las especies vegetales (Schessl et al., 2008). Se puede decir entonces que en la magnitud de los procesos de caída-descomposición de hojarasca influyen las características de los eco y agroecosistemas, tipo y arquitectura de la vegetación, arreglos de los subsistemas y distancias de las siembras (Díaz, 2009).

Al analizar la interacción sistemas*épocas de evaluación se encontraron los siguientes resultados consignados en la Tabla 6.

Tabla 6. Medias de los desdoblamientos de las interacciones significativas época climática*especies en el SAF para cantidad de hojarasca (g/m²/mes). Evaluaciones en las épocas húmeda y seca (n=9).

Época de muestreo		Época húmeda	Época seca	Medias
Fuente de variación	Tratamientos	Cantidad de hojarasca g/m ² /mes		
Especies en el SAF	Cacao	26,39a±2,55	24,41a±2,55	25,4a
	Yopo	22,18ab±2,55	18,36ab±2,55	20,27ab
	Acacia	18,63ab±2,55	10,38 b±2,55	14,37b
	Cacao-Yopo	23,88a±2,55	20,10ab±2,55	21,99ab
	Cacao-Acacia	22,67a±2,55	17,86ab±2,55	20,26ab
Medias		22,75a	18,22b	

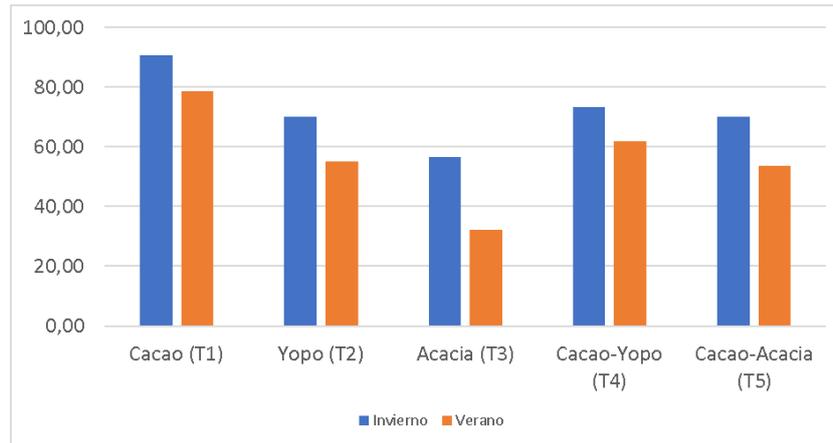
Medias con una letra común en líneas y columnas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados obtenidos de la interacción demostraron que la producción de hojarasca fue igual en la época húmeda y época seca para cacao presentando un valor más alto y en yopo, pero diferentes para los sistemas agroforestales cacao-yopo y cacao-acacia con una producción media, y en acacia que presentó la menor producción de hojarasca (Tabla 6). Este resultado mostraría las bondades de las plantaciones de cacao en la regulación de la caída de la hoja durante un semestre, como la de los sistemas agroforestales en el aporte de hojarasca al suelo. La caída de la hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas de la planta hacia el suelo (Schlatter et al., 2006). La hojarasca que cae al suelo forma un estrato orgánico conocido como mantillo, el cual cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y de humedad, y también permite que retornen elementos nutritivos en una cantidad importante (Schlatter et al., 2006).

De alguna manera, pueden existir comportamientos particulares de cada especie frente a las variaciones en el clima y su respuesta fisiológica, que no son objeto de análisis en esta

investigación debido a que no incluye el estudio de los efectos del clima sobre la fisiología del árbol y la abscisión de hojas. Sin embargo, las épocas húmedas ayudan a mantener un mayor almacenamiento de agua en los suelos que pueden incidir a mantener una producción más estable en la producción de la hojarasca (Figura 3).

Figura 3. Comparación de la producción de hojarasca entre la época húmeda y seca (gr/m2/mes)



Por otra parte, los SAF por la diversificación de especies logran regular una mayor producción de hojarasca en época húmeda que en época seca, que los sistemas solos como cacao y yopo. Los SAF desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad ya que son altamente productivos, crean interacciones entre plantas con los microorganismos presentes en el suelo, así como interacciones simbióticas o amensalistas entre diversidad de plantas y rendimiento del cultivo (Kieck et al., 2016).

Los sistemas agroforestales SAF de Cacao-Yopo y Cacao-Acacia, presentan diferencias significativas y sus medias son diferentes siendo el sistema Cacao Yopo (T4) el de mejor valor medio de producción de hojarasca; aquí se destaca que ambos sistemas presentaron una mayor producción en la época húmeda (Figura 2), debido posiblemente a que en estos sistemas la diversidad de las especies mejora la producción de biomasa. Por otra parte, Ramírez et al. (2007) en los bosques montanos Andinos de Antioquia (Colombia) y Quinto et al. (2007) en bosques pluviales en el Chocó (Colombia), observaron aumentos en la producción de hojarasca

asociados con los períodos de máxima intensidad de lluvias, debido al efecto mecánico producido por las gotas de agua, que, acompañadas de fuertes vientos, ocasionan el desprendimiento de hojas y otros componentes de la hojarasca de manera anticipada.

La comparación de los valores medios de la producción de hojarasca en la interacción sistemas-muestreos, indica que se presentaron diferencias significativas en los muestreos, en los diferentes sistemas (Tabla 7). Valores altos se encuentran en el Cacao a los 30 días o M1 (35,45 gr/m²/mes) y valores bajos en Acacia a los 60 días o M3 (11,96 gr/m²/mes). A lo largo del análisis, la Acacia y Cacao-Acacia presentaron los valores más bajos (Tabla 7). Los sistemas agroforestales producen mayor hojarasca en los primeros 30 días y luego baja la producción, sin embargo, se observa esa misma tendencia en todos los sistemas.

Tabla 7. Medias de los desdoblamientos de las interacciones significativas épocas de muestreo*tratamientos para la variable cantidad de hojarasca (g/m²/mes). Muestreos en la época húmeda y seca (n=6).

Época de muestreo		A los 30 días (M1)	A los 60 días (M2)	A los 90 días (M3)	Medias sistemas
		Cantidad de hojarasca (g/m ² /mes)			
Tratamientos	Cacao	34,45a±3,12	22,23abcd±3,12	19,52abcd±3,12	25,4a
	Yopo	31,42ab±3,12	14,54cd±3,12	14,86cd±3,12	20,27b
	Acacia	18,37bcd±3,12	13,17d ±3,12	11,96d ± 3,12	14,5c
	Cacao-Yopo	30,74ab±3,12	21,28abcd±3,12	13,95d ± 3,12	21,99b
	Cacao-Acacia	29,78abc±3,12	18,19bcd±3,12	12,83d ± 3,12	20,26b
Medias muestreos		26,95 ^a	17,88 ^B	14,62 ^C	

Medias con una letra común entre filas y columnas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Error:

58,4210 gl: 60

La estabilidad en el aporte de hojarasca en cacao en todos los muestreos con respecto a las otras especies, puede deberse primeramente a mayor número de árboles por ha. Según Burbano (1989), en áreas tropicales la producción de nueva fitomasa es equiparable a la deposición y descomposición de restos vegetales, de modo que en estas condiciones se tienen en estos ecosistemas un ciclo cerrado de elementos nutritivos. En este sentido las hojas desempeñan un papel importante en relación con la dinámica y estabilidad de estos ecosistemas, pues constituyen una fuente importante de energía y nutrientes para la edafofauna y las plantas.

Al analizar las interacciones de las épocas con los muestreos, se dieron diferencias significativas al 95%, sin embargo, consideramos importante discutir esta parte en las interacciones triples, donde se observa en la tabla 8 que no se muestra un patrón definido para épocas climáticas como para muestreos, solo en los primeras 4 producciones encontradas con los mayores valores correspondieron a época seca y M1 a los 30 días, y los últimos 5 menores valores encontrados a época seca y M3 a los 60 días (Tabla 8). Con base en este resultado, la medición de la producción de hojarasca en el sistema agroforestal no se puede inferir a un año, a partir de datos parciales. Para calcular la producción anual de hojarasca se deben realizar muestreos mensuales, dado que ésta es diferente en cada periodo estacional, para cada especie y probablemente para cada sistema de producción. Los muestreos generan información sobre la cantidad de hojarasca que producen las especies o conjuntos de especies. También se afirma que la variación se debe a respuestas fenológicas de las plantas relacionadas con el nivel del agua en el suelo, evapotranspiración e insolación (López y Ezcurra, 1985), sincronía entre la superficie foliar transpiradora y la humedad edáfica (Tapia-Coral, 2004; Di Stefano y Fournier, 2005).

El análisis realizado permitió descartar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna y reconocer que los efectos de los factores especies en el sistema, época climática y muestreo tienen efectos diferentes sobre la producción de hojarasca. Los análisis de varianza y las

pruebas de comparación de Tukey confirman que las observaciones realizadas respecto de las épocas de evaluación presentaron diferencias significativas en la producción de hojarasca durante la época húmeda y seca, y se dio variación de la producción mensual de hojarasca dependiendo de la especie en el sistema agroforestal (Tabla 8).

Tabla 8. Medias de los desdoblamientos de las interacciones significativas tratamientos*épocas de muestreo*muestreos para la variable cantidad de hojarasca (g/m2/mes). Prueba de tukey (n=3).

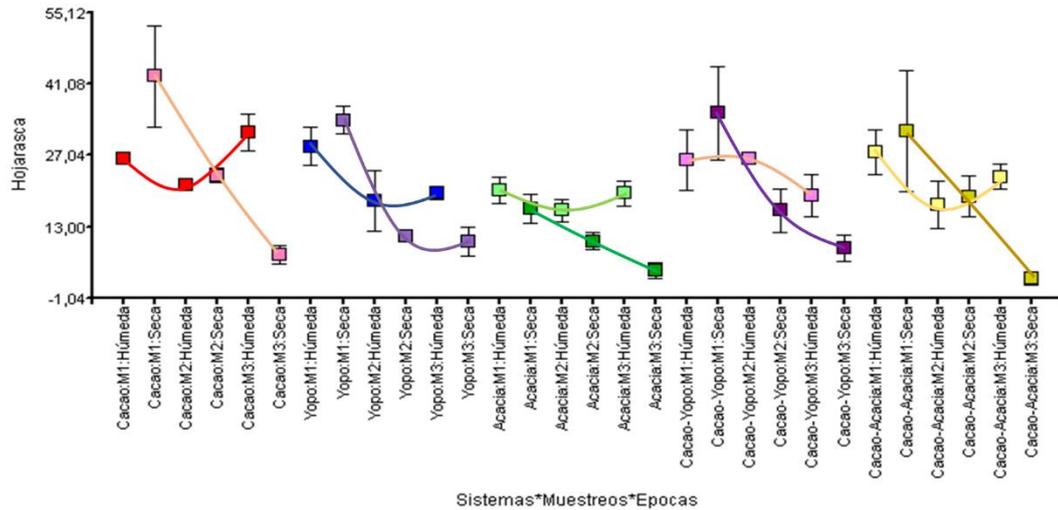
Época climática		Época húmeda			Época seca		
Época de muestreo		M1	M2	M3	M1	M2	M3
Tratamientos	Cacao	26,31 abcdef	21,34 abcdef	31,53 abcd	42,60 a	23,13 abcdef	7,50 def
	Yopo	28,84 abcde	18,08 abcdef	19,63 abcdef	34,01 abc	11,00 bcdef	10,08 cdef
	Acacia	20,16 abcdef	16,17 bcdef	19,54 abcdef	16,58 bcdef	10,17 cdef	4,38 ef
	Cacao-Yopo	26,11 abcdef	26,37 abcdef	19,16 abcdef	35,37 ab	16,19 bcdef	8,74 def
	Cacao-Acacia	27,68 abcde	17,45 bcdef	22,88 abcdef	31,88 abcd	18,93 abcdef	2,77 f

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Error: 58,4210 gl: 60

La Figura 4 que combina los factores Sistema, Época y Muestreo puede distinguirse que en los Sistemas Cacao, Yopo, Cacao-Yopo y Cacao-Acacia forman una equis, en unos más pronunciada y larga que en otros donde se obtienen las producciones de hojarasca más altas, por su parte, acacia forma un vértice de poca amplitud y tendencia a la baja cantidad de hojarasca, pero no se muestra una tendencia en las interacciones debida a las especies en el sistema, épocas climáticas y épocas de muestreo (Figura 4). En otras palabras, cada especie presentó un pico de producción en tiempos diferentes no coincidiendo con periodos de humedad y sequía (Tabla 8). La mayor o menor producción de esta depende de factores naturales no manejables por el hombre como es el clima y la respuesta de la especie a las condiciones variantes durante el día y durante el año; depende de los factores fisiológicos

imperantes en la planta y su correlación con el clima; por ello, no se puede garantizar la caída y colecta uniforme de hojas.

Figura 4. Interacción de los sistemas con muestreos y épocas para las épocas húmeda y seca.



La época seca favoreció la producción de hojarasca a los 30 días en cacao, yopo y los SAF Cacao-yopo y Cacao-Acacia, pero no a los 60 días. El patrón de distribución de los aportes de material vegetal en las trampas fue mayor en las temporadas secas para estas especies en el sistema; similar a lo registrado por Madge (1965). En otros trabajos, la producción mensual de hojarasca en selvas primarias y secundarias de los sistemas tropicales está influenciada principalmente por la precipitación que puede predecir la tendencia en la caída de hojas (Martius et al., 2004; Barlow et al., 2007). Las mayores diferencias se dieron entre cacao, en época seca a los 30 días de evaluación con cacao-acacia a los 60 días en época seca ($P \leq 0.05$). Teniendo en cuenta la densidad de plantas, el mayor aporte de hojarasca lo realiza el cacao por tratarse posiblemente del cultivo principal, ya que el número de plantas es mayor a las demás especies involucradas en cada uno de los tratamientos, coincidiendo con Gómez et al. (2007). Sin embargo, se resalta la importancia que tienen los sistemas agroforestales cacao-yopo y cacao-acacia en la producción de hojarasca en época seca en los primeros 30 días de evaluación. Los cambios climáticos causan incrementos en la senescencia de las hojas, provocando mayor

defoliación y por ende mayor aporte de hojarasca en las épocas secas del año (Paredes, 2004). Esto hace que las especies diferentes a cacao tenga la capacidad de perder y formar hojas nuevas en periodos de tiempo más cortos comparados con otras especies como el cacao como soportado por Gómez et al. (2007). El alto porcentaje de hojas en la producción de hojarasca le permite a los SAF, acumular altas cantidades de materia orgánica y de esta manera retornar importantes cantidades de nutrientes al suelo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las especies en el arreglo agroforestal influyen en la producción de hojarasca. Cacao es un sistema que favorece la alta producción de hojarasca en el sistema agroforestal debido a mayor número de árboles, los sistemas agroforestales de cacao-yopo y cacao-acacia debido a la diversidad de especies en el sistema aumenta la producción de hojas. Cada especie vinculada en un sistema agroforestal tiene su propia respuesta al arreglo forestal, a las condiciones edáficas y climáticas.

La producción total de hojarasca es diferente para cada época climática, siendo mayor en la húmeda que en la seca. De ahí que, la época húmeda y la época seca determinan y definen el comportamiento fisiológico de las especies.

Los muestreos de hojarasca mensuales tienen efecto en el comportamiento de producción de hojarasca de los sistemas, siendo que los mayores aportes se dieron en los primeros 30 días de evaluación que a los 60 y 90 días. La investigación comprueba que las especies desarrollan procesos fisiológicos diferentes en cada época; en el caso de la hojarasca, la producción de esta depende de los procesos de stress fisiológico, el tiempo que tarda la planta en translocar los nutrientes y la abscisión natural de hojas.

El análisis de tukey por la interacción sistema*época climática mostró que tanto en época húmeda y seca acacia es el de menor producción de hojarasca, y cacao como los SAF los de mayor producción de hojarasca en época húmeda.

Las interacciones triples muestran que no se da un patrón definido en cuanto a especie del sistema agroforestal, época climática y muestreo en la producción de hojarasca, sin embargo, cacao y los SAF de cacao-yopo y cacao-acacia en época seca a los 30 días produjo una mayor cantidad de hojarasca que a los 90 días. En este caso, la producción de hojarasca es una manera indirecta de conocer la respuesta de las especies a las condiciones cambiantes y la variabilidad del clima y el tiempo climático.

El cacao en SAF con yopo y acacia favorece la producción de hojarasca independientemente de la época climática y la época de muestreo.

RECOMENDACIONES

Dado que se demuestra que la época climática, seca o húmeda, afecta la producción de hojarasca, se consideraría pertinente, realizar estudios anuales en donde se corrobore la producción de hojarasca por época climática, y con los datos mensuales de algunos componentes del clima, como son: precipitación, brillo solar, Temperatura (media, máxima y mínima).

Al respecto, puede considerarse oportuno, estudiar el comportamiento de la producción de hojarasca contrastado con las épocas seca- húmeda, en contextos escenario niño-niña y cambio climático, y su efecto sobre la estabilidad y productividad de los sistemas agrícolas perennes.

REFERENCIAS

Álvarez, F., Rojas, J., & Suarez, J. C. (2012). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Corpoica*, 13(2), 145-150. Obtenido de <http://www.sci.unal.edu.co/pdf/ccta/v13n2/v13n2a04.pdf>

Álvarez-Sánchez, J., Harmon, M., 2003. Descomposición de hojarasca: hojas y madera. pp. 108-122. En: Álvarez-Sánchez, J., Naranjo-García, E. (Eds.), *Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Facultad de Ciencias. Instituto de Ecología, AC. México.

Atencia, J. D. (2013). Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades bioorgánicas del suelo en el valle medio del Río Sinú. Medellín: Universidad Nacional De Colombia.

Attiwill PM. 1968. The loss of nutrients from decomposing litter. *Ecology* 49: 142-145.

Backes A, FL Prates, MG Viola. 2005. Produção de serapilheira em floresta ombrófila mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botânica Brasilica* 19: 155-160.

Bolívar Vergara, D. M., Ibrahim, M., & Kass, D. (s.f.). Características Químicas de un Suelo Acido y Composición Mineral de *Brachiaria humidicola* bajo un sistema silvopastoril con

Acacia mangium. Recuperado el 12 de 02 de 2016, de https://books.google.com.co/books?id=ltcOAQAIAAJ&pg=PA1&lpg=PA1&dq=caracteristicas+quimicas+de+un+suelo+acido+y+composicion+mineral&source=bl&ots=glNxtE1KVG&sig=UwfnjvHarh8gGD1_JKkRc50HpPQ&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=caracteristicas%20quimicas

Bonilla, R., Roncallo, B., Jimeno, J., & García, T. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp, en Codazzi (Cesar). Corpoica, 5-11.

Burbano H. 1989. El suelo, una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Serie de investigaciones, Universidad de Nariño. Boletín de investigación No. 1. Pasto, Colombia. 190 p.

Castellanos Barliza, J., & León Peláez, J. D. (2011). Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia Mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Biología Tropical*, 113-128.

Cerda Bustillos, R. H. (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.

COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES. (2012). El Cultivo de Cacao: Paquete Tecnológico. Recuperado el 20 de 05 de 2016, de

https://chocolates.com.co/sites/default/files/default_images/paquete_tecnologico_cacao_cnch_enero_2012.pdf

Daza, E. B. (2018). Producción y aporte de nutrientes en la hojarasca de las especies abarco (*Cariniana piryformis* M), teca (*Tectona grandis* L.f.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal en los municipios de Rionegro, Santander y Muzo, Boyacá. Bogotá: Universidad De Ciencias Aplicadas y Ambientales.

Daza, E. Y. (2018). Producción y aporte de nutrientes en la hojarasca de las especies abarco (*Cariniana piryformis* M), teca (*Tectona grandis* L.f.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal en los municipios de Rionegro, Santander y Muzo, Boyacá. Universidad De Ciencias Aplicadas y Ambientales, 9.

Di Rienzo, j., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2018). Infostat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>

Díaz-Porres, M., 2009. Producción-descomposición de hojarasca y macroinvertebrados fragmentadores en cuatro agroecosistemas de la cuenca del río la vieja 31: 291-296.

Farfán Valencia, F., & Urrego, J. B. (2007). Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinua oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. Cenicafé, 20-39.

FEDECACAO. (2006). Proyecto Productivo de Inversión y Acompañamiento para el Establecimiento de 366 Hectáreas de Cacao Clonado para la Región del Ariari. Recuperado el 3 de 03 de 2016, de http://agronet.gov.co/www/docs_agronet/200681143319_cartillafipariari.pdf

Fedecacao. (24 de 01 de 2020). Obtenido de <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1109-el-cultivo-del-cacao-y-su-contribucion-al-medio-ambiente>

FINAGRO. (s.f.). 3. Producción y zonas de producción. Obtenido de <https://www.finagro.com.co/productos-y-servicios/informaci%C3%B3n-sectorial>

Foelkel C. 2008. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. Eucalyptus on line book and newsletter. Consultado 18 nov. 2008. Disponible en <http://www.eucalyptus.com.br/>

Gallardo, A., Covelo, F., Morillas, L., & Delgado, M. (2009). Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas*, 18(2), 4-19.

Gallardo A (2001) Descomposición de hojarasca en ecosistemas mediterráneos. En: Zamora RR, Pugnaire de Iraola FI (Eds.), *Ecosistemas Mediterráneos: Análisis funcional*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Asociación Española de Ecología Terrestre. Granada, pp. 94-122.

Gobernación del Meta - IGAC. (2004). *El Meta: un Territorio de Oportunidades*. Bogotá.

Gómez Restrepo, M. L., Murillo, T., & Lázaroauthor, J. (2007). Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque húmedo tropical. (pp 73) ISSN 2011-4087.

Google. (2017). Mapa Jardín Clonal Cacao de la sede Barcelona en la Universidad de los Llanos. Captura de imagen, Villavicencio. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@4.07297569,-73.58043685,384.59650948a,219.14638064d,35y,-0h,0t,0r>

ICA. (2012). Manejo Fitosanitario del Cacao: Medidas para la temporada invernal. Recuperado el 13 de 05 de 2016, de <http://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbsp;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>

IDEAM. (2016). Datos meteorológicos estación Unillanos. Villavicencio.

IDEAM. (2 de 4 de 2019). Atlas del Viento. Obtenido de Atlas Interactivo - IDEAM:
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

IGAC. (2004). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras, Departamento del Meta. Bogotá, Colombia.

Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry System*, 76, 1-10.

Laossi K, Barot S, Carvalho D, Desjardins T, Lavelle P, Martins M, Mitja D, Rendeiro A, Rousseau M, Velásquez E, Grimaldi M. 2008. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia* 51: 397- 407.

L. Vargas-Parra, A. V. (2007). Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural la planada (Nariño, Colombia). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Lee, Y.-K., & Woo, S.-Y. (2012). Changes in litter, decomposition, nitrogen mineralization and microclimate in *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* plantation in Mount Makiling Philippines. *International Journal of Physical Sciences*, 7(12), 1976-1985.

Leiva Rojas, E. I. (2012). Aspectos para la nutrición del Cacao *Theobroma cacao* L. Recuperado el 12 de 04 de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/50450/1/ednaivonneleivarojas.2012.pdf>

Luhende, R., Nyadzi, G., & Malimbwi, R. (s.f.). Annual Litter Fall of Nitrogen Fixing Tree Species in Rotational Woodlots at Tumbi (Tabora), Western Tanzania. Recuperado el 27 de 02 de 2013, de <http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/ja04178.pdf>

LUTHERAN WORD RELIEF. (2013). Aprendiendo e Innovando sobre el Manejo de Fertilidad de Suelos Cacaoteros. Recuperado el 20 de 04 de 2016, de http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/19_Guia_4_Fertilidad_de_Suelos.pdf

MADR - UNAL. (2007). Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de Cacao-Chocolate en Colombia. Recuperado el 15 de 02 de 2016, de http://www.bdigital.unal.edu.co/2111/1/Publicable_Agenda_Cacao.pdf

Orjuela Lozano, H. (2015). Caracterización Molecular, con Marcadores Rams, de Doce Clones de *Theobroma, Cacao* L., Recomendados para el Bosque Húmedo Tropical (Bh-T). Tesis (Magister en Producción Tropical Sostenible), Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Villavicencio.

Paredes, A. M. (2004). Ministerio de agricultura Programa para el desarrollo de la amazonia Proamazonia. Manual del cultivo de cacao. (pp 100). Obtenido de: <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/215.pdf>.

Pérez, R. (2002). Sistema Internacional de Unidades SI. Caracas: Scielo.

Ramírez-Correa, J.A., Zapata-Duque, C.M., León-Peláez, J.D., González-Hernández, M.I., 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en Bosques Montanos Andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* 32 (5): 303-311.

Reis MGF, NF Barros. 1990. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In Barros NF, RF Novais eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Brasil. Editora Folha de Viçosa. p. 265-302.

Rocha, A. G., & Ramirez, N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Ecología*.

Schlatter, J. E., Gerding, V., & Calderón, S. (2006). Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. Chile: Universidad Austral de Chile.

Schalatter J, Gerding V, Calderón S. 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*. Chile, *Revista Bosque* 27(2): 115-125.

Schessl, M., Da Silva, W.L., Gottsberger, G., 2008. Effects of fragmentation on forest structure and litter dynamics in Atlantic rainforest in Pernambuco, Brazil. *Flora* 203: 215- 228.

Díaz-Porres, M., Feijoo, A., Zúñiga, M.C., 2006. Valoración del uso de la fauna silvestre en el municipio de Alcalá, Valle del Cauca. *Scientia et Technica* 31: 291-296.

Sadeghian, S., 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Guía práctica. Cenicafé-FNC. Chinchiná, Colombia. 44 p.

Sánchez, L.; Parra, D.; Gamboa1, E.y Rincón, J. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con N P K, en el sureste del estado Táchira, Venezuela. En: Bioagro 17(2): 119-122. Nota Técnica.

Satizabal, A. (1993). Producción de hojarasca y descomposición de materia orgánica de un manglar de ribera de Nariño, Costa Pacífica. Colombia: Boletín científico CCCP.

Somarriba E, Beer J. 2011. Productivity of Theobroma cacao agroforestry Systems with timber or legume service shade trees. Agrof Syst 81: 109-121.

Sugimoto, M., Ohta, S., Ansori, S., & Arisman, H. (2013). Nutrient dynamics via litterfall and litter decomposition on the forest floor of an *Acacia mangium* Willd. stand in Sumatra. Tropics, 22(2), 67-81.

Rangel Mendoza, J. A., & Silva Parra, A. (2020). Sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. afectan la calidad del suelo y la hojarasca. *Colombia Forestal*, 23(2), 75-88. <https://doi.org/10.14483/2256201X.16123>

Tapia-Coral, S.C., 2004. Macro-invertebrados do solo e estoques de carbono e nutrientes em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia Peruana. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Brasil.

Uribe, A., H. Méndez y J. Mantilla. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. Revista Suelos Ecuatoriales, 28:31-36.

Universidad de los Llanos. (2016). Distribución de clones en el jardín clonal de cacao. Universidad de los Llanos, Facultad Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Villavicencio.

Universidad de los Llanos. (2016). Distribución de especies y clones en el jardín clonal de cacao en la Granja de la Sede Barcelona. Documento de trabajo, Universidad de los Llanos, Facultad Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Villavicencio.

Valdez, M. E. (2017). Aporte y descomposición de hojarasca en bosques templados de la región de El Salto, Durango. México: Revista Mexicana de Ciencias Forestales.

Valencia, F. F. (2014). Agroforestería y sistemas forestales con café. Federación Nacional de Cacaoteros De Colombia.