

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y ECOLÓGICAS  
POSTGRADO EN ECOLOGÍA TROPICAL**

**LA HOJARASCA Y SU PAPEL EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN DOS  
ECOSISTEMAS Y AGROECOSISTEMAS DE LOS ANDES VENEZOLANOS**

**Lic. Franklin José Montilla**

**Tutora:  
Dra. Michele Ataroff Soler**

**Mérida – Venezuela  
Junio 2009**

## VEREDICTO

Quienes suscriben, integrantes del jurado designado por el Consejo de Estudios de Postgrado de la Universidad de los Andes para conocer y emitir veredicto sobre el **Trabajo de Grado de Maestría** presentado por **Franklin José Montilla**, realizado bajo la tutoría de la Dra. **Michele Ataroff Soler** presentado como requisito parcial para optar al título de **Magister Scientiae en Ecología Tropical**, que se titula:

**“La Hojarasca y su Papel en la Erosión Hídrica en dos Ecosistemas y Agroecosistemas de Los Andes Venezolanos.”**

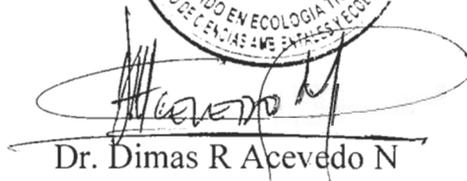
Hacen constar lo siguiente:

**PRIMERO:** que hoy 30 de marzo de 2009 a las 3:00 p.m., nos constituimos como jurado en el salón de reuniones del Postgrado en Ecología Tropical, siendo la Presidenta del Jurado la Dra. Michele Ataroff Soler. **SEGUNDO:** a continuación procedimos a discutir si se lleva a cabo su defensa pública. Luego de considerar las observaciones críticas de cada miembro del jurado, acordamos por unanimidad autorizar su presentación. **TERCERO:** A las 3:30 p.m. de éste mismo día, se dio curso al Acto Público de sustentación del Trabajo de Grado de Maestría presentado a requerimiento del jurado en el Salón A-08 de la Facultad de Ciencias. **CUARTO:** Una vez concluida la sustentación correspondiente, el jurado interrogó al aspirante sobre los diversos aspectos a que el Trabajo se refiere. **QUINTO:** Seguidamente la Presidenta del Jurado invitó al público asistente a formular preguntas y observaciones sobre el Trabajo presentado. **SEXTO:** Una vez concluido el acto de presentación y discusión, el jurado procedió a su deliberación final y decidió aprobar el Trabajo de Grado de Maestría a nuestra consideración.



Dra. Michele Ataroff Soler

**Tutora**



Dr. Dimas R Acevedo N

**Jurado**



Dra. Lina Sarmiento

**Jurado**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todopoderoso por dame la fuerza, la sabiduría, la paciencia y ayudarme con la salud en todo momento.

A la profesora Michele Ataroff por mí acogida al postgrado, por sus valiosos estímulos y consejos brindados en los momentos más difíciles de este postgrado.

A los profesores del postgrado de ecología tropical del ICAE por el apoyo que me han brindado a lo largo de este periodo.

A los profesores Fernando Delgado, Lina Sarmiento, Dimas Acevedo y Mario Fariñas por su valiosas contribuciones y sugerencias en el desarrollo de este proyecto.

Al Concejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes por el financiamiento parcial de este proyecto bajo el código C-1439-06-01-EM.

A INDEFOR, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, por permitir la ejecución y desarrollo de este proyecto en el Bosque Experimental San Eusebio, La Carbonera.

A los señores (as) Ignacio Dugarte, Francisco Dragarte, Edesio Angulo, Eugenio Mora, Teresa Márquez de Mora, José Mora, Edy Vallesta, Dolores Rojas, Francisco González, y a todas aquellas personas de los Sectores El Chorotal y Monte Bello Alto, por su apoyo al desarrollo de este proyecto.

A mis amigos y compañeros de trabajo, Nacha, Ligia, Luís, Carmen, Mary, Carlos, María, Pedro, Yoleyda, Luz, Erika, Duilmer, Richard, Gladis, Franklin, Nelson, Roger, Mery, Edén, Mirella, Noris, Maritza, Eleida, Magdalena y Zonia, por su apoyo, comprensión y amistad.

A mis hermanos y amigos, Darwin, Álvaro, Jean Carlos, Andrés, Carlos Javier, Nancy, Idalba, Luís Francisco, Ivo, Cesar, Yunior, Leo, William, Gaby y Gollito, José Ignacio, Orlando, Richard y Omar por el arduo trabajo que realizamos en la instalación de los equipos. Sin su ayuda nada hubiese sido posible.

A los técnicos del laboratorio del ICAE, Jhonny, Francis, Zulay, Willians y Darcy por su trabajo de campo y de laboratorio.

A las familias Dugarte Acevedo, Angulo Graterol y Mora Márquez, por la recepción y alojamiento durante la fase de campo, Dios se los multiplique.

A mi madre María Bernarda por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional que me brinda a diario. Dios te pague Mamá.

Y quiero dedicar muy especialmente este trabajo a mi bella y amada Andreina como el tesoro mas hermoso que surgió de esta investigación en el lecho de la selva nublada, por su paciencia, comprensión, ayuda en campo y en el laboratorio. Gracias mi perla encantadora.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	12
1.2 Objetivos	13
2. METODOLOGÍA	14
2.1 Descripción del área de estudio	14
2.1.1 Selva nublada	14
2.1.2 Selva húmeda submontana	16
2.1.3 Pastizal de Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	17
2.1.4 Cultivo de Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> )	19
2.2 Fase de campo y de laboratorio	21
2.2.1 Precipitación	21
2.2.2 Intercepción de la precipitación	24
2.2.3 Instalación de Parcelas de Erosión	24
2.2.4 Escurrimiento superficial y pérdida de la FOM	25
2.2.5 Dinámica de la hojarasca	31
2.2.5.1 Hojarasca inicial	31
2.2.5.2 Producción de hojarasca	31
2.2.5.3 Porcentaje de cobertura a ras del suelo	32
2.2.6 Análisis estadístico	32
3. PRECIPITACIÓN Y ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	
3.1 RESULTADOS	33
3.1.1 Selva nublada	33
3.1.2 Pastizal de kikuyo	40
3.1.3 Selva húmeda submontana	44
3.1.4 Cultivo de cacao	49
3.1.5 Comparación entre sistemas	53
3.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	56

4. DINÁMICA DE LA HOJARASCA	
4.1 RESULTADOS	59
4.1.1 Hojarasca inicial	59
4.1.2 Producción de hojarasca	60
4.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	65
5. FRACCIÓN ORGANOMINERAL	
5.1 RESULTADOS	72
5.1.1 Pérdida de fracción organomineral en la selva nublada	72
5.1.2 Pérdida de FOM en el pastizal	78
5.1.3 Pérdida de FOM en la selva húmeda submontana	82
5.1.4 Pérdida de fracción organomineral en el cultivo de cacao	86
5.1.5 Comparación entre sistemas	90
5.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	94
6. CONCLUSIONES	100
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
8. ANEXOS	113

## RESUMEN

Las selvas de los Andes venezolanos han sido transformadas de manera acelerada por el hombre, convirtiéndolas mayormente en áreas para cultivos y ganadería, con suelos más expuestos al impacto de las precipitaciones, generándose un problema de degradación de los suelos por erosión hídrica, el cual está íntimamente relacionado con la dinámica de la hojarasca. La hojarasca ha sido reportada como el componente de los sistemas que garantiza la amortiguación del impacto de las gotas de precipitación vertical y neta, evitando la disgregación del suelo superficial. Sin embargo, pocos estudios evalúan el verdadero impacto de la hojarasca natural. Este estudio está enfocado en la evaluación del papel de la hojarasca en el escurrimiento superficial y en la erosión hídrica laminar en dos selvas montañas, selva nublada y selva húmeda submontana y sus principales sistemas de reemplazo, pastizal de Kikuyo y cacaotal, ubicados en la vertiente Norte de los Andes venezolanos a 2286 msnm en el bosque experimental San Eusebio y a 550 msnm en Monte Bello, Tucaní, Estado Mérida. Durante un año se midió: precipitación vertical, precipitación neta, escurrimiento superficial y pérdida de la fracción organomineral (FOM) en dos tratamientos: con hojarasca (CH) y sin hojarasca (SH), así como cantidad de hojarasca caída. Para medir la precipitación neta se usó pluviómetros acanalados en "V" distribuidos al azar en cada ambiente (excepto en el pastizal). La pérdida de la FOM y el escurrimiento superficial se cuantificó utilizando parcelas de erosión CH y SH. Con las muestras de sedimentos se determinó el peso seco de la FOM. La producción de hojarasca ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) se cuantificó usando la superficie de suelo de las mismas parcelas de erosión. Finalmente se hizo un análisis comparativo (Anova,  $p=0,05$ ) de los flujos hídricos de precipitación y el efecto de la hojarasca en los montos de erosión laminar y escurrimiento superficial. En esta investigación se espera que la eliminación de la hojarasca aumente las pérdidas de FOM y el escurrimiento superficial, siendo mayor en los agroecosistemas por poseer menor cantidad de hojarasca. En efecto, los resultados demostraron que la eliminación de la hojarasca provocó incrementos significativos ( $p<0,05$ ) en los montos de pérdida de FOM en todos los sistemas, mientras que el escurrimiento superficial solamente mostró diferencias significativas en los

agroecosistemas y no en las selvas ( $p > 0,05$ ). En contraposición, el efecto de la hojarasca sobre el escurrimiento no fue determinante en las selvas. El escurrimiento en el tratamiento CH y SH fue de 1,1 y 0,9% del total de la precipitación vertical, 1618,5 mm en la selva nublada; 1,9 y 1,9% de 3203 mm en la selva húmeda submontana; 5,2 y 14,1% de 1547 mm en el pastizal; y 15,5 y 18% de 3379mm de precipitación en el cacaotal. Las selvas originales presentaron menores pérdidas de FOM que los agroecosistemas; con, 0,35 y 0,46 CH  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  SH selva nublada; 0,34 y 3,80  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  selva submontana; 0,39 y 1,31  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  pastizal y 2,01 y 15,03  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  el cacaotal. Los tratamientos SH tuvieron pérdidas de FOM mayores en la selva submontana y en el cacaotal, que la selva nublada y el pastizal, con 15  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  SH en el cacaotal y 3,8  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  SH en la selva submontana. La interceptación por la cobertura de vegetación fue estimada en 35,3% para la selva nublada, 42,5% para la selva submontana y 32% para el cacaotal. Así mismo, las selvas fueron las que presentaron los mayores montos de producción de hojarasca, con 8,87 y 7,95  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  correspondiendo el mayor de ellos a la selva nublada, mientras que los agroecosistemas presentaron los valores mas bajos, 4,72 y 4,65  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , representando el cacaotal el menor.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es una realidad evidente y común en muchas regiones tropicales del mundo el hecho de que grandes extensiones de sus tierras montañosas se encuentran intervenidas, formando parte de ámbitos socioeconómicos muy heterogéneos y dinámicos en los cuales se desarrolla una intensa actividad productiva con base en la agricultura, la ganadería y la explotación de recursos de biodiversidad, además de otras actividades socioproductivas. Éstas juegan un papel económico y social relevante, tanto en el contexto local, regional así como nacional, y necesitan ser reorientadas y ordenadas en función de garantizar una productividad sostenible tanto de los sistemas naturales como de los transformados (Delgado, 2001).

Las selvas tropicales cubren aproximadamente el 7% de la superficie del planeta y cada vez se hacen más vulnerables ante la creciente tasa de deforestación como consecuencia de perturbaciones antrópicas aceleradas, transformándolas en sistemas de reemplazo, mayormente pastizales para ganadería y en áreas de cultivos, creándose así, ambientes con suelos cada vez más expuestos al potencial erosivo de las precipitaciones y propensos a la degradación (Kattan y Guariguata, 2002).

En Venezuela, el deterioro de los suelos avanza rápidamente, como consecuencia de la transformación de los sistemas naturales a agrosistemas. La región de los Andes no escapa de esta realidad (Rodríguez, 2005), haciéndose necesario la realización de investigaciones que contribuyan al establecimiento de medidas de prevención y control, sobre la base de un buen conocimiento de los procesos de degradación y de los recursos afectados (Pérez y López, 2000). La región de los Andes es considerada como zona de alta fragilidad debido a sus condiciones geomorfológicas, abruptas pendientes e inestabilidad geológica de los sustratos y a la influencia de actividades agrícolas y pecuarias, presentando un problema de degradación de los suelos por erosión hídrica (Sánchez *et al.*, 2002). Según Rodríguez (2005) las áreas de selvas naturales de la cuenca del

río Capaz en los Andes venezolanos han sido transformadas de manera acelerada por el hombre en los últimos años, convirtiéndolas en áreas de cultivos, en su mayoría pastizales, cafetales o cacaoales entre otros. Los factores que influyen en la degradación de un suelo dependen de su vulnerabilidad natural a un determinado tipo de degradación y de la intervención humana en acelerar dicho proceso (Páez *et al.*, 1992).

El problema de la degradación de los suelos por erosión hídrica, entre otros efectos, se traduce en una disminución de la calidad y del espesor del horizonte superficial del suelo, aumento del escurrimiento superficial, pérdida de la fracción organomineral y en consecuencia desmejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo (Forti, 1999). Este problema de erosión hídrica está íntimamente relacionado con la dinámica de la hojarasca (Betancourt 2004, Campbell *et al.*, 2004, Forti 1999, Sánchez *et al.*, 2002), dependiendo marcadamente del grado de protección del suelo ofrecido por la cobertura de vegetación, así como de su hojarasca, la cual mitiga el impacto de la precipitación vertical y neta tanto en ambientes naturales como transformados, disminuyendo por ende el efecto de la agresividad de la lluvia sobre el suelo (Pérez y López, 2000, Ataroff y Sánchez, 2000).

La erosión es un proceso continuo que conduce a la degradación física del suelo y consiste en la separación, transporte y sedimentación de partículas y agregados de la masa del suelo por un agente activo que suele ser el agua, el viento, la gravedad o el hielo. Si el agua es el principal agente activo que genera la erosión ésta se clasifica como erosión hídrica. Los daños causados por la erosión varían con el tipo de erosión. Según Páez *et al* (1992) existen varios tipos de erosión hídrica:

- **Erosión física o enlodamiento:** Ocurre en condiciones de tierras planas, en las cuales aun cuando hay desprendimiento y disgregación de los agregados del suelo, no existe arrastre del material separado, por lo cual las partículas finas y coloidales separadas se mueven junto con

el agua por los poros del suelo, causando compactación o se depositan orientadas en la superficie formando un sello superficial, que en condiciones secas pueden generar encostramiento. El mecanismo responsable es el salpique. Se manifiesta en una degradación de la estructura del suelo.

- **Erosión de fertilidad:** ocurre en los suelos de texturas gruesas y pendientes suaves. En estas condiciones el arrastre es diferencial, transportándose solo las partículas muy finas y coloidales liberadas durante el proceso de separación, debido a la muy baja energía del flujo laminar.
- **Erosión concentrada:** en este tipo de erosión ocurre el desprendimiento y el arrastre de grandes masas de suelo por el flujo concentrado. Puede iniciarse en forma de erosión en surquillos, evolucionando en etapas posteriores a fases más avanzadas (surcos o cárcavas).
- **Erosión laminar:** en este tipo de erosión ocurre tanto la separación como el transporte en magnitudes similares además de los problemas acarreados por la erosión física se presentan problemas relacionados con la pérdida de la profundidad del perfil, debido al suelo transportado por el escurrimiento superficial.

La erosión hídrica puede ser analizada desde varios puntos de vista, como pérdida de la capacidad productiva de los suelos, producción de sedimentos o como un factor de degradación ambiental, ocasionando una disminución de la capa arable y de la profundidad efectiva del suelo y en consecuencia generando el afloramiento de horizontes subsuperficiales. Las pérdidas por erosión hídrica laminar pueden expresarse en unidad de peso por unidad de área en un determinado tiempo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) o en el espesor de la lámina de suelo perdido en un determinado tiempo ( $\text{mm año}^{-1}$ ), siendo la conversión entre ambos tipos (peso o espesor) dependiente mayormente de la densidad aparente del suelo (Páez *et al*, 1992).

La erosión hídrica laminar, a pesar de no ser fácilmente detectable a simple vista, no deja de ser importante, ya que significa una salida de fracción organomineral y de nutrientes del sistema. El escurrimiento superficial es el agua que no logra penetrar al suelo por infiltración y se desliza en forma de lámina delgada sobre la superficie del mismo. Es el principal agente activo del proceso de transporte en la erosión hídrica laminar. Su poder de transporte es función de su capacidad de mantener partículas a flote y de su turbulencia, alcanzando su máximo poder cuando su altura es aproximadamente igual al diámetro de la partícula transportada. Su poder de separación depende de su energía, la cual es muy inferior a la de la lluvia (Páez *et al.*, 1992). La erosión hídrica laminar es función de la erosividad de las lluvias, la cobertura de la vegetación, la hojarasca, longitud y grado de la pendiente y de la erosionabilidad del suelo (López, 2002).

La erosividad se refiere al potencial de la lluvia para disgregar y separar las partículas y agregados del suelo, dejándolos en disposición a ser transportados por el agua de escurrimiento. La erosionabilidad se refiere a la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Está determinada por tres propiedades intrínsecas del suelo: la separabilidad o susceptibilidad del suelo a ser separado, la transportabilidad o susceptibilidad del suelo a ser transportado y el riesgo de escurrimiento (López, 2002).

Dado que el problema de la degradación de los suelos por erosión hídrica laminar está íntimamente relacionado con la dinámica de la hojarasca (Campbell, *et al.* 2004), se considera que la magnitud de tal erosión en los sistemas estudiados depende en gran medida de la cantidad de hojarasca que cubre la superficie de suelo de esos sistemas.

Unos de los papeles de la hojarasca es regular la dinámica hídrica y la erosión de los suelos por su efecto de:

- protección contra el impacto de la gota de lluvia al disipar la energía cinética cuando llega al suelo (Fernández, 1994; Roose, 1996; Hartanto *et al.*, 2003),
- intercepción del agua que llega al suelo y regulación del flujo superficial (Ataroff y Monasterio, 1997; Ataroff y Rada, 2000),
- contribución al mejoramiento de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Giordani *et al.*, 2002),
- promoción del aumento del complejo de raíces superficiales que amarran la masa del suelo (Del Valle, 2003) haciéndolo menos vulnerable a la erosión,
- por ser fuente de carbono para la síntesis del humus, contribuye a aumentar la porosidad del suelo y su capacidad de infiltración (Campbell *et al.*, 2004),
- disminución de la evaporación y mejoramiento del balance hídrico del suelo (Delgado, comunicación personal, 2006)

Existen pocos estudios realizados en cuanto al papel de la hojarasca en el proceso de erosión hídrica en ecosistemas y agroecosistemas de montañas tropicales, los valores registrados por algunos investigadores citados en este trabajo, en su mayoría con mulch (residuos de origen vegetal aplicados como cobertura continua sobre la superficie del suelo) en agroecosistemas reflejan una común tendencia a ocurrir las menores pérdidas de suelo y escurrimiento superficial en aquellos ambientes con mayor cobertura del suelo.

El uso del mulch como capa de residuos que cubre la superficie del suelo (reemplazando la hojarasca natural) puede ayudar al control de la erosión y proveer una alternativa sostenible como práctica de manejo de los suelos. Así lo refleja las diferentes investigaciones en erosión reportadas en la literatura, usando el mulch como una hojarasca continua y artificial, bajo ciertas condiciones: climáticas, topográficas, coberturas de vegetación, cobertura a ras del suelo (hojarasca o mulch) uso y manejo de los suelos, con el propósito de determinar la cantidad de suelo perdido por unidad de tiempo. Demostrándose

con ello que existe una relación inversa entre la pérdida de suelo por erosión hídrica laminar y el porcentaje de cobertura de mulch; es decir, a medida que aumenta la cobertura de mulch disminuye la masa de suelo separado y desplazado por el escurrimiento superficial (Faucette *et al.*, 2004). Al respecto, Singer *et al* (1981), en una investigación con el objetivo de medir el efecto del mulch sobre la pérdida de suelo por salpique bajo lluvias simuladas de 76 mm h<sup>-1</sup>, encontraron que en las parcelas de suelo desnudo la pérdida de suelo por salpique fue mayor (0,07 Mg ha<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) en comparación con las cubiertas con mulch. Con 55% de cobertura, el suelo perdido fue de 0,03 Mg ha<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, mientras que con un 96% de cobertura de mulch el suelo salpicado fue de 0.005 Mg ha min.<sup>-1</sup>. Demostrando con ello que la cobertura de residuos (mulch) protege al suelo del efecto de la energía cinética de las gotas de lluvia, mitigando así el impacto de éstas sobre el suelo.

Por lo general las investigaciones sobre el efecto mulch - pérdida de suelo, se han hecho en agroecosistemas. En este sentido, Gantzer *et al* (1987) analizaron los efectos de los residuos de la descomposición del maíz y sorgo en la resistencia del suelo y la separación por salpique bajo lluvia simulada con intensidad promedio de 70 mm h<sup>-1</sup>. Los análisis demostraron que la incubación de laboratorio de suelo disturbado con residuos de maíz y sorgo disminuyó la separación por salpique. Adiciones de residuos de maíz y sorgo mezclado con el suelo incrementaron la estabilidad del suelo disminuyendo con ello el suelo salpicado. También Maass *et al* (1988) encontraron un valor alto de pérdida de suelo >100 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un cultivo de maíz y una menor pérdida se registró en el suelo cubierto con mulch (5,8 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Así mismo, con el propósito de determinar el efecto de la labranza y los residuos en superficie sobre la erosión hídrica en suelos de Venezuela, Rodríguez y Páez (1989, citado por Fernández, 1994) obtuvieron las menores pérdidas de suelo con las mayores cantidades de residuos, utilizando residuos de paja como mulch con intensidades promedios de lluvias de 60 mm h<sup>-1</sup>.

Faucette *et al* (2004), con el objetivo de investigar la cantidad de suelo erosionado, escurrimiento superficial y pérdida de nutrientes en una variedad de tratamientos de compost y mulch bajo lluvia simulada, obtuvieron que todos los tratamientos fueron efectivos para reducir tanto la pérdida de suelo, el escurrimiento superficial y la pérdida de nutrientes del suelo en comparación con el tratamiento de suelo desnudo. La pérdida de suelo del tratamiento de suelo desnudo fue mayor ( $6,46 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) en relación a los tratamientos de suelo cubierto con compost y mulch. A su vez, los tratamientos con mulch (aserrín fino, aserrín medianamente fino y desechos de jardín) presentaron menores pérdidas de suelo ( $0,06 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;  $0,08 \text{ Mg ha}^{-1}$  y  $0,04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) y de escurrimiento superficial (1,94; 2,67; y 3,67 mm) en comparación con los tratamientos de suelo cubierto con compost (4,1 mm).

En un bosque de *Dipterocarpus* de dosel cerrado con pendientes de  $30^\circ$ , Hartanto *et al* (2003) concluyen que la combinación de la capa de hojarasca y el complejo de raíces superficiales son los factores más importantes en la protección de la superficie de suelo, reduciendo las pérdidas de suelo por el salpique y la escorrentía superficial. Ellos determinaron que la remoción de la capa de hojarasca y las raíces superficiales incrementa de 6 a 20 veces la escorrentía y la pérdida de suelo respectivamente, comparado con el piso intacto del bosque. El porcentaje de cobertura del suelo (incluyendo al mulch) tiene una influencia directa en el proceso erosivo mayor que cualquier otro factor individual (Fernández, 1994). No obstante, la erosión hídrica laminar está influenciada por la integración de múltiples factores internos y externos del suelo: (i) clima, (ii) cobertura del suelo, (iii) características del suelo, (iv) características topográficas, especialmente la pendiente, (v) y el manejo de la tierra (López, 2002).

La vegetación de los ecosistemas y agroecosistemas (principalmente los agroforestales) de los Andes venezolanos producen una cantidad y diversidad de hojarasca que se va acumulando y descomponiendo paulatinamente sobre la superficie del suelo formando un manto (Hernández, 2005) al que se le

confieren atribuciones particulares en el control de la erosión (Ataroff y Monasterio, 1997). Al respecto, Fassbender y Grimm (1981) en un estudio en La Carbonera reportaron  $6,96 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de hojarasca caída, con una distribución estacional con la ocurrencia de hasta tres picos máximos. Así mismo, Ramírez y Ataroff (2001) encontraron en la selva nublada La Mucuy, ubicada a 2350 msnm de altitud en el Parque Nacional Sierra Nevada, Estado Mérida, una producción de  $7,71 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

La hojarasca ha sido reportada como el componente de los sistemas que garantiza la amortiguación de la energía cinética de las gotas de lluvia, tanto vertical como neta, con lo cual evita la disgregación de los primeros centímetros del suelo (Gómez 1990, Páez y Rodríguez 1995, Urbina y Rodríguez 1995, Roose 1996). Sin embargo, muy escasos estudios evalúan el verdadero impacto protector de la hojarasca natural. Este estudio está enfocado en evaluar el papel de la hojarasca en la erosión hídrica laminar en dos ecosistemas y sus dos agroecosistemas de reemplazo más comunes, ubicados en la vertiente norte de los Andes venezolanos (vertiente húmeda \_ vh); a saber: selva nublada y pastizal de kikuyo, selva húmeda submontana y cacaotal. A continuación se hace una descripción general de estos sistemas.

#### ❖ **Selva nublada**

La selva nublada altitudinalmente está distribuida entre los 1800 y 3000 m, enmarcando el límite superior del bosque continuo. En Los Andes venezolanos se han reconocido dos tipos a los que suele llamarse selva nublada montano alta y selva nublada montano baja (Ataroff y Sarmiento, 2004). Ambas integran una franja de selvas húmedas con características climáticas comunes, que incluyen temperaturas relativamente bajas, alta nubosidad diaria que influye fuertemente en una baja insolación y en una alta humedad relativa, con altas precipitaciones durante casi todo el año (sin meses secos) con un rango que varía entre 1000 y 3000 mm. Además estas selvas reciben un aporte adicional de agua atmosférica por la intercepción de neblina. Las temperaturas medias

anuales varían entre 13 °C y 19 °C en los límites altitudinales de la selva nublada montana baja y entre 9 °C y 14° C para el tipo montano alta (Ataroff y Sarmiento, 2004).

En relación a la vegetación su estructura es compleja y sus estratos son difíciles de definir. Está dominada por árboles siempreverdes de dosel alto y con gran abundancia de epifitas. La selva nublada tiene un promedio de 50 especies de árboles por hectárea, con un dosel que alcanza los 35 m de altura, el cual se hace más bajo a medida que se asciende en altitud (Ataroff y Sarmiento, 2004). Entre los árboles, destacan especies de los géneros *Billia*, *Brunellia*, *Weinmannia*, *Clusia*, *Retrophyllum*, *Montanoa* y *Alchornea*, las cuales son más específicas del tipo montano baja. Para el tipo montano alta se destacan *Podocarpus*, *Oreopanax*, *Havetia* y *Ocotea* (Ataroff y Sarmiento, 2004).

En el sotobosque se destaca la presencia de una gran cantidad de especies por hectárea (puede pasar de 100), siendo característicos los helechos arborescentes de la familia Cyatheaceae, como también los géneros *Chusquea*, *Canna*, *Gaultheria*, *Chamaedorea*, *Piper*, *Psychotria*, *Renealmia*, *Miconia* y *Solanum* (Ataroff y Sarmiento, 2004). En cuanto a biomasa y diversidad de especies, las epifitas conforman un elemento característico de las selvas nubladas. A pesar que aún no están bien estudiadas, se calcula que existe mas de 100 especies de epifitas vasculares, entre las que destacan especies de *Bromeliaceae*, *Piperaceae* y *Orchidaceae* (Ataroff y Sarmiento, 2004).

La selva nublada ha sido más impactada desde mediados del siglo XX, mayormente aquellas de tipo montano bajo, las cuales se han venido transformando en agroecosistemas, entre ellos pastizales para ganadería de altura (Ataroff y Sarmiento, 2004). Mientras los ecosistemas de selva nublada montana alta se encuentran aún mejor conservados. En todos los casos, las áreas con selva nublada presentan pendientes medias muy abruptas, entre 20°

y 35°. Los procesos geomorfológicos activos son erosión hídrica laminar y movimientos en masa (Ataroff y Sarmiento, 2004).

#### ❖ **Selva húmeda submontana**

Según Ataroff y Sarmiento (2004) la selva húmeda submontana, ubicada altitudinalmente entre los 150 y 800 m en los faldeos externos de las vertientes húmedas de los Andes venezolanos, se encuentra formando cinturones o franjas más o menos continuas, ocupando los ambientes con mayor precipitación anual (más de 2500 mm), sin presentar condiciones de inundación debido a las fuertes pendientes, en general superiores a 30°, sobre las que se asienta; con temperaturas medias entre 27 °C y 22,5 °C.

Exhibe una vegetación siempre verde con una alta riqueza florística, con alrededor de 150 especies de árboles. Estructuralmente la selva húmeda submontana presenta más de dos estratos de árboles. Entre las familias dominantes, están las Anacardiaceae, Sterculiaceae, Moraceae, Burseraceae y Elaeocarpaceae, las cuales provienen de unidades boscosas de menor elevación. También son importantes algunas familias oriundas de otras latitudes, como Rosaceae y Myristicaceae. Además se encuentran las Luraceae y las palmas son significativamente importantes, constituyendo uno de los elementos dominantes, con diversas especies de los géneros *Bactris*, *Syagrus*, *Oenocarpa*, *Socratea*, *Geonoma*, *Jessenia* y *Attalea*, entre otros. También abundan las lianas leñosas y las enredaderas (Ataroff y Sarmiento, 2004).

Los usos agrícolas más frecuentes que se desarrollan en estas selvas son plantaciones de cacao, badea, guanábana, y otros frutales por debajo de los 500 m, siendo el cacao el más dominante. También se cultiva café por encima de esta elevación. Además se practica la agricultura de subsistencia, entre otros, se cultiva yuca, cambur, ocumo y maíz (Ataroff y Sarmiento, 2004). No obstante la agricultura se ve limitada por la baja fertilidad y la gran fragilidad

de los suelos, con gran propensión a derrumbes y deslizamientos que pueden causar su degradación rápida e irreversible (Ataroff y Sarmiento, 2004).

### ❖ Agroecosistemas

Los agroecosistemas estudiados en nuestro caso son, cacaotal y pastizal. El cacao (*Theobroma cacao*) es un cultivo bajo sombra asociado con árboles (plantados) que son especies de la selva original y algunos frutales. El cacao es un cultivo perenne que después del tercer o cuarto año de siembra produce todos los meses del año, con una duración de 40 a 50 años. Su rendimiento promedio en producción es  $250 \text{ Kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  aproximadamente. El cacaotal produce una determinada cantidad de hojarasca que va formando continua y paulatinamente una capa que, aunque de menor diversidad en comparación con la selva original, crea un efecto de amortiguación (teja) contra el impacto de las gotas de la precipitación vertical y neta sobre el suelo, disminuyendo de esta manera la erosión hídrica laminar.

En el caso del pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se trata de un pastizal cespitoso, que puede alcanzar 40 cm de alto, normalmente con alta cobertura, en los que la mayor parte de la necromasa aérea parece quedarse en pie, adherida a los culmos y otra parte cae al suelo formando una especie de mantillo (Rincón *et al* 2005).

## 1.1 Hipótesis

En virtud de que la erosión hídrica laminar está determinada por el potencial erosivo de la precipitación vertical y neta (erosividad), por la cobertura de la vegetación, por la capacidad de la hojarasca de amortiguar el impacto de la gota y regular los flujos hídricos, por las características intrínsecas del suelo (erosionabilidad), se plantean las siguientes hipótesis:

1. La eliminación de la hojarasca en ecosistemas o agroecosistemas propiciaría una mayor exposición del material erosionable, por lo cual incrementaría la pérdida de la fracción organomineral debido a que el impacto erosivo de la precipitación neta sobre el suelo sería mayor en cualquiera de los sistemas bajo estudio cuando no tienen hojarasca. Además, es de esperar que en los agroecosistemas la pérdida de la fracción organomineral sea mayor que en las selvas originales.
2. En los agroecosistemas, cacaotal (*Theobroma cacao*) y pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), se presentarían mayores porcentajes de escurrimiento superficial que los ecosistemas originales (selva húmeda submontana y selva nublada) por poseer menor cantidad de hojarasca. No obstante, en el pastizal de kikuyo ocurrirían menores pérdidas de fracción organomineral y escurrimiento superficial que en el cacaotal, dado a que el primero presenta una mayor cobertura vegetal.

## 1.2 Objetivos:

### 1.2.1 General

Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar el papel de la hojarasca en la dinámica hídrica y la erosión laminar en dos selvas montanas y en sus principales sistemas de reemplazo, a saber selva nublada, selva húmeda submontana, pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y cacaotal (*Theobroma cacao*), ubicados en la vertiente norte de los Andes venezolanos.

### 1.2.2 Específicos:

- Cuantificar la precipitación vertical y neta de todos los sistemas bajo estudio, selva nublada, selva húmeda submontana, pastizal de kikuyo y cacaotal, a lo largo de un año.
- Cuantificar las pérdidas de la fracción organomineral y el escurrimiento superficial en todos los sistemas estudiados con y sin hojarasca, a lo largo de un año.
- Evaluar y comparar la producción de hojarasca de todos los sistemas estudiados, a lo largo de un año.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en cuatro ambientes ubicados en la vertiente norte de los Andes venezolanos, de los cuales dos son ecosistemas originales (selva nublada y selva húmeda submontana) y dos son agroecosistemas, pastizal de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y cacaotal (*Theobroma cacao*); distribuidos en dos altitudes: 520 msnm en Tucaní y 2286 msnm en La Carbonera (San Eusebio) estado Mérida (Tabla 1). A continuación se hace una descripción de cada sistema:

#### 2.1.1 Selva Nublada San Eusebio, La Carbonera

La selva nublada ubicada a 8° 38' 50" latitud norte y 71° 21' 45" longitud oeste, con una altura de 2286 msnm en la Carbonera, también conocida como Bosque Experimental San Eusebio, manejado por INDEFOR, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Estado Mérida, se caracteriza por presentar un régimen de precipitación bimodal de 1415 mm, de los cuales 981 mm (62 %) son evapotranspirados (Steinhardt 1979). En esta selva el ritmo de caída de hojarasca es estacional, con tres picos máximos (Fassbender y Grimm, 1981).



**Figura 1.** Selva nublada San Eusebio, La Carbonera, Mérida 2007.

### 2.1.2 Selva Húmeda Submontana

Es un fragmento de Selva original poco intervenida, ubicada a una altitud de 520 msnm, en la finca de la Sra. Dolores Carmen, del sector Monte Bello Alto, Tucaní, Municipio Caraciolo Parra y Olmedo, Estado Mérida. Está limitada actualmente por el Norte por cultivos de parchita, cambur y yuca, por el Este y Oeste por un área abierta que fue talada hace cinco años con fines madereros. Estructuralmente la vegetación de esta selva presenta cinco estratos (Tabla 1) y una gruesa capa de hojarasca que le proporciona protección al suelo contra el impacto de la precipitación. Además, topográficamente una de las características de los suelos de esta selva es sus fuertes pendientes, con un promedio de 37°, siendo esta una de las razones por las que aún se mantiene conservada dado a la dificultad para las labores agrícolas.



**Figura 2:** Selva húmeda submontana, Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida 2007.

### 2.1.3 Pastizal de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

El pastizal en estudio se encuentra en la finca Virgen del Valle del Sr. Ignacio Dugarte. El potrero donde se instalaron las parcelas de erosión está a una altitud de 2220 msnm y a una distancia de 400 m en línea recta de las parcelas ubicadas en la selva nublada. El potrero (Figura 3) donde se instalaron las parcelas de erosión y escurrimiento superficial conforma una hectárea de superficie sobre la cual hace 50 años había un aserradero, 30 años después el suelo fue mecanizado para cultivar papa (*Solanum tuberosum*). Posteriormente, hace 15 años se instaló una cochinería haciéndose drenajes (surcos) por el terreno. Después de la cochinería se mecanizó nuevamente para el cultivo de papa. Seguidamente se cultivó maíz (hace 10 años) y hace 9 años se plantó un cultivo de zanahoria y repollo. Desde entonces se sembró pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) para pastoreo de ganado vacuno. La finca tiene un área de 10 ha de las cuales 9,5 están cubierta por pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) distribuida en 8 potreros y el resto está plantada con pasto de corte. El pastoreo del ganado en este potrero se hace cada 3 meses con 7 animales durante 22 días aproximadamente. Sin embargo para el año de estudio se realizaron dos pastoreos solamente.



**Figura 3.** Finca Virgen del Valle, Sector El Chorotal, San Eusebio, Mérida 2007. Se observa parte del dispositivo experimental.

#### 2.1.4 Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao*)

Los ensayos se realizan en un cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) ya establecido desde hace 8 años, bajo sombra, con una distancia de siembra entre plantas de 4 m asociado con algunas especies de árboles forestales pertenecientes a la selva húmeda submontana y otras especies de frutales entre ellas sapotes, aguacates y naranjas; en la finca del Sr. Eugenio Mora, ubicada a 520 msnm en el sector Monte Bello Alto, Tucaní, estado Mérida, a una distancia de 500 m en línea recta de las parcelas ubicadas en la selva húmeda submontana.



**Figura 4.** Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), Monte Bello Alto, Tucaní, Estado Mérida.

**Tabla 1.** Características de los ecosistemas y agroecosistemas estudiados: Selva nublada, Selva húmeda submontana, Pastizal de kikuyo y Cacaotal.

<b>SISTEMA</b>	<b>Localidad</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Estratos de vegetación (Nº)</b>	<b>Cobertura: vegetación/ hojarasca (%)</b>	<b>Pendiente (°)</b>
<b>Selva nublada</b>	El Chorotal, San Eusebio, La Carbonera, Mérida. 8° 38' 50" y 71° 21' 45"	2286	1619	5	90 / 95	19
<b>Pastizal de kikuyo</b> ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	Finca Virgen Del Valle, El Chorotal, San Eusebio, Mérida 8° 38' 50" y 71° 21' 45"	2220	1547	1	100 / ¿?	10
<b>Selva húmeda submontana</b>	Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida 9° 59' y 70° 12'	575	3203	5	75 / 95	37
<b>Cacaotal</b> ( <i>Theobroma cacao</i> )	Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida 9° 59' y 70° 12'	520	3379	3	50 / 75	26

## 2.2 Fase de campo y de laboratorio

Los muestreos se iniciaron al final del mes de febrero de 2007 en la selva nublada y pastizal de kikuyo y finales del mes de mayo en la selva húmeda submontana y cacaotal. Se realizaron un total de 24 muestreos en todos los sistemas estudiados, a intervalos de 7 y 15 días tanto en las selvas como en los agroecosistemas. En cada muestreo se midió:

- ❖ Precipitación vertical y neta
- ❖ Escurrimiento superficial
- ❖ Caída de hojarasca
- ❖ Pérdida de la fracción organomineral

### 2.2.1 Precipitación

#### ❖ Precipitación vertical

Para medir la precipitación vertical se usó 2 pluviómetros cilíndricos distribuidos en los espacios aledaños y abiertos de cada sistema estudiado. Cada pluviómetro consta de un embudo plástico con un área de captación de 17,8 cm de diámetro ubicado a 2 m sobre la superficie del suelo sujeto a un poste y conectado a un colector de 50 litros de capacidad a través de una manguera de  $\frac{3}{4}$  de pulgadas colocada en forma serpenteante alrededor del poste, para así evitar al máximo la evaporación del agua (Figura 5). Tanto para la precipitación neta como la vertical, se llevaron registros al mismo intervalo que se midió el escurrimiento superficial.

#### ❖ Precipitación neta

Para la medición de la precipitación neta se instalaron 3 pluviómetros acanalados en V (Figuras 6 y 7) distribuidos al azar en cada uno de los sistemas estudiados (excepto en el pastizal de kikuyo). Éstos consisten de una

canaleta metálica en forma de “V” de 2 m de largo, 0,1 m de ancho y 0,2 m de alto. El agua capturada por la canaleta fluye a través de una manguera de  $\frac{3}{4}$  pulgadas hasta depositarse en un colector de 50 litros fijado en el suelo.



**Figura 5.** Pluviómetros de precipitación vertical instalados en el campo (Al frente).



**Figuras 6 y 7.** Pluviómetros de precipitación neta instalados en el campo.

Para el caso del pastizal de kikuyo la precipitación neta no pudo ser medida.

## 2.2.2 Intercepción de la precipitación

### ○ Intercepción por la vegetación

La intercepción de la precipitación por parte de la cobertura de la vegetación se determinó por la diferencia entre el agua que ingresó al sistema como precipitación vertical y la precipitación neta (Ataroff 2002).

$$I_n = P_v - P_n \quad (1)$$

El flujo caulinar se consideró despreciable en las selvas dado que en la literatura se indica como menor de 1 % de la precipitación vertical para selva nubladas (Steinhardt 1979, Ataroff y Rada 2000) y selvas húmedas tropicales de baja altitud (Franken *et al* 1982).

## 2.2.3 Instalación de parcelas de erosión y escurrimiento superficial

Para medir la erosión del suelo y el escurrimiento superficial en cada sistema se instaló seis parcelas de erosión de 3 x 6 m (18 m<sup>2</sup>), tratando de mantener condiciones similares de pendiente, cada una orientada en sentido de la pendiente y separadas de 3 a 5 m entre si (Figuras 8 y 10). Para ello se seleccionó sitios con pendientes similares con el fin de garantizar la menor variabilidad topográfica entre las parcelas. De las seis parcelas, tres permanecieron con su hojarasca (CH dejando intacta la hojarasca) y tres sin hojarasca (SH) durante el tiempo de estudio (Figura 10 y 11). En total se trabajó con 24 parcelas de erosión y escurrimiento superficial de las cuales 12 permanecieron con su hojarasca y 12 sin hojarasca.

Cada parcela de erosión está delimitada en su perímetro (excepto en su extremo inferior) con láminas de zinc enterradas a 0,2 m en el suelo por 0,5 m de alto sobre el suelo. El extremo inferior de la parcela permanece abierto y se le hizo un corte vertical al suelo de 0,2 m de alto para adosar un canal PVC de 0,3 m de ancho x 3 m de largo. Seguidamente se incrustó una lámina delgada

galvanizada de 0,2 m hacia adentro del suelo de la parcela a 10 cm de profundidad sobre el cual se deslizará el flujo laminar (agua y fracción organomineral) para caer a la canal PVC (figura 9). En el extremo inferior (salida) de la canal se instaló una rejilla de 2 mm (malla) para evitar el paso de elementos extraños a la trampa de sedimentos en suspensión. Utilizando un bajante PVC se conectó la canal a un colector de sedimentos (trampa de sedimentos en suspensión) con capacidad de 30 litros (selva nublada y pastizal), 50 litros (selva húmeda submontana); 50 y 85 litros (cacaotal). En esta trampa se queda sedimentado y/o en suspensión el material de suelo transportado por el flujo laminar que logra pasar por la rejilla. El colector de sedimento está conectado a su vez a otro colector de mayor capacidad (tanque de 80 litros selva nublada y pastizal) y a un tercer colector de 240 litros tanto para el pastizal, como para el cacaotal.

#### **2.2.4. Escurrimiento superficial y pérdida de la fracción organomineral**

##### **2.2.4.1. Escurrimiento superficial**

El escurrimiento superficial se midió quincenalmente en el campo, el cual fue el resultado del agua de precipitación neta que escurrió sobre la superficie del suelo de las tres parcelas de erosión y escurrimiento (54 m<sup>2</sup> para cada tratamiento, CH y SH). Este se cuantificó sumando el agua contenida en el colector (Trampa) de sedimentación con el agua contenida en los colectores de escurrimiento (procedimiento explicado en el punto anterior, 2.2.3) y se expresó en Lm<sup>2</sup> (mm).

Debido a que en el pastizal de kikuyo sólo se retiró la hojarasca de 3 m<sup>2</sup> de los 18 m<sup>2</sup> que tenía cada parcela SH, el escurrimiento superficial se estimó usando como referencia los valores en promedio del agua que escurrió sobre la superficie de las parcelas de CH. Con este valor promedio de escurrimiento en m<sup>2</sup> de CH (el cual es equivalente a m<sup>2</sup> de SH) y con los valores de escurrimiento en los 3 m<sup>2</sup> de SH se hizo una aproximación del agua escurrida sobre la

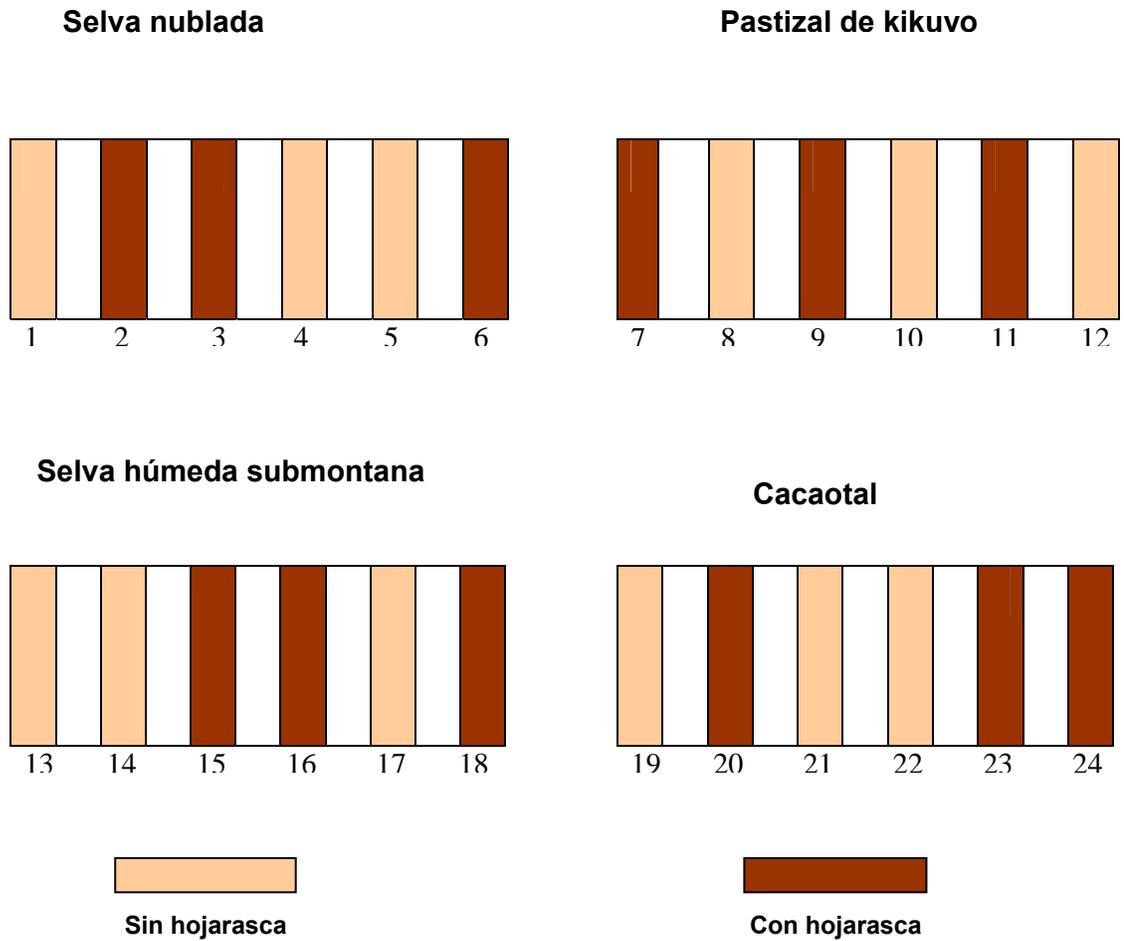
superficie en m<sup>2</sup> del tratamiento SH, lo cual permitió establecer una comparación entre ambos tratamientos de éste agroecosistema.

#### **2.2.4.2. Pérdida de la fracción organomineral**

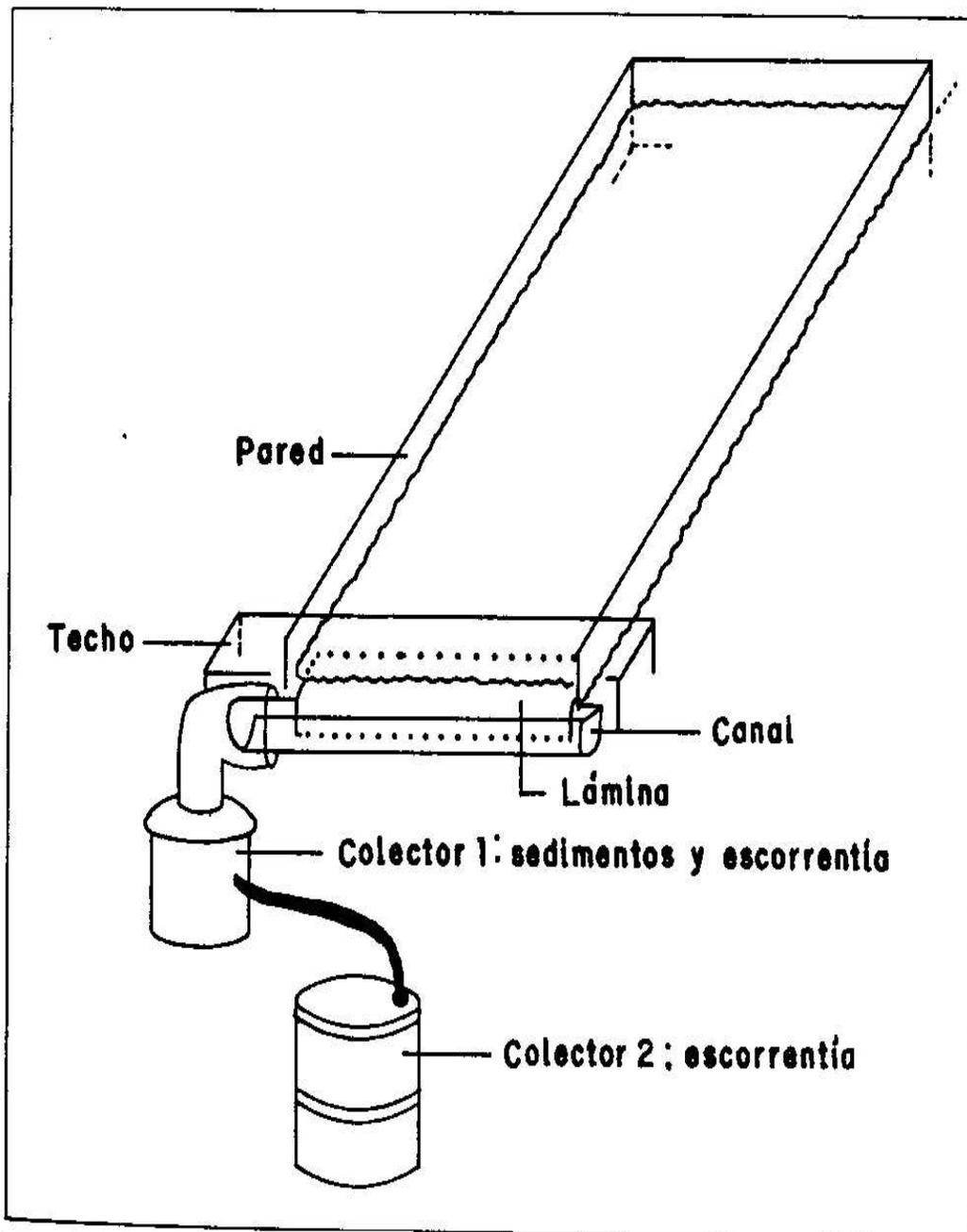
La fracción organomineral (FOM) se midió en dos partes: a) FOM atrapada en la canal (< 2 mm, > 2 mm) y b) FOM contenida en la trampa de sedimentación (en suspensión).

Para determinar el peso de la FOM en la canal, ésta se colectó y fue llevada al laboratorio para ser secada en estufa a 60 °C, posteriormente separada con tamices en fracción organomineral fina y gruesa (< 2 mm límite de las arenas; >2 mm gravas y bloques mayores) y finalmente pesadas (Sánchez *et al* 2002). Para la determinación de los sedimentos muy finos (en suspensión) depositados en la trampa de sedimentación (tsd) se tomó una muestra de concentrado de 1 lt (previa homogeneización) y se llevó al laboratorio, de ésta se tomaron tres submuestras para secarse en estufa a 60 °C y posteriormente pesarse. El total de sedimentos colectados en la trampa de sedimentación se determinó por la relación entre la concentración de sedimentos en el volumen de la alícuota de 1 lt y el volumen almacenado por el colector (tsd). La pérdida de suelo de cada sistema a estudiar durante la investigación se determinó por la suma de los promedios de los pesos secos de suelo contenido en la canal y en la trampa de sedimentación durante cada intervalo de muestreo, para cada tratamiento (Pérez y López, 2000, Sánchez *et al* 2002).

En el caso del pastizal de kikuyo la FOM erosionada en el tratamiento sin hojarasca fue estimada siguiendo el mismo procedimiento que se aplicó para determinar el escurrimiento superficial.



**Figura 8.** Distribución de las parcelas de escurrimiento superficial y de erosión en el campo.



**Figura 9.** Parcela de erosión y escurrimiento superficial (Tomado de Ataroff y Sánchez 2000).



Sin hojarasca



Con hojarasca

**Figura 10.** Parcelas de erosión y escurrimiento superficial instaladas en el cacaotal.



**Figura 11.** Parcelas de erosión y escurrimiento superficial instaladas en el pastizal.

## 2.2.5 Dinámica de la hojarasca

### 2.2.5.1 Hojarasca inicial

Para estimar la hojarasca inicial de hojarasca en cada sistema, se tomó 3 muestras de hojarasca de 1 m<sup>2</sup> c/u de tres parcelas de erosión, para un total de 9 m<sup>2</sup> en cada sistema. Esas parcelas fueron desprovistas de toda la hojarasca restante y son las llamadas “tratamiento sin hojarasca” SH.

### 2.2.5.2 Producción de hojarasca

Para determinar la cantidad de hojarasca caída en cada sistema, cada 15 días fue extraída la nueva hojarasca caída en las parcelas SH, considerando como área de captación toda la superficie del suelo de esas parcelas SH (54 m<sup>2</sup> en total para cada sistema).

En el caso del pastizal de kikuyo sólo se pudo tomar 9 m<sup>2</sup> en total debido a la dificultad en la extracción de la hojarasca. El resto del área (45 m<sup>2</sup>) de las parcelas SH no fue alterado.

La hojarasca caída en cada intervalo de muestreo fue registrada como H<sub>0</sub>.....H<sub>n</sub>, para cada sistema; donde n es el número total (24) de intervalos. La cantidad total de hojarasca caída durante la investigación (H<sub>total</sub> SH) en cada sistema, expresada en Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> se obtuvo por la sumatoria de la hojarasca caída en cada intervalo de muestreo (promedio de las tres parcelas SH).

$$H_{\text{total}} \text{ SH} = \sum_{t=0}^{t=24} H_t \text{ SH} \quad (2)$$

Todas las muestras de hojarasca fueron llevadas al laboratorio para ser secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante. Con el peso seco de la hojarasca se obtuvo la cantidad de hojarasca presente.

### 2.2.5.3 Porcentaje de cobertura del suelo.

Para determinar el porcentaje de suelo cubierto por la hojarasca en cada sistema, se aplicó dos veces en el año (en los máximos y mínimos de precipitación) un muestreo al azar utilizando cuadrículas de 1 m<sup>2</sup> dentro de las cuales se evaluó el % de cobertura según las siguientes categorías: 0 – 25 %, 25 – 50 %, 50- 75 % y 75 – 100 % (Dissmeyer *et al*, 1980).

### 2.2.6 Análisis estadístico

Con la finalidad de evaluar el efecto de la hojarasca en los montos de escurrimiento y pérdida de suelo se hizo:

1. Correlación entre precipitación vertical, precipitación neta, interceptación, escurrimiento, caída de hojarasca y pérdida de fracción organomineral en los tratamientos con y sin hojarasca.
2. Análisis comparativo entre los montos de erosión laminar en los sistemas estudiados (Anova,  $p < 0,05$ ).
3. Análisis comparativo entre producción de hojarasca en cada sistema (Anova,  $p < 0,05$ ).

### 3. PRECIPITACIÓN Y ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

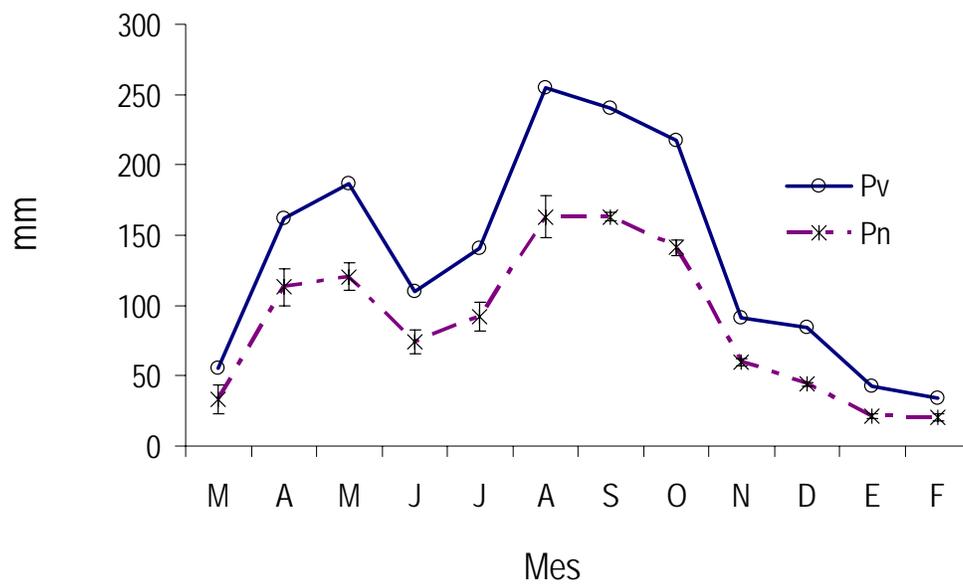
#### 3.1 RESULTADOS

##### 3.1.1 Selva nublada San Eusebio

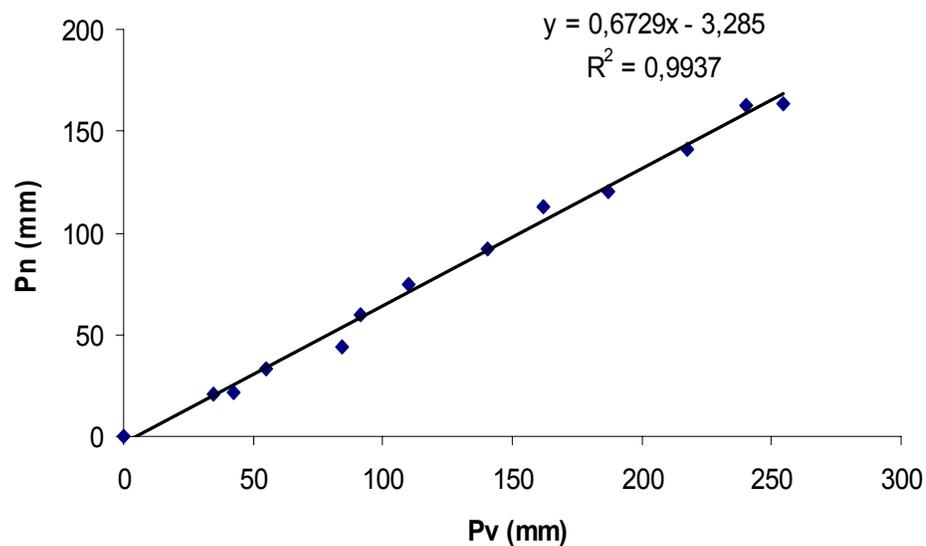
###### 3.1.1.1 Precipitación vertical y neta en la selva nublada

La precipitación de la selva nublada del bosque San Eusebio (La Carbonera) para el año de estudio (2007-2008) mostró un patrón de distribución bimodal sin meses secos y con un máximo entre los meses de abril a mayo y el otro entre agosto y octubre (figura 12) con un total de 1618,5 mm de precipitación vertical, de los cuales 1046,4 mm llegaron a la superficie del suelo como precipitación neta, conformando así el 64,7 % de la precipitación vertical (Tabla 2).

En cuanto a la distribución de la precipitación se pudieron apreciar relativamente dos épocas de máximas precipitación. La época más húmeda para el año estudiado correspondió al periodo que va desde agosto a octubre, con un registro acumulado de 712,4 mm de precipitación vertical y 467,4 mm de precipitación neta (Figura 12, anexo 1). Así mismo, durante la época menos húmeda (abril a mayo) se registró 348,8 mm de precipitación vertical y 233,3 mm de precipitación neta, respectivamente. En contraposición, se pudo distinguir dos épocas con menores registros de precipitación, una correspondiente al periodo junio a julio con un acumulado de 250,3 mm de precipitación vertical y 166,7 mm de precipitación neta, y la otra durante los meses de noviembre a febrero con valor acumulado de 252 mm de precipitación vertical y 145,6 mm de precipitación neta (Figura 12, anexo 1).



**Figura 12:** Precipitación vertical mensual (Pv) y precipitación neta mensual (Pn) de la selva nublada, La Carbonera en el periodo marzo 2007 hasta febrero 2008, Sector El Chorotal, San Eusebio, Estado Mérida.

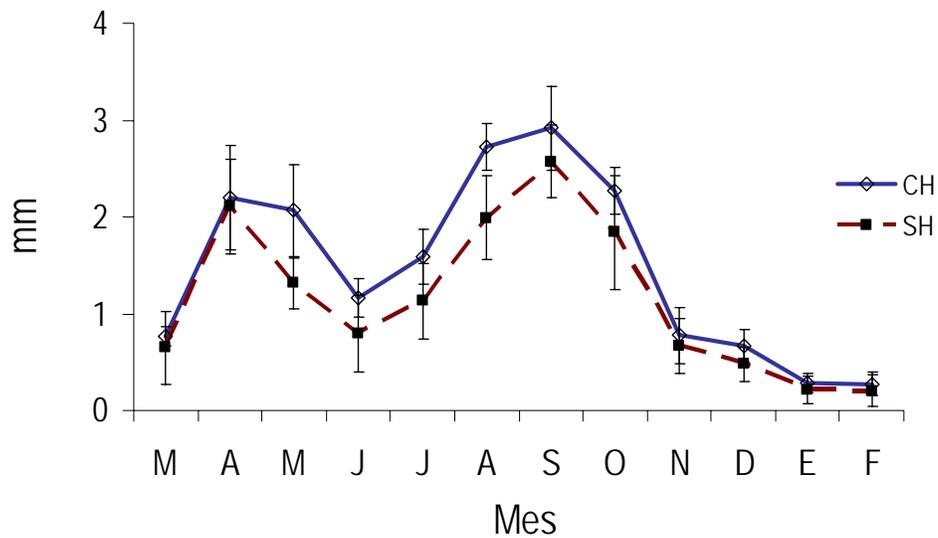


**Figura 13:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y la precipitación neta mensual (Pn) de la selva nublada San Eusebio, La Carbonera, durante marzo 2007 a febrero 2008.

Los resultados del coeficiente de correlación muestran una relación altamente significativa a lo largo del año estudiado entre la precipitación neta mensual y la precipitación vertical mensual, siguiendo un modelo lineal con un valor  $R^2$  de 0,9937, tal como se muestra en la figura 15. Este alto valor del coeficiente de correlación denota una fuerte asociación entre estas dos variables.

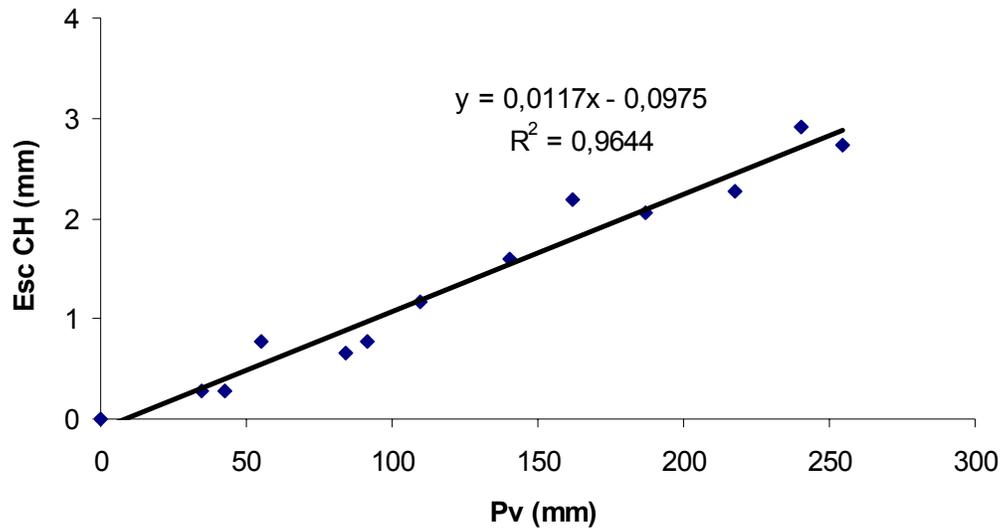
### 3.1.1.2 **Escurrimiento superficial en la selva nublada**

En concordancia, el escurrimiento superficial de la selva nublada mostró una tendencia muy similar (con dos picos máximos) a la distribución de la precipitación (figura 14). Al comparar el escurrimiento superficial de los tratamientos con hojarasca y sin hojarasca se observó una similitud en los volúmenes escurridos, aunque éste fue ligeramente mayor en el tratamiento con hojarasca (Tabla 2). Claramente se observó la misma tendencia entre los tratamientos con hojarasca y sin hojarasca con valores muy cercanos de los montos escurridos en los primeros dos meses, seguidos por una diferencia para el lapso mayo a septiembre, donde las curvas se separan. Con el incremento de la precipitación a finales de julio el escurrimiento aumentó hasta septiembre, a partir de aquí los volúmenes escurridos tienden a disminuir y las diferencias entre tratamientos son mínimas (figura 14).

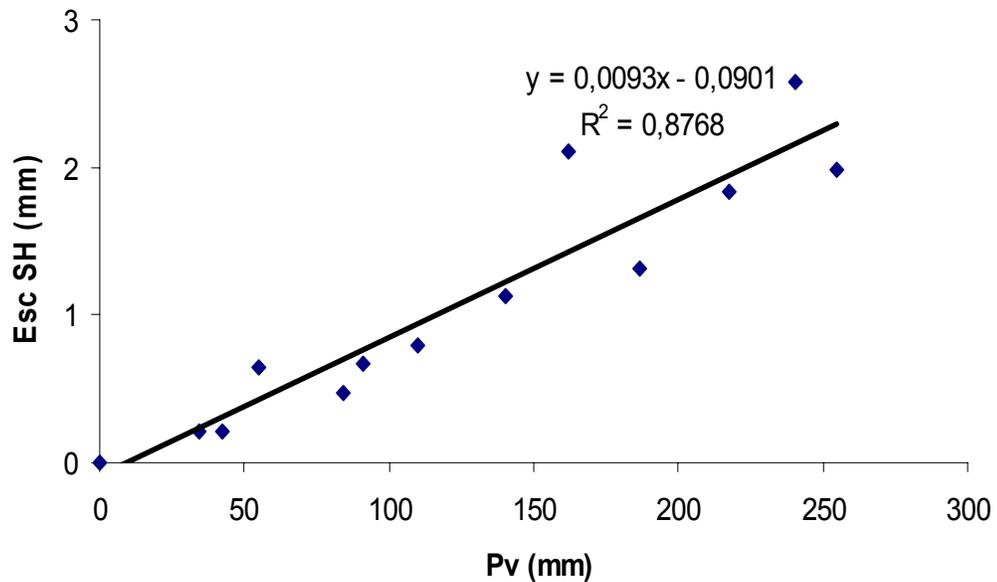


**Figura 14:** E scorrimiento superficial mensual en los tratamientos con hojarasca (CH) y sin hojarasca (SH) de la selva nublada ( $n = 3$ ) en el periodo marzo 2007 hasta febrero 2008, Sector El Chorotal, San Eusebio, Estado Mérida.

En contraste a lo planteado en las hipótesis de esta investigación el escurrimiento superficial para la selva nublada fue ligeramente mayor en el tratamiento con hojarasca que el tratamiento sin hojarasca (tabla 2, figura 14), con un total de 17,7 mm en CH y 14,0 mm para SH representando el 1,1 % para CH y 0,9 % para SH respectivamente. Sin embargo estadísticamente no mostraron diferencias significativas a lo largo del año de estudio ( $p > 0,05$ ). Este comportamiento del escurrimiento quizás se debió a la eficiencia de la hojarasca en regular los flujos hídricos, una vez que ésta se satura una parte del agua que cayó a la hojarasca fue escurrida en forma de manto delgado y la otra infiltrada. Mientras que en las parcelas desprovistas totalmente de hojarasca una buena parte (98,7%) del agua que llegó a la superficie del suelo como precipitación neta ( $P_n$ ) pareció haber sido interceptada por la capa de materia orgánica adherida al sistema de raíces finas y/o infiltrado en el suelo.



**Figura 15:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y el escurrimiento superficial mensual (Esc) del tratamiento con hojarasca (CH) de la selva nublada San Eusebio, La Carbonera, durante marzo 2007 a febrero 2008.



**Figura 16:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y el escurrimiento superficial mensual (Esc) del tratamiento sin hojarasca (SH) de la selva nublada San Eusebio, La Carbonera, durante marzo 2007 a febrero 2008.

La relación entre la precipitación vertical y el escurrimiento superficial resultó altamente significativa siguiendo un mejor ajuste a un modelo lineal para ambos tratamientos ( $R^2= 0,9644$  CH y  $R^2= 8768$  SH). Los coeficientes de correlación indican que existe una relación más fuerte entre la Pv y el Esc del tratamiento con hojarasca en relación al tratamiento sin hojarasca (Figuras 15 y 16). De esta manera los montos escurridos por la superficie del suelo de la selva nublada están fuertemente asociados a los montos de la precipitación vertical para ambos tratamientos.

**Tabla 2:** Valores totales de precipitación y escurrimiento superficial en cada sistema estudiado durante un año de muestreo. SN: Selva nublada, PZ: Pastizal de kikuyo, SS: Selva húmeda submontana y CT: Cacaotal. CH: Tratamiento con hojarasca y SH: Tratamiento sin hojarasca. Letras iguales significa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos y sistemas (n=3).

**PRECIPITACIÓN VERTICAL, PRECIPITACIÓN NETA, ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL E INTERCEPCIÓN**

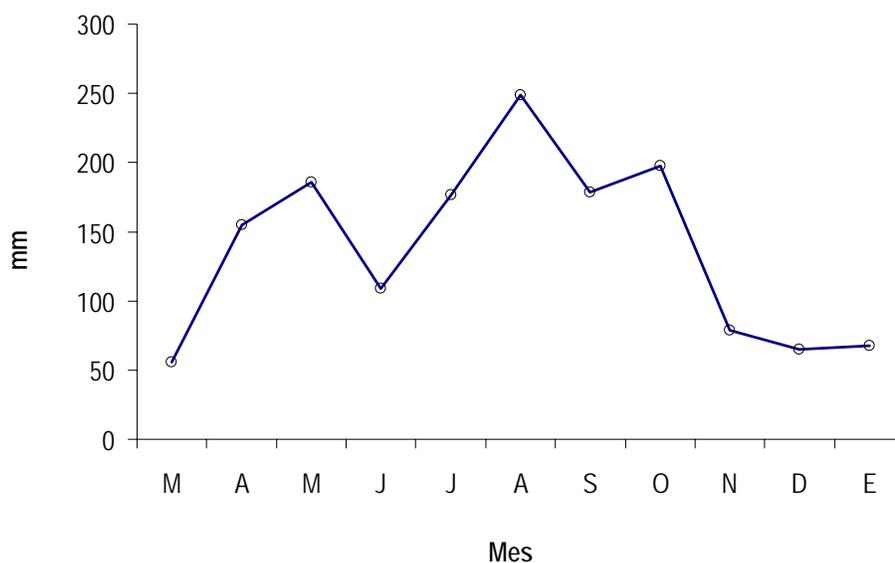
Sistema	Precipitación			Esgurrimiento superficial				
	Vertical	Neta		CH	SH	CH	SH	Intercepción
	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	%	
<b>SN</b>	1618,5	1046,4 ± 64,6	64,7 ± 4,0	17,7 ± 2,5 a	13,9 ± 4,0 a	1,1 ± 0,2	0,9 ± 0,4	35,3 ± 4,0
<b>PZ</b>	1547,1	-	-	80,9 ± 26,1 b	218,0 ± 56,5 b	5,2 ± 1,7	14,1 ± 3,7	-
<b>SS</b>	3203,1	1842,4 ± 273,0	57,5 ± 7,8	59,6 ± 17,7 ac	62,0 ± 27,9 ac	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,5	42,5 ± 8,5
<b>CT</b>	3379,1	2296,6 ± 272,1	68,0 ± 8,1	524,5 ± 5,7 d	605,0 ± 116,7 d	15,5 ± 0,2	18,0 ± 3,5	32,0 ± 7,8

### **3.1.2 Pastizal de kikuyo**

#### **3.1.2.1 Precipitación vertical en el pastizal de kikuyo**

En el pastizal de kikuyo se ha registrado un total de 1547,1 mm de precipitación vertical anual. Se observó la ocurrencia de dos épocas más húmedas a lo largo del año (periodos en los que se registró la mayor cantidad de lluvia, figura 17). Al respecto, la época menos húmeda correspondió al periodo abril a mayo con un registro parcial acumulado de 341,1 mm, mientras que para el periodo agosto a octubre (época más húmeda) se obtuvo un acumulado de 624,9 mm de precipitación vertical. En similitud a la selva nublada, en este agroecosistema no se presentaron meses secos. Sin embargo, si se evidenció la ocurrencia de periodos en los que se registró la menor cantidad de precipitación vertical, siendo estos los correspondientes a: 1) junio a julio (285,6 mm acumulados) y 2) noviembre a febrero (239,7 mm), representando este último al periodo de más baja precipitación durante el año (Figura 17, anexo 2).

La distribución de la precipitación vertical de este agroecosistema, reflejada en la figura 17, mostró también un patrón de bimodalidad similar al de selva nublada, con la ocurrencia de un pico más bajo en los meses abril a mayo y otro mayor entre los meses julio a octubre con la misma tendencia a bajar la precipitación a partir del mes de septiembre hasta el mes de febrero.



**Figura 17:** Precipitación vertical mensual (Pv) en el pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a partir de marzo 2007 hasta febrero 2008, Sector El Chorotal, San Eusebio, Estado Mérida.

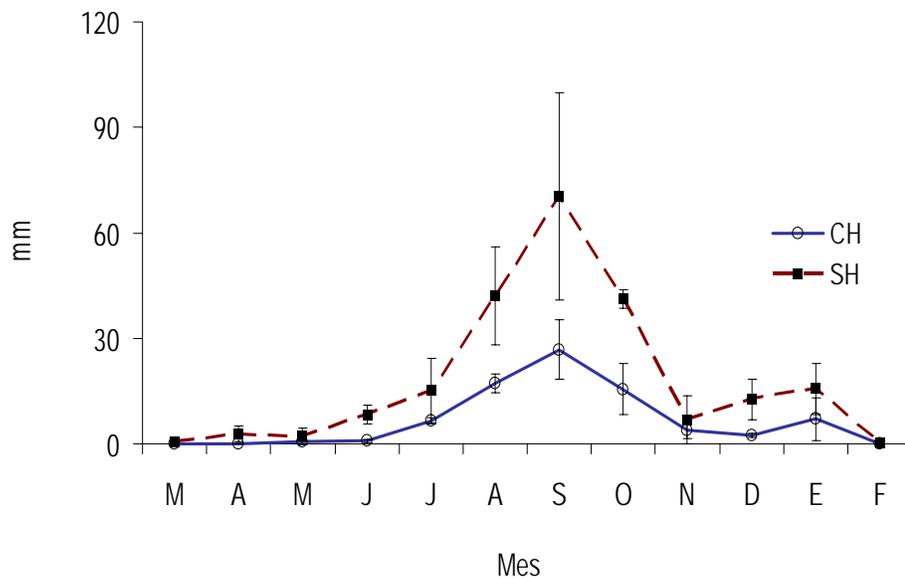
#### 1.1.2.2 Escurrimiento superficial en el pastizal de kikuyo

Por su parte, el escurrimiento superficial para el pastizal de kikuyo no se comportó con la misma tendencia de bimodalidad tal como debería esperarse en relación a la precipitación vertical (figura 18), sino que se comportó unimodalmente con un máximo en el mes de septiembre, a partir del cual disminuye bruscamente hasta el final de las mediciones.

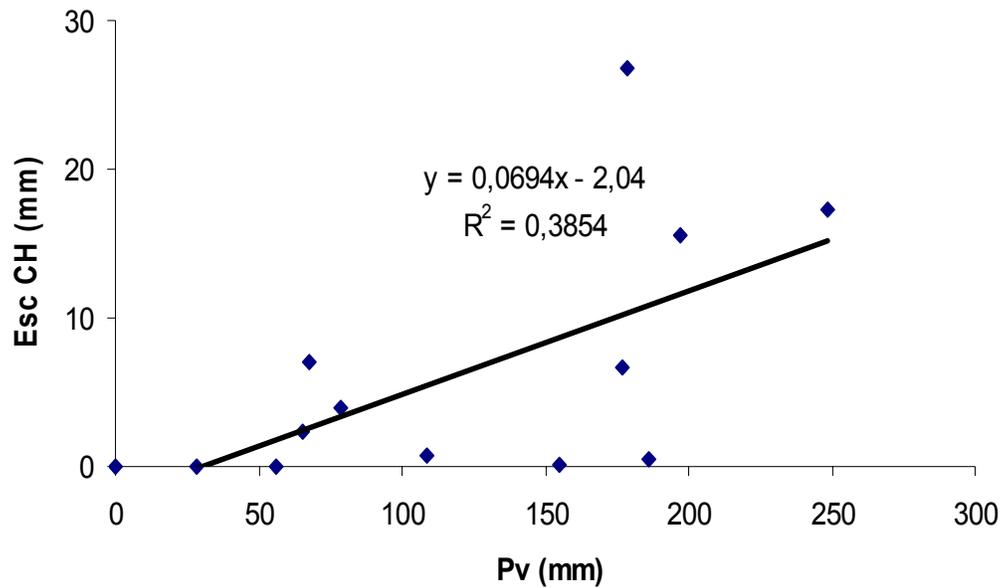
Del total de precipitación vertical, el 5,2 % (80,9 mm) se escurrió en el tratamiento con hojarasca y el 14,1 % (218 mm) escurrió en el tratamiento sin hojarasca, con una diferencia entre tratamiento del 8,9 % (tabla 2). Además como se esperaba en las hipótesis planteadas en este trabajo, el escurrimiento superficial en este agroecosistema fue mayor en todos los meses del año estudiado para el tratamiento sin hojarasca en relación al tratamiento con hojarasca (figura 18). Sin embargo, según el análisis estadístico (Anova de un

factor) no se encontró marcadas diferencias significativas entre tratamientos (CH y SH) a lo largo del año ( $p > 0,05$ ).

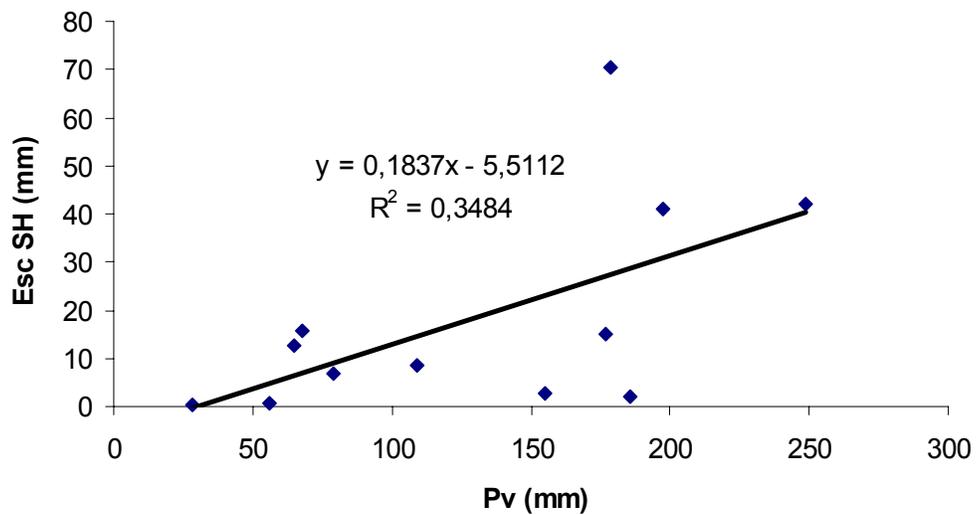
Los meses en los que los montos de escurrimiento fueron mayor correspondieron al periodo más húmedo (Julio a octubre) representando el 4,3 % del total de la precipitación en el tratamiento con hojarasca y el 10,9 % para el tratamiento sin hojarasca (Tabla 2, anexo 2).



**Figura 18:** Ecurrimiento superficial mensual en los tratamientos con hojarasca (CH) y sin hojarasca (SH) del pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a partir de marzo 2007 hasta febrero 2008, Sector El Chorotal, San Eusebio, Estado Mérida.



**Figura 19:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y el escurrimiento superficial mensual (Esc) del tratamiento con hojarasca (CH) del pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*), Finca Virgen del Valle, La Carbonera (marzo 2007 a febrero 2008).



**Figura 20:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y el escurrimiento superficial mensual (Esc) del tratamiento sin hojarasca (SH) del pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*), Finca Virgen del Valle, La Carbonera (marzo 2007 a febrero 2008).

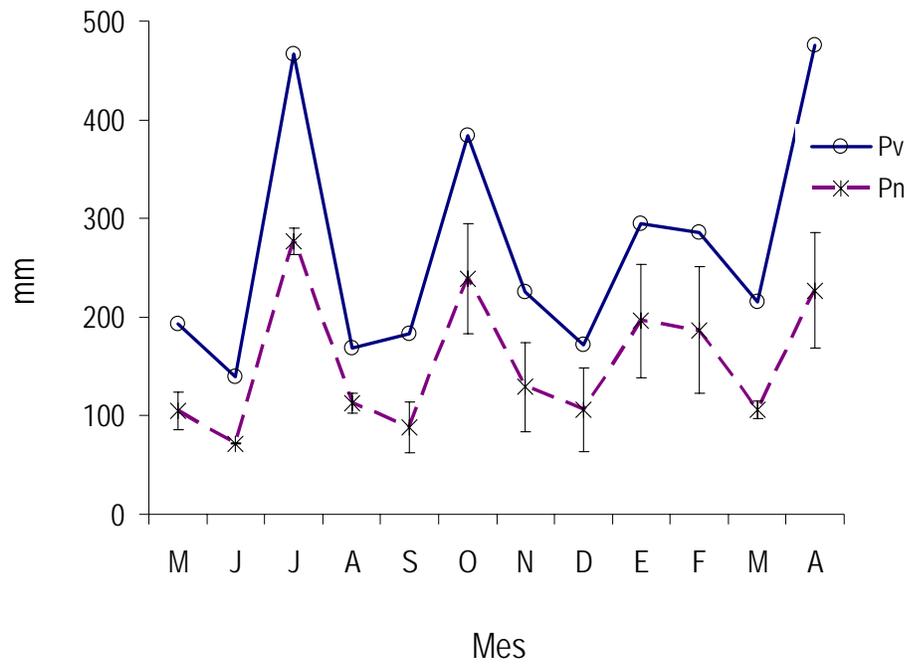
Los resultados mostrados por los coeficientes de correlación ( $R^2= 0,3854$  CH;  $R^2= 0,3484$  SH) indican una baja relación entre la precipitación vertical y el escurrimiento superficial tanto para el tratamiento con hojarasca como para el tratamiento sin hojarasca (Figuras 19 y 20). La similitud en el bajo nivel de correlación entre el escurrimiento y la precipitación vertical para ambos tratamientos suponen un comportamiento particular de este sistema.

### **3.1.3 Selva húmeda submontana**

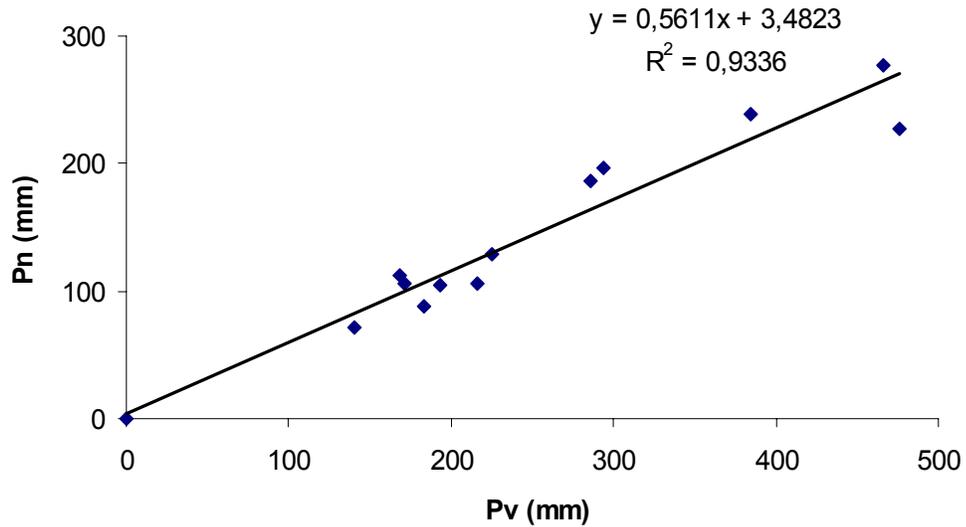
#### **3.1.3.1 Precipitación vertical y neta en la selva húmeda submontana**

Para la selva húmeda submontana se registró un total de 3203,1 mm de precipitación vertical de los cuales 1842,4 mm cayeron a la superficie del suelo como precipitación neta, equivalentes al 57,5 % del total de precipitación (tabla 2). La figura 21 nos muestra la distribución de los montos mensuales de precipitación, según la cual no se presentaron meses secos a lo largo del año de registros en este ecosistema. Al respecto, la precipitación vertical presentó tres máximos en su distribución, uno en el mes de julio con 466,1 mm, otro en el mes octubre (2007) con 384,2 mm y el otro en abril en el que cayeron 475,8 mm de precipitación (Figura 21, anexo 3). Los meses en los que la precipitación vertical fue menor le corresponde a junio (140 mm), agosto (168,2 mm) y diciembre (171,8 mm), respectivamente.

Como es de esperarse, la precipitación neta por su parte exhibió un comportamiento en lo que a distribución se refiere similar al de la precipitación vertical desde el primer mes (mayo 2007) hasta el último mes de mediciones (abril 2008), con tres picos máximos en el año, uno en julio de 276,9 mm, otro en octubre de 238,5 mm, y el otro en abril de 475,8 mm, respectivamente (Figura 21).



**Figura 21:** Precipitación vertical mensual (Pv) y precipitación neta mensual (Pn) en la selva húmeda submontana durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.

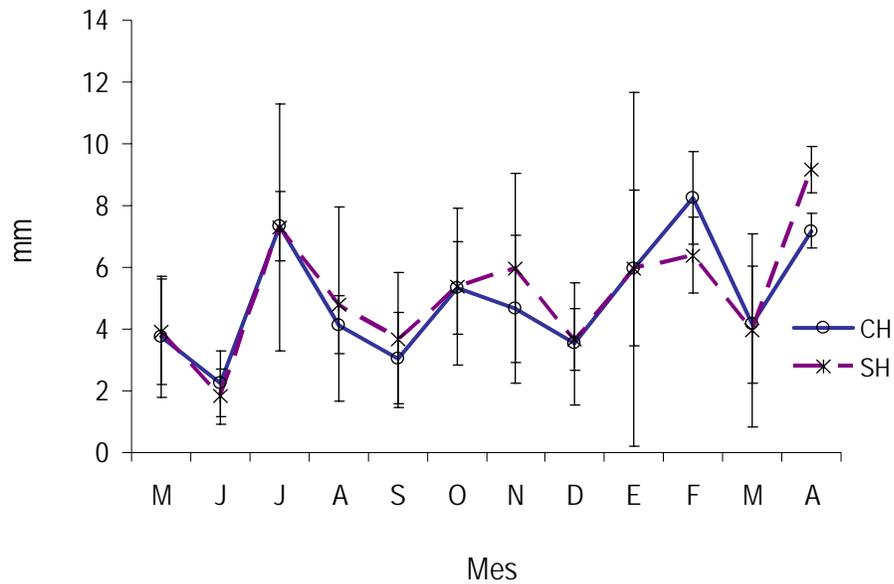


**Figura 22:** Relación entre la precipitación vertical (Pv) y la precipitación neta (Pn) de la selva húmeda submontana durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.

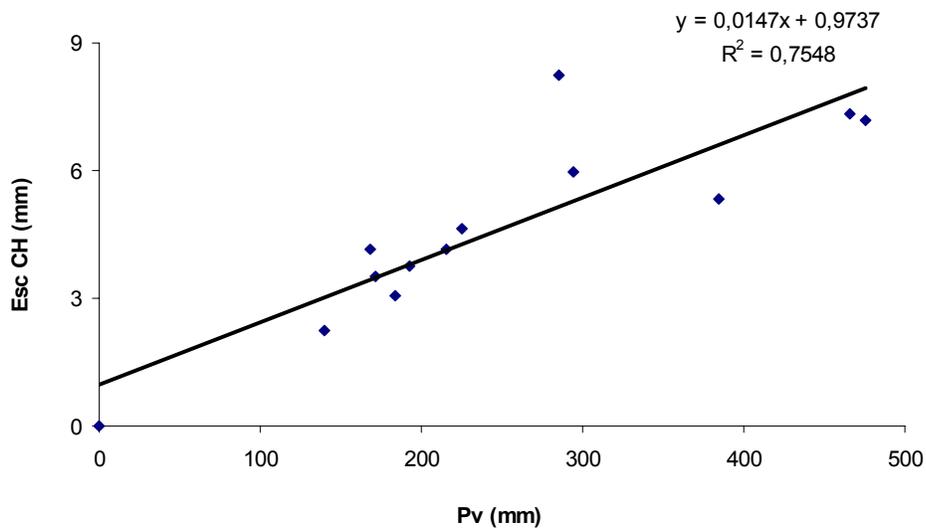
La relación entre la precipitación vertical y la precipitación neta resultó altamente significativa en este ecosistema (Figura 22). Este alto valor aportado por el coeficiente de correlación ( $R^2 = 0,9336$ ) nos indica una fuerte dependencia de la Pn con relación a la precipitación vertical. Sin embargo al intentar explicar la relación entre estas dos variables se debe considerar una variable tan importante para este ecosistema, como es su capacidad de intercepción de la precipitación.

### 3.1.3.2 Esguerrimiento superficial en la selva húmeda submontana

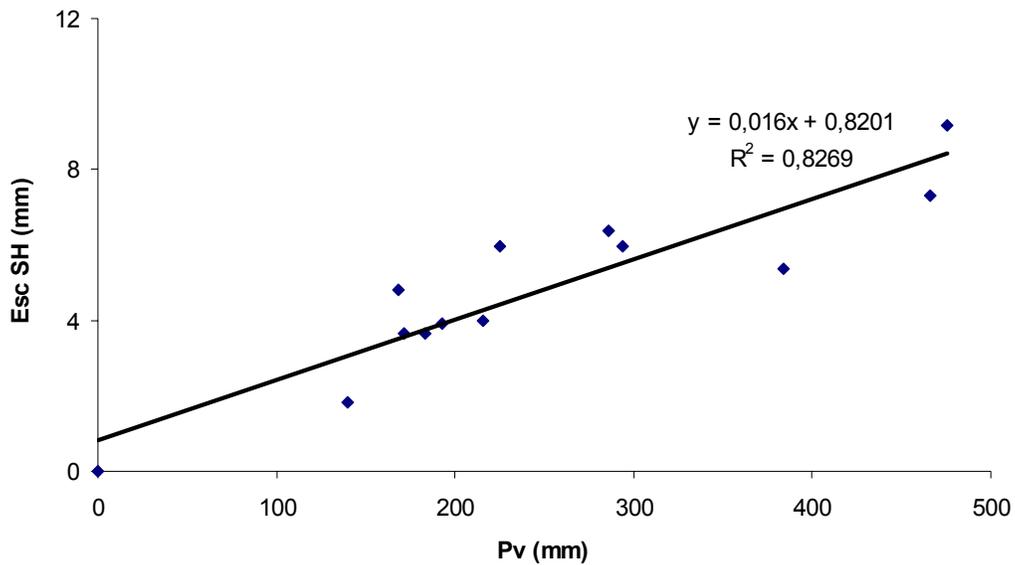
En cuanto al esguerrimiento superficial de la selva húmeda submontana éste es un poco variable en el tiempo y entre tratamientos (Tabla 2, figura 23), con tres picos máximos similares a la distribución de la precipitación vertical, uno en el mes de julio, 7,3 mm en CH y 7,3 mm en SH, otro en febrero de 8,3 mm para CH y 6,4 mm para SH y el otro correspondiente al mes abril de 7,2 mm para CH y 9,2 mm para SH, respectivamente. Aunque el análisis estadístico muestra diferencias significativas sólo para el mes de abril ( $p=0,02$ ) y en concordancia con las hipótesis planteadas el monto del esguerrimiento superficial fue levemente mayor (0,1 % más) en el tratamiento sin hojarasca (63,2 mm) que el tratamiento con hojarasca (60,5 mm). No obstante, en los dos primeros meses de mediciones (junio y julio) éste fue mayor en las parcelas con hojarasca. Posteriormente, se hizo mayor en el tratamiento sin hojarasca hasta el mes de diciembre, solapándose ambos tratamientos en el mes de enero y aumentando en los últimos meses de muestreo para los tratamientos con hojarasca (Figura 23).



**Figura 23:** E scorrimento superficial mensual en el tratamiento con hojarasca (CH) y tratamiento sin hojarasca (SH) de la selva húmeda submontana durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.



**Figura 24:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y el es scorrimento superficial mensual (Esc) del tratamiento con hojarasca (CH) de la selva húmeda submontana durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.



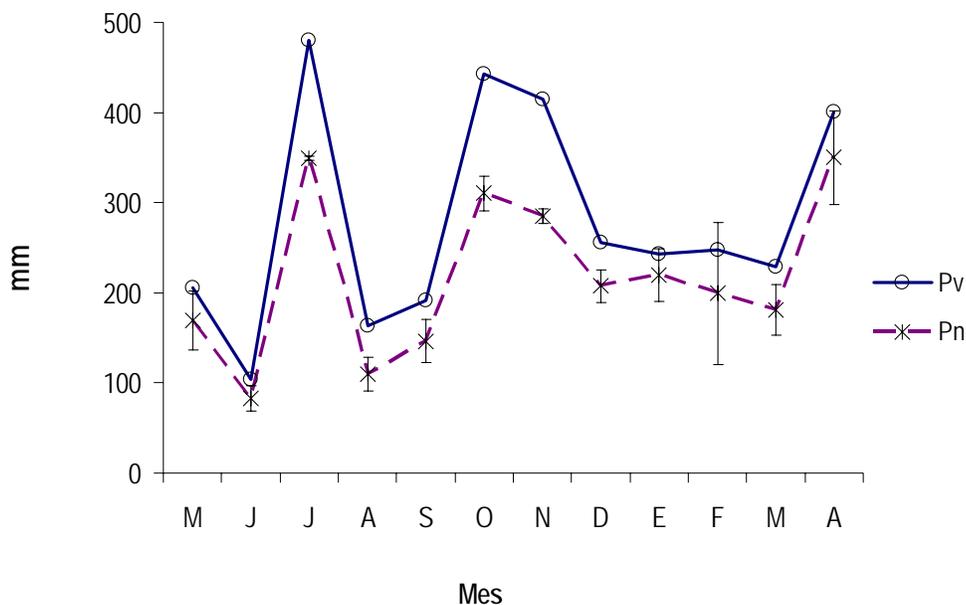
**Figura 25:** Relación entre la precipitación vertical mensual y el escurrimiento superficial mensual (Esc) del tratamiento sin hojarasca (SH) de la selva húmeda submontana durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.

Los altos valores arrojados por los coeficientes de correlación nos indican una alta relación entre el escurrimiento superficial y la precipitación vertical de los tratamientos (CH y SH) la selva húmeda submontana (Figuras 24 y 25). Observando además la similitud en los resultados del coeficiente de correlación en CH y SH ( $R^2$ : 0,7548; 0,8269) se puede inferir que además de la hojarasca existe la intervención de otros factores, como la pendiente e intensidad de la precipitación que determinan el comportamiento del escurrimiento en este ecosistema.

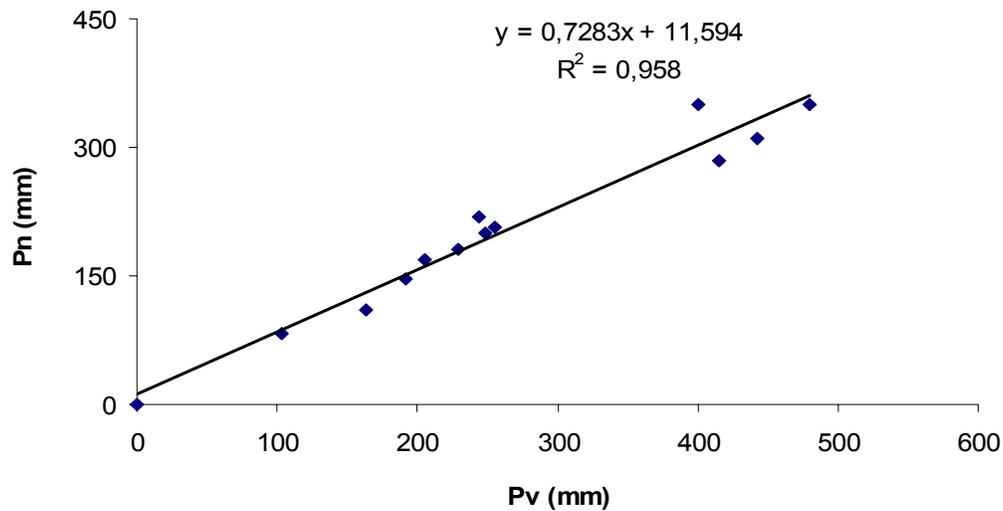
### 3.1.4 Cultivo de cacao

#### 3.1.4.1. Precipitación vertical y neta en el cacaotal

El agroecosistema cacaotal presentó un registro de precipitación total de 3379,1 mm y 2611,7 mm de precipitación neta correspondientes al 77,3 % del total de la precipitación (tabla 2). En la figura 26 y en el anexo 4 se observa claramente tres máximos en la distribución de la precipitación vertical, correspondientes a los meses julio (mayor), octubre y abril (480; 442,2 y 400,6 mm). Esta distribución de la precipitación del cacaotal, como es de esperarse, resultó similar a la selva húmeda submontana, con un comportamiento trimodal a lo largo del año de estudio. A pesar de que en este agroecosistema tampoco se presentaron meses secos, los menores registros de precipitación tanto para la precipitación vertical como para la neta ocurrieron en los meses de junio (103,6 mm; 83,2 mm), agosto (163,6 mm; 110,3 mm) y septiembre (191,7 mm; 146,3).



**Figura 26:** Precipitación vertical mensual (Pv) y precipitación neta mensual (Pn) del cacaotal (*T cacao*) durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.



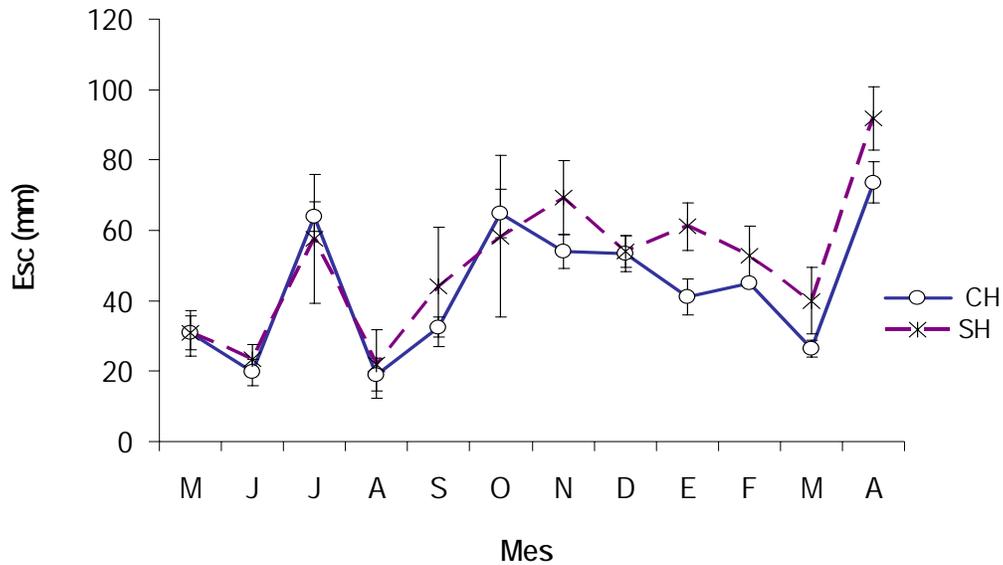
**Figura 27:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y la precipitación neta (Pn) mensual del cacaotal (*Theobroma cacao*), durante mayo 2007 a abril 2008.

Según el resultado del coeficiente de correlación ( $R^2 = 0,958$ ) existe una fuerte correlación entre la precipitación vertical y la precipitación neta para el agroecosistema cacaotal (Figura 27).

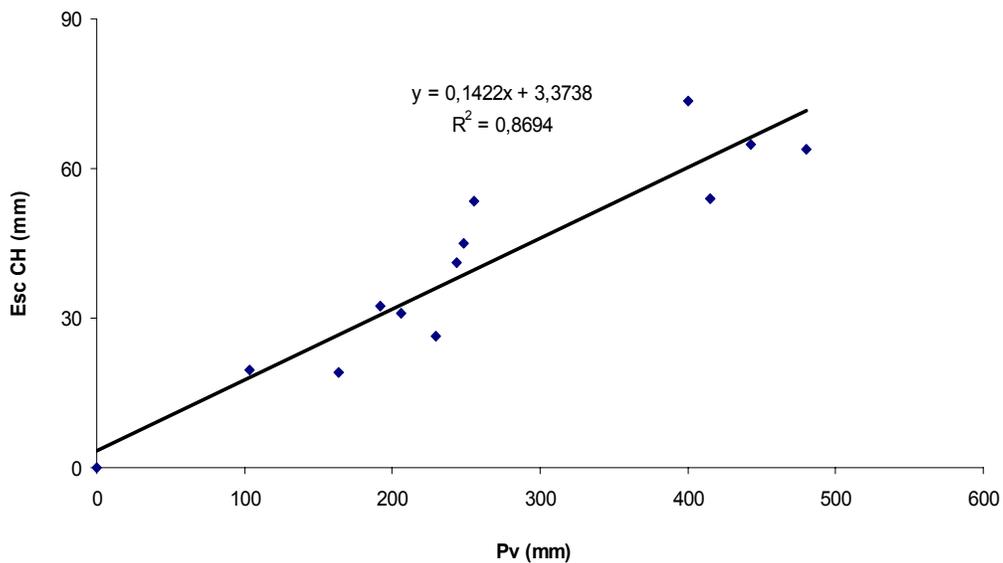
#### 3.1.4.2 Ecurrimiento superficial en el cacaotal

En relación al escurrimiento superficial en el cacaotal (figura 28), éste fue ligeramente mayor (2,4 % más) en el tratamiento sin hojarasca, en relación al tratamiento con hojarasca, 524,5 mm y 605,0 mm, respectivamente, con una leve variación a lo largo del año en los montos escurridos sobre la superficie del suelo entre ambos tratamientos. Al respecto, sólo durante los meses de enero, julio y octubre el escurrimiento superficial estuvo por encima en el tratamiento con hojarasca en relación al tratamiento sin hojarasca, con una diferencia entre tratamientos del 0,1 %; 1,3 % y 1,5 % (superior para CH), mientras que para el resto de los meses éste se mantuvo mayor en el tratamiento sin hojarasca. Según el análisis estadístico (Anova) sólo se observaron diferencias significativas en los meses de enero y abril ( $p= 0,01$ ;  $p= 0,04$ ), en los cuales

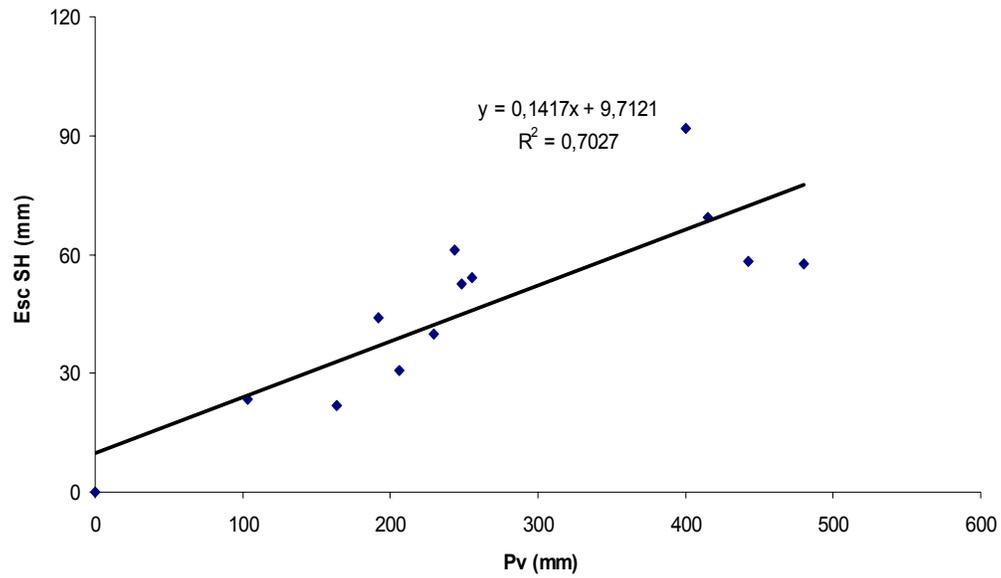
ocurrió también la mayor diferencia en los montos de escurrimiento entre tratamientos (8,2% y 4,6%, anexo 4).



**Figura 28:** Escurrimiento superficial mensual en el tratamiento con hojarasca (CH) y tratamiento sin hojarasca (SH) del cultivo de cacao (*T cacao*) durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.



**Figura 29:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y el escurrimiento superficial mensual (Esc) del tratamiento con hojarasca (CH) del cacaotal durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.



**Figura 30:** Relación entre la precipitación vertical mensual (Pv) y el escurrimiento superficial mensual (Esc) del tratamiento sin hojarasca (SH) del cacaotal durante mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida.

Al relacionar los montos mensuales en la precipitación vertical, con el escurrimiento superficial se obtuvo altos valores en coeficientes de correlación, con un mejor ajuste a un modelo lineal tanto para un tratamiento como para el otro ( $R^2 = 0,8694$  CH y  $R^2 = 0,7027$  SH) pudiendo indicar una alta relación entre estas dos variables, siendo mayor esta en el tratamiento CH (Figuras 29 y 30).

### 3.1.5 COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS

#### 3.1.5.1 Esgurrimiento superficial: Selva nublada y pastizal

Existen marcadas diferencias significativas entre los volúmenes escurridos superficialmente del mismo tratamiento (CH-CH y SH-SH) de los sistemas selva nublada y el pastizal de kikuyo, así como en la selva húmeda submontana y el cacaotal. Al respecto, en la selva nublada y el pastizal de kikuyo el tratamiento con hojarasca mostró marcadas diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en casi todos los meses del año de mediciones excepto en los meses donde la precipitación alcanzó los valores más bajos enero, junio y noviembre ( $p = 0,126$ ;  $p = 0,208$ ;  $p = 0,080$ ) en ambos sistemas. Las mayores diferencias para el tratamiento CH de la selva nublada y el pastizal de kikuyo se presentaron en los meses de marzo, julio y agosto ( $p = 0,00$ ) coincidiendo éstas con los máximos montos mensuales registrados en precipitación vertical.

Para el tratamiento sin hojarasca de la selva nublada y el pastizal de kikuyo, también se presentaron diferencias significativas en casi todos los meses del año ( $p < 0,05$ ), excepto para el mes de marzo (primer mes de las mediciones,  $p = 0,08$ ), mayo ( $p = 0,11$ ) y febrero (último mes de mediciones,  $p = 0,26$ ) coincidiendo al inicio (marzo) y al final (febrero) con los picos mas bajos de precipitación.

#### 3.1.5.2 Esgurrimiento superficial: Selva húmeda submontana y cacaotal

En este orden, tanto en el tratamiento con hojarasca (CH-CH) como el tratamiento sin hojarasca (SH-SH) de la selva húmeda submontana y el cacaotal, se observaron marcadas diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los flujos de escurrimiento superficial en todos los meses a lo largo del año. Según el estadístico aplicado (anova), la menor diferencia entre iguales tratamientos (CH-CH y SH-SH) para ambos sistemas se observó en el mes de agosto,

coincidiendo con el menor registro en los montos mensuales escurridos en la selva submontana y en el cacaotal.

### **3.1.5.3 Esgurrimiento superficial: Selva nublada y selva húmeda Submontana**

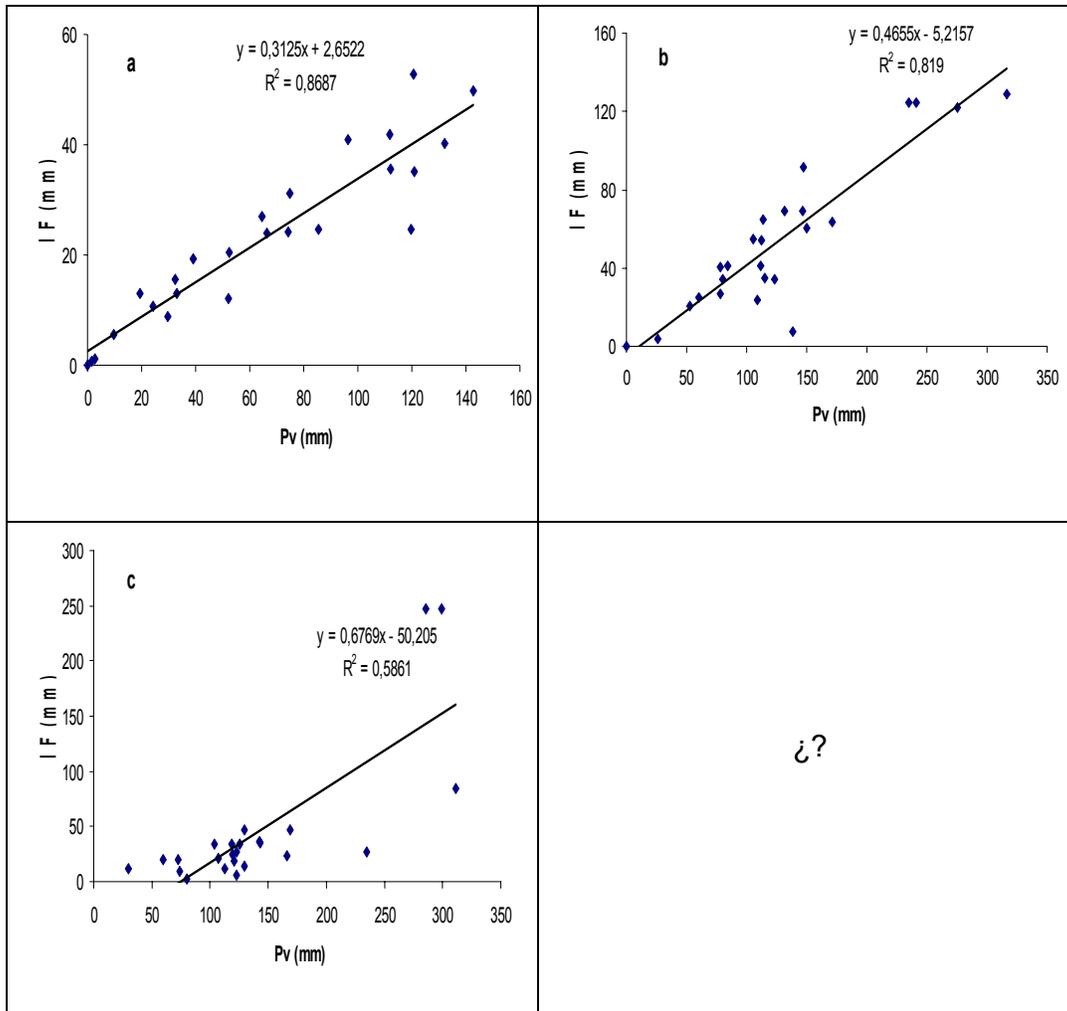
Según el análisis de comparación de medias mensuales (anova) entre los tratamientos con hojarasca y sin hojarasca de la selva nublada y selva húmeda submontana no se presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el transcurso del año en ninguno de los casos.

### **3.1.5.4 Esgurrimiento superficial: Pastizal de kikuyo y cacaotal**

Por su parte entre los agroecosistemas estudiados si se presentaron marcadas diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) en el escurrimiento superficial tanto para el tratamiento con hojarasca como para el tratamiento sin hojarasca en todos los meses del año.

### **3.1.6 Intercepción de la precipitación**

El agua retenida por el follaje como producto del ingreso por precipitación vertical y que no logra llegar a la superficie del suelo corresponde al agua interceptada por el dosel. Esta intercepción en este estudio se determinó en cada sistema, resultando para las selvas originales los mayores porcentajes en relación a los agroecosistemas, alcanzando un 42,5 % en la selva húmeda submontana; 35,3 % en la selva nublada; 32 % en el cacaotal y 27,7 % para el pastizal, respectivamente (tabla 2).



**Figura 31.** Relación entre precipitación vertical (Pv) e intercepción del dosel (IF) en: a) Selva nublada, b) Selva húmeda submontana y c) Cacaotal. Valores medidos quincenalmente.

En la figura 31 (a, b y c) se observa un incremento en la intercepción a medida que aumenta la precipitación, presentando la selva nublada su mejor ajuste a un modelo lineal con un  $R^2 = 0,8687$ . Por su parte para la selva submontana y el cacaotal los valores quincenales también se ajustaron mejor a un modelo lineal aportando valores de  $R^2$  de 0,819 y 0,5861, respectivamente. Estos altos valores de  $R^2$  para las selvas, denotan una fuerte correlación entre la precipitación vertical y la intercepción. En contraste, el cacaotal presentó un valor bajo de  $R^2$ , lo cual indica una débil relación entre la precipitación y la intercepción de este agroecosistema (Figura 31 c).

### 3.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Partiendo de la premisa de que a mayor complejidad estructural de la vegetación existe una mayor capacidad de intercepción de agua del sistema (Ataroff y Monasterio 1997, Ataroff y Rada, 2000) y consecuentemente una disminución en las entradas de agua por precipitación neta a dicho sistema (Ataroff y Sánchez 2000, Ruiz *et al* 2005), en este trabajo se presentó un comportamiento esperado en cuanto a intercepción del follaje de cada sistema estudiado, observándose que existe una alta correlación positiva entre la precipitación y la intercepción que aumenta con la complejidad estructural de la vegetación de los sistemas, siendo mayor para la selva nublada ( $R^2= 0,8687$ ) seguido por la selva húmeda submontana ( $R^2= 0,819$ ) y el cacaotal ( $R^2= 0,5861$ ). En este orden, estos resultados coinciden con los reportados en otros trabajos (Acevedo y Sarmiento 1990, Ataroff 2001, Ataroff y Sánchez 2000, Rincón *et al* 2005) con la tendencia a presentar porcentajes más altos de intercepción de agua aquellos sistemas más y mejor provistos de cobertura de vegetación.

En coherencia, correspondió al agroecosistema cacaotal el mayor porcentaje de precipitación neta (68 %) con ligeras diferencias en los coeficientes de correlación entre la Pv y Pn que la selva nublada y selva húmeda submontana. Ataroff y Sánchez (2000) atribuyen a estas diferencias en los flujos de entradas al sistema a variaciones en la arquitectura y tipos de dosel e intensidades de las precipitaciones. Sin embargo, los altos valores de  $R^2$  además de indicar una fuerte asociación entre la Pv y Pn para cada uno de los sistemas estudiados en nuestro caso (excepto en kikuyo), resultaron menor para el cacaotal ( $R^2= 0,958$ ) que la selva nublada ( $R^2= 0,9937$ ) y mayor que la selva húmeda submontana ( $R^2= 0,9336$ ), respectivamente, sugiriendo además de la cobertura, la influencia de otro factor incidente relacionado con la precipitación o con la cobertura misma.

En consecuencia los mayores montos de escurrimiento correspondieron a los agroecosistemas estudiados, respondiendo afirmativamente con uno de los planteamientos previstos en las hipótesis de este trabajo. Así, el cacaotal fue el sistema que presentó el mayor porcentaje de escurrimiento para el tratamiento con hojarasca y el tratamiento sin hojarasca (15,5 % y 18 %), seguido por el pastizal (5,2 % y 14,1 %), selva húmeda submontana (1,9 % ambos tratamientos) y la selva nublada (1,1 % y 0,9 %), respectivamente. Estos resultados están dentro los valores reportados en otras investigaciones (Tabla 6). No obstante en la selva nublada y selva húmeda submontana las variaciones en los montos de escurrimiento fueron mínimas y sin mostrar marcadas diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre tratamientos, manteniéndose siempre ligeramente por encima en el tratamiento con hojarasca de la selva nublada en todos los meses del año de estudio.

Este comportamiento particular del escurrimiento en las selvas estudiadas por una parte reflejó un efecto contrastante a lo planteado en las hipótesis de este trabajo, en relación a la eficiencia de la hojarasca en la regulación de los flujos hídricos, con lo cual, una vez que ésta (hojarasca) se saturó una parte del agua que ingresó a la hojarasca fue escurrida por la superficie de las hojas como un excedente, creando así un efecto teja o infiltrada en el suelo (Ataroff y Monasterio 1996, Ataroff y Sánchez 2000, Arellano 2001, Delgado comunicación personal). Sin embargo en las parcelas desprovistas totalmente de hojarasca (SH) de la selva nublada, del 98,7 % del agua que llegó a la superficie del suelo como precipitación neta una parte fue retenida por la materia orgánica (MO) y la otra se infiltró en el suelo; lo que hace suponer que existe otro factor asociado con la hojarasca y con las características físicas de ese suelo que determinó estos altos valores de infiltración. En tal sentido, una de las parcelas del tratamiento sin hojarasca con las que se cuantificó el escurrimiento y la erosión del suelo de la selva nublada presentó los valores mas bajos de escurrimiento superficial en relación al resto de las parcelas muestreadas. Esta parcela se caracterizó por presentar una gruesa capa de materia orgánica que osciló entre 15 a 20 cm de espesor a la

cual permanecían adheridas un complejo de raíces finas superficiales que amarran la masa del suelo (Del Valle, 2003), facilitando así la retención del agua (Sánchez *et al* 2005) y por ende la infiltración (Arellano, 2001), disminuyendo los montos de escurrimiento y erosión laminar. Esta variación inesperada en los montos de escurrimiento superficial entre tratamientos de la selva nublada fue sustentado por los resultados contrastantes de correlación entre las variables precipitación neta y escurrimiento superficial, con un valor de  $R^2$  mas bajo en el tratamiento sin hojarasca ( $R^2= 0,9343$ ) que el tratamiento con hojarasca ( $R^2= 0,9766$ ), tomando así un mayor peso el efecto de la capa de materia orgánica del suelo sobre los montos de escurrimiento. Surgiendo así la necesidad de futuros estudios en cuanto a la funcionalidad de esta capa de MO del suelo como un producto de la hojarasca en el control de los montos de flujos de escurrimiento y erosión, ya que hasta ahora existen escasos reportes al respecto (Alegre y Rao, 1996; Hartanto *et al*, 2003).

Por su parte el escurrimiento superficial en el pastizal de kikuyo fue aproximadamente tres veces mayor en el tratamiento sin hojarasca (14,1 %) en relación al tratamiento con hojarasca (5,2 %).

En este trabajo claramente se evidenció una fuerte dependencia de los volúmenes escurridos superficialmente con relación a la precipitación vertical de los cuatro sistemas estudiados, siendo esta dependencia mayor en la selva nublada que en la selva húmeda submontana y el cacaotal. En este orden tanto para la selva nublada y el pastizal como para la selva húmeda submontana y el cacaotal los volúmenes de escurrimiento aumentan progresivamente con los volúmenes de precipitación.

## 4. DINÁMICA DE LA HOJARASCA

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 Hojarasca inicial

Así como se explicó en la metodología la hojarasca fue clasificada en dos partes, una constituida por hojarasca fina (hojas, flores, frutos y semillas) y la otra constituida por la hojarasca gruesa (estructuras leñosas como cortezas de árboles y ramas, tabla 3).

En general, se observó una mayor cantidad de hojarasca fina que gruesa en cada uno de los sistemas estudiados. En la superficie del suelo de la selva húmeda submontana se encontró la mayor cantidad de hojarasca fina (18,09 Mg ha<sup>-1</sup>), seguida por la selva nublada (14,07 Mg ha<sup>-1</sup>). En el cacaotal es donde se observó una mayor cantidad de hojarasca gruesa (34%) en relación a los demás sistemas, sin embargo aún está por debajo del componente de hojarasca fina (66%). En el caso del pastizal de kikuyo el 100 % de la hojarasca que cae a ras del suelo pertenece al componente fino, dado a que se trata de una gramínea (tabla 3).

Estadísticamente para el componente de hojarasca fina no se encontró diferencias significativas entre los sistemas selva nublada y pastizal de kikuyo, selva nublada y selva submontana. Por el contrario, los sistemas selva nublada y cacaotal, pastizal y selva húmeda submontana, pastizal y cacaotal, selva submontana y cacaotal si mostraron diferencias significativas entre ellos (tabla 3). En tal sentido para la fracción gruesa el análisis estadístico (anova de un factor) sólo mostró diferencias significativas entre el pastizal de kikuyo y selva submontana (tabla 3).

En relación al total de la hojarasca inicial (fina + gruesa) no se encontró diferencias significativas entre las selvas entre si, ni entre agroecosistemas entre si; pero sí entre las selvas con sus respectivos agroecosistemas (tabla 3). Tampoco se encontró diferencias significativas entre agroecosistemas.

#### 4.1.2 Producción de hojarasca

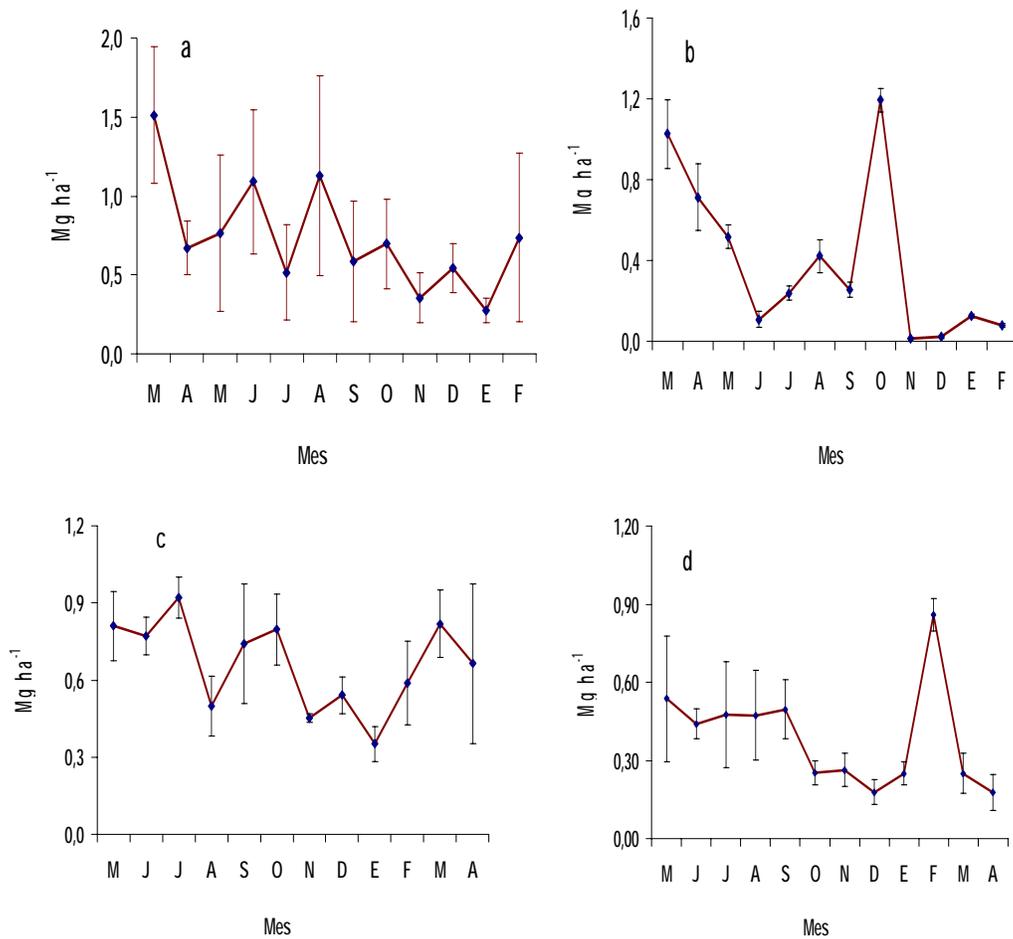
En relación a la cantidad total de hojarasca caída para cada sistema estudiado, le corresponde a la selva nublada el valor mas alto, con  $8,87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , seguida por la selva húmeda submontana con un total de  $7,95 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de hojarasca y los valores más bajos correspondieron a los agroecosistemas, con  $4,72 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el pastizal de kikuyo y  $4,65 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el cacaotal (tabla 3). De esta manera, los mayores valores en hojarasca caída están representados por las selvas originales, mientras que los menores valores le corresponden a los agroecosistemas, siendo el cacao el menor de ellos.

**Tabla 3:** Hojarasca inicial y hojarasca caída en los cuatros sistemas estudiados: Selva nublada (SN), Pastizal de kikuyo (PZ), Selva húmeda submontana (SS) y Cacaotal (CT). Hojarasca fina: hojas, flores, frutos, semillas y epifitas. Hojarasca gruesa: estructuras leñosas (cortezas y ramas). Letras iguales en la misma columna significa que no existen diferencias significativas entre los sistemas.

Sistema	HOJARASCA INICIAL			HOJARASCA CAÍDA		
	Fina	Hojarasca (Mg ha <sup>-1</sup> )		% de hojarasca		(Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
		Gruesa	Total inicial	Fina	Gruesa	
<b>SN</b>	14,07 ± 5,87 a	1,75 ± 2,35 a	<b>15,82 ± 6,70 a</b>	88,92 ± 37,11	11,08 ± 14,85	<b>8,87 ± 3,85 a</b>
<b>PZ</b>	4,90 ± 0,69 ab	0,00 ± 0,00 ab	<b>4,90 ± 0,69 b</b>	100,00 ± 13,99	0,00 ± 0,00	<b>4,72 ± 0,19 a</b>
<b>SS</b>	18,09 ± 7,18 ac	3,74 ± 0,93 ac	<b>21,83 ± 7,61 a</b>	82,86 ± 32,88	17,14 ± 4,27	<b>7,95 ± 0,97 ab</b>
<b>CT</b>	3,21 ± 0,38 d	1,65 ± 1,53 a	<b>4,86 ± 1,89 a</b>	66,07 ± 7,79	33,93 ± 31,39	<b>4,65 ± 0,56 ac</b>

La hojarasca presentó un patrón continuo de caída en el transcurso del año en cada sistema estudiado, excepto para el pastizal de kikuyo. En este orden, la selva nublada presentó tres máximos en su ritmo de caída de hojarasca a lo largo del año, siendo el mayor de ellos el correspondiente al mes de marzo con  $1,51 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$  y los otros dos son similares y corresponden a junio y agosto  $1,09$  y  $1,13 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$  (figura 32a, anexo 17). Los montos mínimos de hojarasca caída para la selva nublada se presentaron en los meses de noviembre, diciembre y enero, respectivamente.

Particularmente el pastizal de kikuyo presentó una discontinuidad en su ritmo de hojarasca caída durante el año, registrándose dos máximos del total de hojarasca caída a lo largo del año (a ras de la superficie del suelo), uno correspondiente al mes de marzo de  $1,03 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ , con una tendencia a disminuir hasta el mes de junio para luego aumentar en los meses julio a agosto (figura 32b) y el otro mayor en el mes de octubre de  $1,19 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ , el cual disminuye en los últimos cuatro meses de mediciones y dos meses (noviembre y diciembre) en los que se registraron montos muy bajos y similares ( $0,02 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ) de hojarasca caída (figura 32b, anexo 17).



**Figura 32** Hojarasca caída mensual en los cuatros sistemas estudiados: a) Selva nublada, b) Pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Sector El Chorotal, San Eusebio, desde marzo 2007 a febrero 2008; c) Selva húmeda submontana y d) Cacaotal (*Theobroma cacao*), Sector Monte Bello Alto, Tucaní Estado Mérida; desde mayo 2007 a abril 2008.

En lo que respecta a la distribución de la hojarasca caída en la selva húmeda submontana la figura 32c nos muestra 3 máximos a lo largo del año, ocurriendo el mayor de ellos en el mes de julio de  $0,92 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$  y los otros dos muy similares en los meses octubre y marzo ( $0,80$  y  $0,82 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ). Los menores valores de producción de hojarasca para este ecosistema se registraron en los meses de enero y mayo ( $0,35$  y  $0,24 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ) respectivamente.

El cacaotal fue el sistema que presentó los montos mas bajos en hojarasca caída (Tabla 3) a lo largo del año de estudio, con una tendencia a disminuir la producción de hojarasca desde el primer mes hasta el mes de enero, alcanzando su máximo valor en hojarasca caída en el mes de febrero, con una tendencia a disminuir a partir de este mes hasta el final de las mediciones (Figura 32 d). Los menores valores de producción de hojarasca para el cacaotal se presentaron en los meses diciembre, abril y mayo ( $0,18$  y  $0,16 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ).

## 4.2 ANÁLISIS y DISCUSIÓN. DINÁMICA DE LA HOJARASCA

La producción de hojarasca de la selva nublada San Eusebio, La Carbonera y la selva submontana presentada en este trabajo se aproximó al promedio anual considerado por la UNESCO (1980) para selvas tropicales y se ubicó dentro del promedio del rango de valores registrados en la literatura para otras selvas tropicales (Fassbender y Grimm 1981, Ramírez y Ataroff 2001, Monedero y González 1995, Veneklas 1991, Rodríguez 2002, Tanner et al. 1992, Vargas y Varela 2007, Zapata *et al.* 2007).

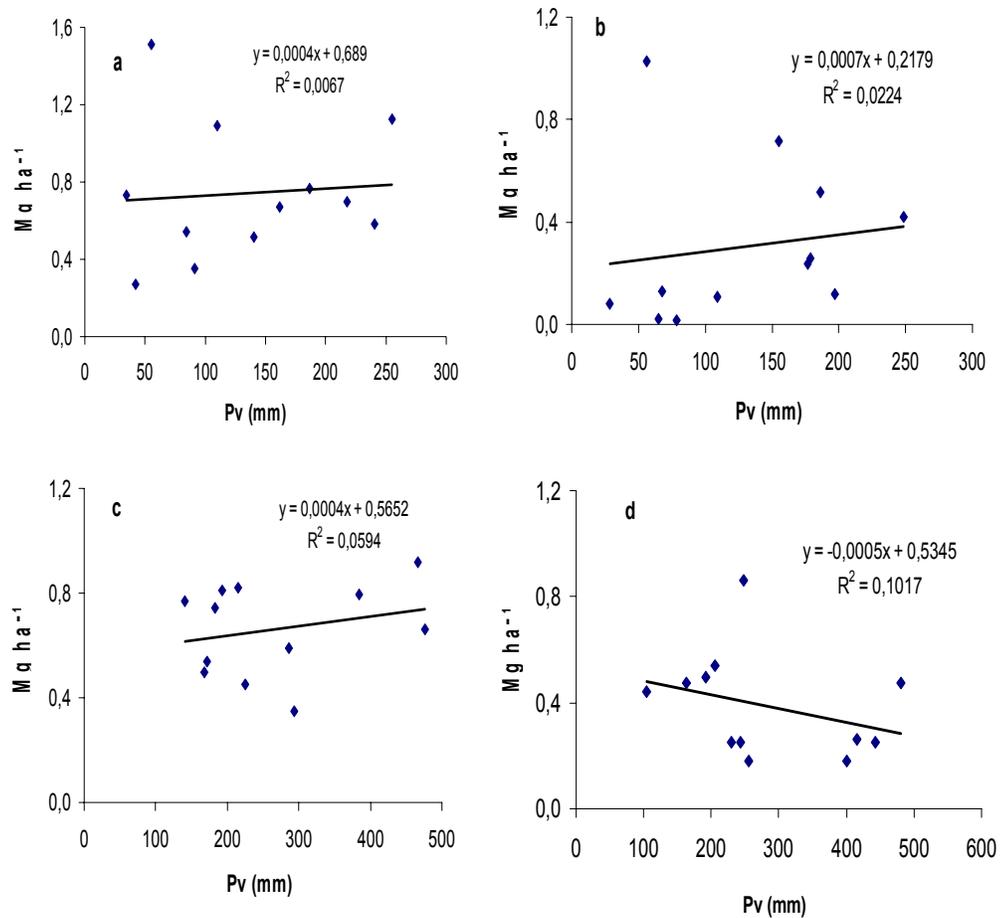
En este orden, para la misma selva nublada La Carbonera Fassbender y Grimm (1981) reportaron un total de 6,96 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de hojarasca caída, con una diferencia de 1,91 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> menos que la cuantificada en este trabajo. Así mismo, Ramírez y Ataroff (2001) encontraron en la selva nublada La Mucuy, ubicada a 2350 msnm de altitud en el Parque Nacional Sierra Nevada, Estado Mérida, una producción de 7,71 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Monedero y González (1995) reportaron 10,7 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en la selva nublada Loma de Hierro, Cordillera de la Costa, Venezuela. Estos valores son relativamente mayores a los reportados por Tanner *et al.* (1992) en un estudio realizado en la selva nublada La Montaña (5,0 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), ubicada también en el Parque Nacional Sierra Nevada (Tabla 4).

Una de las características comunes que comparten las selvas húmedas tropicales son los procesos continuos y relativamente constantes de producción de hojarasca a lo largo del año, con la ocurrencia de periodos de máxima y mínima producción de hojarasca (Sarmiento 1980). Aunque no existe un patrón específico que defina claramente la estacionalidad en la caída de la hojarasca de las selvas tropicales, algunos investigadores atribuyen estas fluctuaciones en los ritmos de caída de hojarasca a cambios en la estacionalidad de las épocas secas y húmedas. Al respecto, Proctor (1986) reportó mayores valores de hojarasca caída para algunas selvas

tropicales después de la estación seca. En contraste, en otras investigaciones ha sido durante la estación seca cuando se ha determinado los máximos de hojarasca caída (Monedero y González 1995), mientras que otros han encontrado aumentos en la producción de hojarasca durante la estación húmeda (Proctor 1986; Tanner *et al.* 1992). Además puede ocurrir cierta variabilidad temporal en el tipo de material vegetal caído, con abundancia de material foliar durante la estación seca, mientras que los restos de residuos vegetales (flores, frutos) aumentaron durante la época húmeda (Monedero y González 1995).

En este orden, Brown y Lugo (1982) encontraron una relación significativa entre la producción de hojarasca y las condiciones climáticas, básicamente con la temperatura y precipitación media anual. Así mismo, Bray y Gorham (1964) encontraron que la producción de hojarasca foliar estaba relacionada significativamente ( $p < 0,05$ ) con la precipitación media anual. En estudios en bosques lluviosos tropicales de Karnataka en la India, Ramachandra y Proctor (1994) registraron sincronía entre los períodos de menor precipitación y los máximos de producción de hojarasca. En contraposición, Spain (1984), Ramírez *et al* (2007), y Zapata *et al* (2007) no encontraron relaciones claras entre la cantidad de lluvia, la altitud, la latitud y la caída de hojarasca foliar. Sin embargo, esta fracción, sí se encontró correlacionada con la intensidad promedio de la lluvia en el período, así como con la cantidad de agua asociada con las lluvias de máxima intensidad en los períodos coincidentes con el muestreo, así como con el del período inmediatamente anterior. Esta situación podría deberse a que algunas precipitaciones de intensidades elevadas están acompañadas de vientos de gran velocidad, con lo cual los mayores montos de producción de hojarasca, supuestamente relacionados con tales eventos de lluvia, son en realidad producto del golpe de la masa de aire que ocasiona el desprendimiento de hojas de manera anticipada o podría explicarse por el impacto físico producido por las gotas de lluvia (Ramírez *et al* 2007).

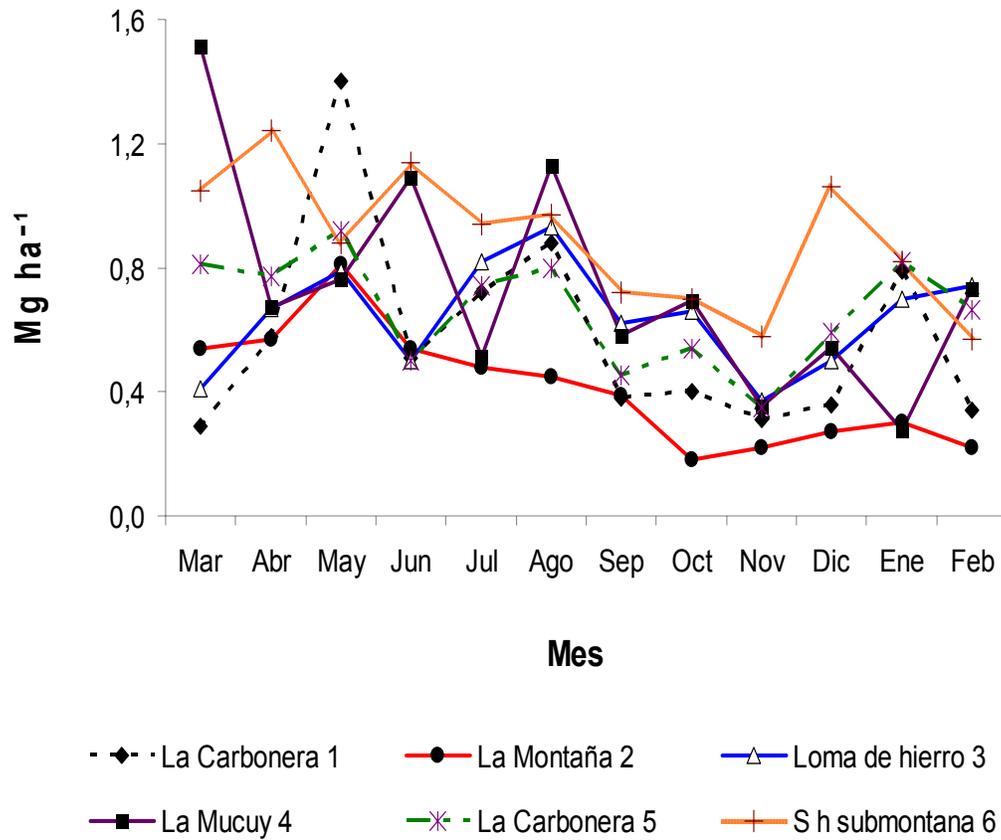
En este estudio no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la caída de hojarasca y la precipitación vertical en ninguno de los sistemas. Esto se expresa claramente en la figura 33 con la ocurrencia de valores muy bajos de  $R^2$ , selva nublada (0,0067), pastizal de kikuyo (0,0224), selva húmeda submontana (0,0594), y cacaotal (0,1017).



**Figura 33:** Relación entre la precipitación vertical mensual (PPv) y hojarasca caída mensual ( $Mg\ ha^{-1}$ ) en cada sistema estudiado: a) Selva nublada, b) Pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*), c) Selva húmeda submontana, y d) Cacaotal (*Theobroma cacao*).

La ritmicidad en la caída de hojarasca de las selvas húmedas tropicales está determinada por la interrelación de las propiedades intrínsecas

(fenologías de las especies) de cada sistema y la conjugación de factores ambientales, tales como, suelo, disponibilidad hídrica, intensidad de las precipitaciones, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura (Monedero y González 1995). De acuerdo a esta conjugación de factores cada sistema adopta características particulares que le confieren un patrón particular en la caída de hojarasca que puede variar a través del tiempo, pudiendo coincidir o no con otros sistemas. Tal es el caso de algunas selvas nubladas y selva húmeda submontana de los Andes venezolanos y una selva nublada de la Cordillera de la Costa (figura 32) las cuales presentaron una característica en común con tres periodos a lo largo del año en los que produjeron más hojarasca (Fassbender y Grimm 1981, Tanner et al. 1992, Monedero y González 1995, Ramírez y Ataroff 2001, este estudio), coincidiendo en el mes de agosto (excepto la selva nublada La Montaña) y en el mes de mayo (excepto la selva nublada de este estudio) con uno de sus máximos de hojarasca caída. No obstante, estas variaciones en los ritmos de caída de hojarasca inclusive para un mismo ecosistema pudieran estar determinadas por variaciones espaciales y temporales, como es el caso de la selva nublada La Carbonera (San Eusebio) presentado por Fassbender y Grimm (1973 a 1974) y el correspondiente a este estudio (2007 a 2008) donde no existe con claridad una coincidencia en el patrón de hojarasca caída (Figura 34, tabla4). Quizás esto se debió, por una parte a la variación temporal (34 años de diferencia de estudio) que implicaron algunas alteraciones del clima producto del cambio climático global, o a variaciones espaciales con la presencia de especies arbóreas diferentes en sitios distintos de muestreos en la selva nublada.



**Figura 34:** Ritmicidad de la hojarasca caída de tres selvas nubladas y una selva húmeda submontana de Los Andes venezolanos y una selva nublada de la Cordillera de La Costa, Venezuela. <sup>1</sup>Fassbender y Grimm (1981), <sup>2</sup>Tanner et al. (1992), <sup>3</sup>Monedero y González (1995) <sup>4</sup>Ramírez y Ataroff (2001), <sup>5y6</sup>este estudio.

**Tabla 4.** Producción mensual ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y total anual ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) de hojarasca de tres selvas nubladas y una selva húmeda submontana de Los Andes venezolanos y una selva nublada de la Cordillera de La Costa, Venezuela. <sup>1</sup>Fassbender y Grimm (1981), <sup>2</sup>Tanner et al. (1992), <sup>3</sup>Monedero y González (1995), <sup>4</sup>Ramírez y Ataroff (2001), <sup>5y6</sup>Este estudio.

<b>SELVA</b>	<b>Carbonera<sup>1</sup></b>	<b>La Montaña<sup>2</sup></b>	<b>Loma de hierro<sup>3</sup></b>	<b>La Mucuy<sup>4</sup></b>	<b>Carbonera<sup>5</sup></b>	<b>Selva submontana<sup>6</sup></b>
<b>Mes Periodo</b>	<b>1973-1974</b>	<b>1985-1986</b>	<b>1985-1986</b>	<b>1995-1996</b>	<b>2007-2008</b>	<b>2007-2008</b>
Mar	0,29	0,54	1,05 ± 0,041	0,41 ± 0,01	1,51 ± 0,43	0,81 ± 0,13
Abr	0,58	0,57	1,24 ± 0,33	0,67 ± 0,01	0,67 ± 0,17	0,77 ± 0,07
May	1,40	0,8	0,88 ± 0,38	0,79 ± 0,01	0,76 ± 0,50	0,92 ± 0,08
Jun	0,51	0,54	1,14 ± 0,46	0,50 ± 0,02	1,09 ± 0,46	0,50 ± 0,12
Jul	0,72	0,48	0,94 ± 0,65	0,82 ± 0,01	0,52 ± 0,30	0,86 ± 0,23
Ago	0,88	0,45	0,97 ± 0,36	0,93 ± 0,01	1,13 ± 0,63	0,80 ± 0,14
Sep	0,38	0,39	0,72 ± 0,33	0,62 ± 0,01	0,58 ± 0,38	0,45 ± 0,02
Oct	0,40	0,18	0,70 ± 0,21	0,66 ± 0,05	0,70 ± 0,29	0,54 ± 0,07
Nov	0,31	0,22	0,58 ± 0,30	0,37 ± 0,00	0,35 ± 0,16	0,35 ± 0,07
Dic	0,36	0,27	1,06 ± 0,37	0,50 ± 0,01	0,54 ± 0,16	0,59 ± 0,16
Ene	0,79	0,30	0,82 ± 0,55	0,70 ± 0,02	0,27 ± 0,08	0,82 ± 0,13
Feb	0,34	0,22	0,57 ± 0,23	0,74 ± 0,2	0,73 ± 0,53	0,66 ± 0,31
<b>Total</b>	<b>6,96</b>	<b>4,97</b>	<b>10,67 ± 5,3</b>	<b>7,71 ± 0,18</b>	<b>8,87 ± 3,85</b>	<b>7,95 ± 0,97</b>

En este estudio correspondió a la selva nublada y a la selva húmeda submontana los mayores montos de hojarasca inicial y de producción de hojarasca a lo largo del año, con poca diferencia de los montos entre ellas (0,92

Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y representando dos veces más que el pastizal y el cacaotal en cuanto a producción de hojarasca se refiere (Tabla 3).

Estadísticamente la selva nublada no presentó diferencias significativas en producción de hojarasca con relación a los demás sistemas, los cuales sí mostraron diferencias significativas entre sí.

De este modo, de los cuatro sistemas estudiados, el cacaotal fue el que presentó los montos mas bajos en hojarasca caída (4,65 Mg ha<sup>-1</sup>) a lo largo del año, con una diferencia de casi el doble (3,65 Mg ha<sup>-1</sup>) al promedio anual de tres sistemas de cultivo de cacao con frutales (8,3 Mg ha<sup>-1</sup>) reportado por Jaimez y Franco (1999) en la misma vertiente norte de los Andes a 100 m de altitud entre el piedemonte andino y la planicie aluvial con una precipitación casi tres veces menos (1369 mm) a la medida en este trabajo (3379 mm). Estos resultados de hojarasca total anual también difieren marcadamente a los reportados en otras latitudes; así, Boyer (1973) en un cultivo maduro (30 años) en Camerún cuantificó una producción de 8,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Aranguren (1979) encontró una producción de hojarasca muy alta, de 20,8 Mg ha<sup>-1</sup> en un cultivo de cacao de 30 años bajo sombra de árboles de caucho (*Castilloa elástica*), bucare (*Erythrina sp*) y topán (*Artocarpus attilis*). Heuveldop *et al* (1988) encontraron resultados similares con 8,9 y 7,1 Mg ha<sup>-1</sup> en asociaciones cacao – poro (*Erythrina poeppigiana*) y cacao – laurel (*Cordia alliodora*) ambos de 6 años en Costa Rica.

En nuestro caso a pesar de los altos montos de precipitación registrados en el área de estudio del cacaotal, no se observó una dependencia en la caída de hojarasca con relación a la precipitación vertical ( $R^2 = 0,1017$ ), lo que indica que no es esta variable climática la que determina la caída de hojarasca en esta zona. Al respecto, se requiere de mayores investigaciones a través del tiempo que permitan conocer las variaciones interanuales de producción de hojarasca en función de las fluctuaciones de las variables climáticas.

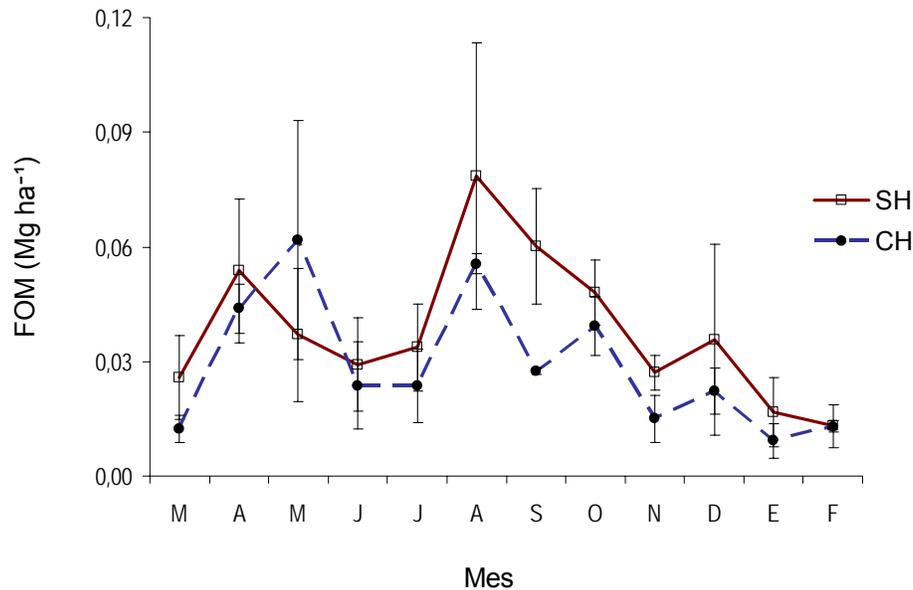
## 5. FRACCIÓN ORGANOMINERAL

### 5.1 RESULTADOS

#### 5.1.1 Pérdida de la fracción organomineral en la selva nublada

La pérdida en peso de la fracción organomineral (FOM) en las parcelas sin hojarasca y con hojarasca se llevó a cabo midiendo tres fracciones: fracción en suspensión (caída en trampa de sedimentación), fracción fina (< 2 mm, límite de las arenas), y fracción gruesa (> 2 mm) tal como se explicó en la metodología.

La pérdida total de la fracción organomineral para el tratamiento sin hojarasca en la selva nublada fue de 0,46 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, mientras que para el tratamiento con hojarasca fue de 0,35 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (Tabla 5). En este orden, para el tratamiento sin hojarasca el 65,8 % del total de FOM perdida correspondió a la fracción fina (< 2 mm); el 26,7 % a la fracción en suspensión y el resto (7,4 %) a fracción organomineral gruesa. Así mismo, en el tratamiento con hojarasca la mayor cantidad del total de suelo perdido de la selva nublada (59,1 %) le perteneció a la fracción organomineral fina, seguido por la fracción en suspensión (33,5 %) mientras que de la fracción gruesa se perdió casi la misma cantidad que el tratamiento sin hojarasca (7,3 %). Por consiguiente, para ambos tratamientos la mayor pérdida de suelo la aportó la fracción fina seguida de la fracción en suspensión (tabla 5). No obstante, la prueba estadística (Anova de un factor) no reflejó diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ); sólo en el mes de septiembre hubo diferencias estadísticas entre el tratamiento sin hojarasca y el tratamiento con hojarasca ( $p = 0,04$ ).



**Figura 35:** Pérdida de la fracción organomineral total en el tratamiento sin hojarasca (SH) y tratamiento con hojarasca (CH) de la selva nublada, expresada en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$ , desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

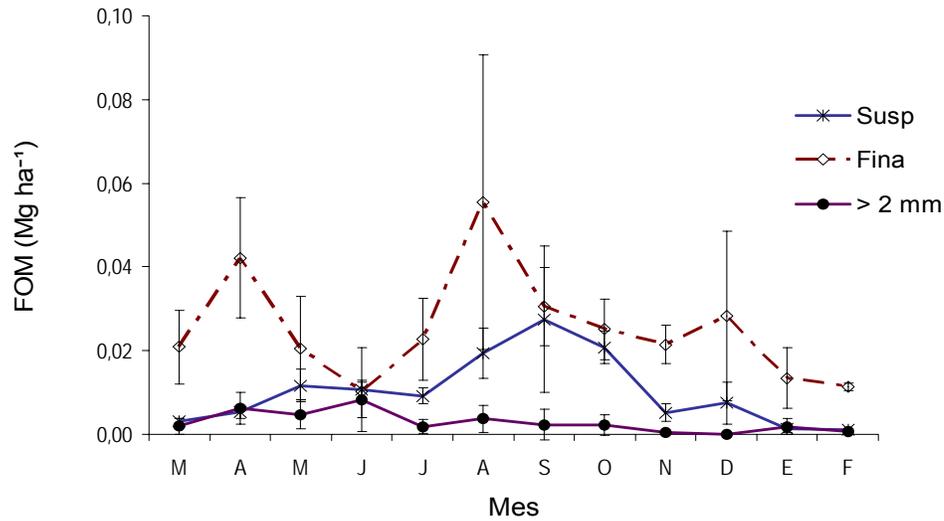
La distribución de las pérdidas de FOM total en la selva nublada presentó dos máximos claramente diferenciables a lo largo del año para ambos tratamientos, uno en el mes de abril ( $0,05 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) y el otro en el mes de agosto ( $0,08 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) para el tratamiento SH y un máximo en el mes de mayo ( $0,06 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) y el otro también en agosto ( $0,06 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) para el tratamiento CH (Figura 35, anexos 5 y 6). Así mismo la fracción organomineral fina también presentó un comportamiento en su distribución similar al de la fracción organomineral total (Figuras 36 y 37) para ambos tratamientos, mientras que la fracción en suspensión presentó sus máximas pérdidas en mes de septiembre para SH y mayo y octubre para CH. Por su parte la fracción organomineral gruesa no presentó máximos significativos en su distribución temporal en ninguno de los tratamientos.

La distribución de la fracción organomineral total de los tratamientos SH y CH y de la fracción organomineral fina presentó la misma tendencia de

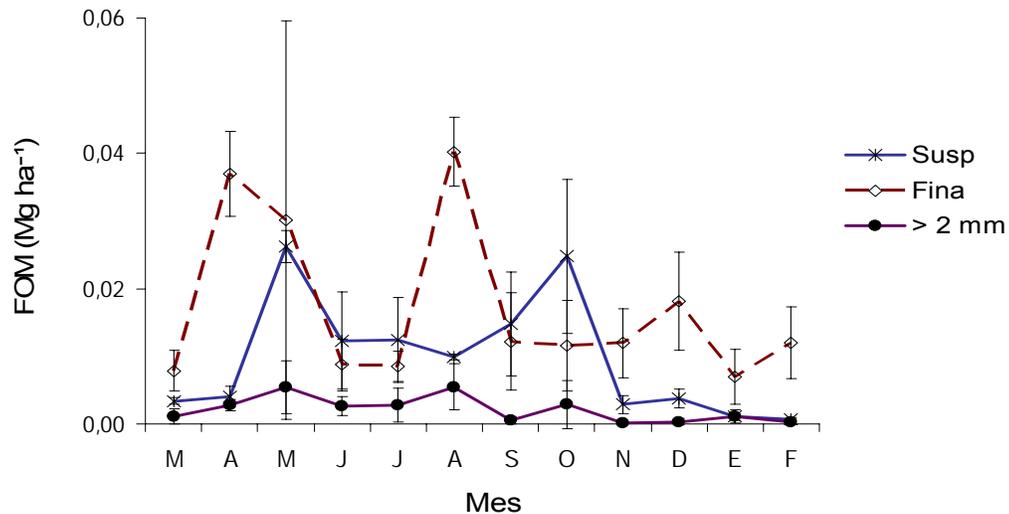
bimodalidad como la precipitación y el escurrimiento superficial. Además los coeficientes de correlación entre Pv, Esc y FOM total para ambos tratamientos mostraron una buena correlación entre estas variables siendo mayor para el tratamiento SH (figura 38).

**Tabla 5:** Pérdida de la fracción organomineral en tratamientos sin hojarasca y con hojarasca de los cuatro sistemas estudiados: selva nublada, pastizal de kikuyo (desde marzo 2007 a febrero 2008), selva húmeda submontana y cacaotal (desde mayo 2007 a abril 2008), expresada en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ,  $\pm$  desviación estándar. Letras iguales entre tratamientos del mismo sistema (SH y CH) y entre sistemas significan que no existen diferencias significativas.

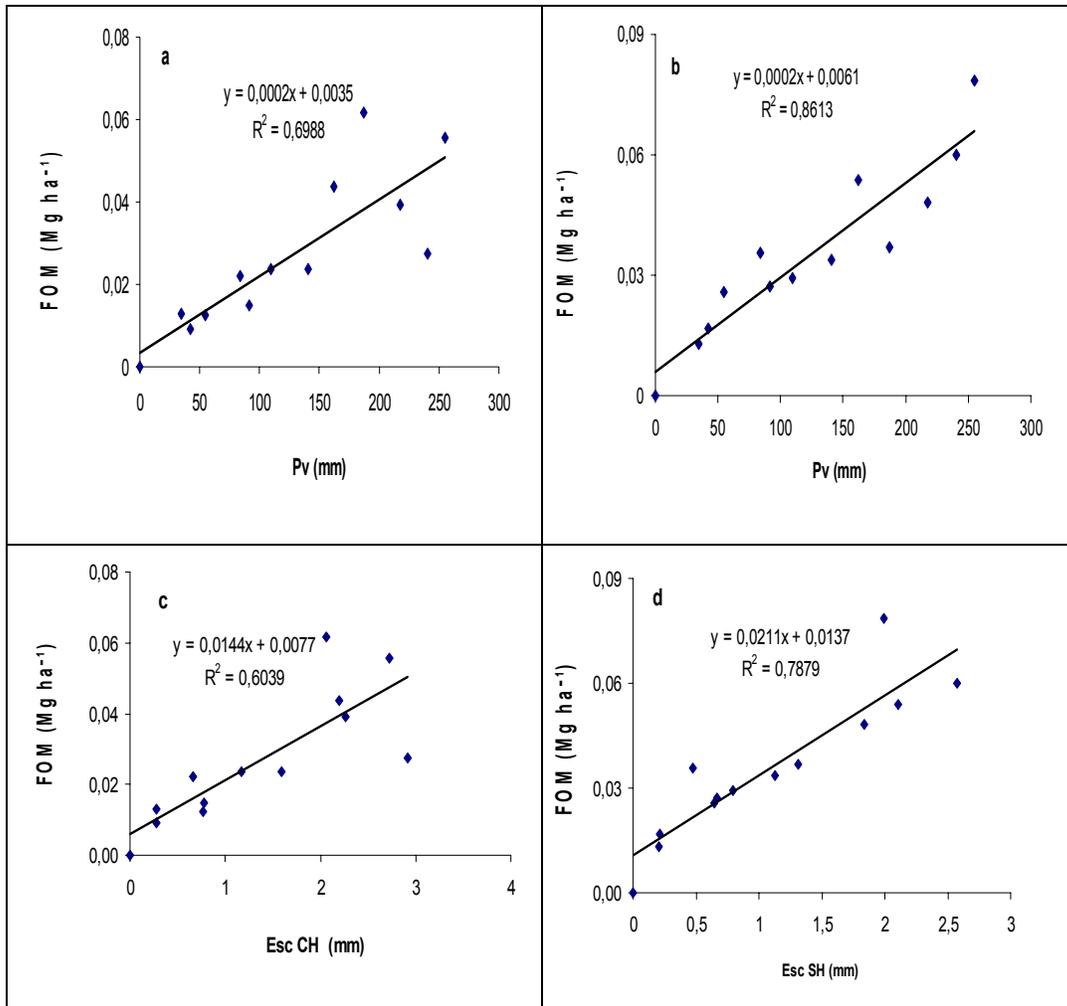
FRACCIÓN ORGANOMINERAL ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )								
Sistema	Suspensión		Fina		Gruesa		FOM Total	
	SH	CH	SH	CH	SH	CH	SH	CH
<b>SN</b>	0,12 $\pm$ 0,03 a	0,12 $\pm$ 0,03 a	0,30 $\pm$ 0,07 a	0,21 $\pm$ 0,06 a	0,03 $\pm$ 0,02 a	0,03 $\pm$ 0,01 a	<b>0,46 <math>\pm</math> 0,11 a</b>	<b>0,35 <math>\pm</math> 0,06 a</b>
(%)	<b>26,72 <math>\pm</math> 5,55</b>	<b>33,52 <math>\pm</math> 7,30</b>	<b>65,79 <math>\pm</math> 15,94</b>	<b>59,13 <math>\pm</math> 16,35</b>	<b>7,45 <math>\pm</math> 3,56</b>	<b>7,35 <math>\pm</math> 2,88</b>	100,00	100,00
<b>PZ</b>	0,64 $\pm$ 0,38 a	0,21 $\pm$ 0,09 a	0,32 $\pm$ 0,47 a	0,16 $\pm$ 0,02 a	0,35 $\pm$ 0,46 a	0,02 $\pm$ 0,01 a	<b>1,31 <math>\pm</math> 0,60 a</b>	<b>0,39 <math>\pm</math> 0,08 a</b>
(%)	<b>49,08 <math>\pm</math> 28,68</b>	<b>55,05 <math>\pm</math> 24,16</b>	<b>24,75 <math>\pm</math> 35,75</b>	<b>40,97 <math>\pm</math> 3,86</b>	<b>26,53 <math>\pm</math> 35,12</b>	<b>3,98 <math>\pm</math> 1,40</b>	100,00	100,00
<b>SS</b>	0,43 $\pm$ 0,20 a	0,13 $\pm$ 0,01 a	2,80 $\pm$ 1,87 ab	0,17 $\pm$ 0,06 a	0,58 $\pm$ 0,57 ab	0,04 $\pm$ 0,03 a	<b>3,80 <math>\pm</math> 2,59 a</b>	<b>0,34 <math>\pm</math> 0,06 a</b>
(%)	<b>11,26 <math>\pm</math> 5,31</b>	<b>38,89 <math>\pm</math> 3,03</b>	<b>73,60 <math>\pm</math> 49,12</b>	<b>49,15 <math>\pm</math> 17,48</b>	<b>15,14 <math>\pm</math> 15,10</b>	<b>11,96 <math>\pm</math> 10,12</b>	100,00	100,00
<b>CT</b>	6,63 $\pm$ 2,91 b	0,99 $\pm$ 0,17 c	5,41 $\pm$ 2,19 b	0,38 $\pm$ 0,08 ca	3,00 $\pm$ 0,70 b	0,64 $\pm$ 0,33 ca	<b>15,03 <math>\pm</math> 4,53 b</b>	<b>2,01 <math>\pm</math> 0,47 c</b>
(%)	<b>44,07 <math>\pm</math> 19,34</b>	<b>49,27 <math>\pm</math> 8,68</b>	<b>35,97 <math>\pm</math> 14,53</b>	<b>18,75 <math>\pm</math> 4,04</b>	<b>19,96 <math>\pm</math> 4,63</b>	<b>31,98 <math>\pm</math> 16,51</b>	100,00	100,00



**Figura 36:** Pérdida de la fracción organomineral mensual en el tratamiento sin hojarasca de la selva nublada, expresada en  $\text{Mg ha}^{-1}$  en tres fracciones: suspensión, fina ( $< 2 \text{ mm}$ ) y gruesa ( $> 2 \text{ mm}$ ), desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.



**Figura 37:** Pérdida de la fracción organomineral mensual en el tratamiento con hojarasca de la selva nublada, expresada en  $\text{Mg ha}^{-1}$  en tres fracciones: suspensión, fina ( $< 2 \text{ mm}$ ) y gruesa ( $> 2 \text{ mm}$ ), desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

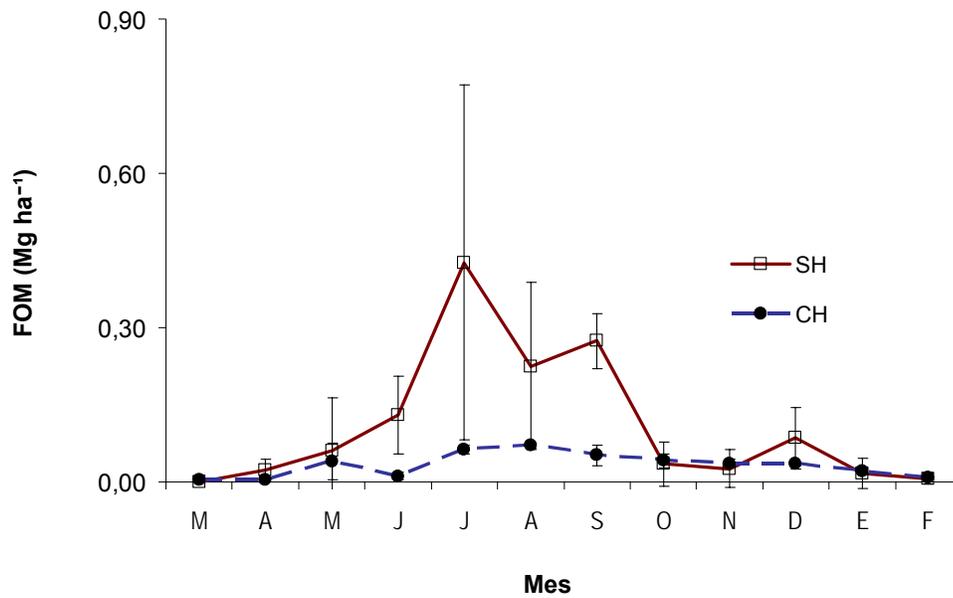


**Figura 38:** Correlación entre: precipitación vertical (Pv) y fracción organomineral (FOM) total de a) tratamiento con hojarasca y b) tratamiento sin hojarasca, Esgurrimiento superficial (Esc) y FOM total de c) tratamiento con hojarasca y d) tratamiento sin hojarasca.

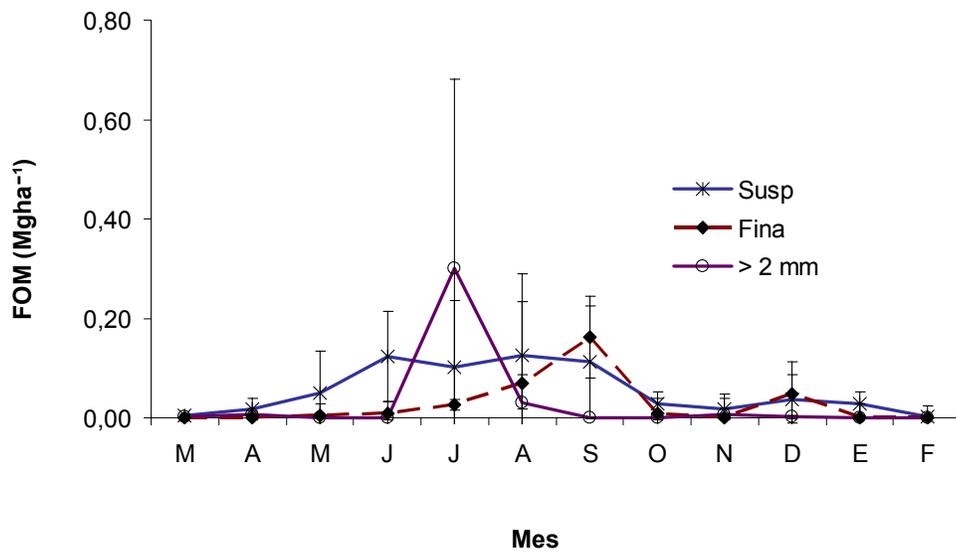
### 5.1.2 Pérdida de la fracción organomineral en el pastizal

Aunque estadísticamente no se presentaron diferencias significativas en ningunos de los meses del año entre ambos tratamientos ( $p>0,05$ ), para el pastizal de kikuyo se registró un incremento en la pérdida total de suelo mayor de tres veces en las parcelas a las que se les retiró la hojarasca en relación a aquellas que se les dejó su hojarasca intacta,  $1,31 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $0,39 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Tabla 5). En este orden, la fracción en suspensión fue la que aportó las mayores pérdidas de suelo, con 49,7% del total de la pérdida de FOM en el tratamiento SH y 55% en el tratamiento CH, seguida por la fracción fina con 33,1% en SH, y 41% en CH, mientras para la fracción gruesa se reportaron 17,1% en SH y 4% en CH. En concordancia a las hipótesis planteadas en este trabajo, para ambos tratamientos (CH y SH) de este agroecosistema la pérdida de FOM total fue mayor que la registrada en la selva nublada (Tabla 5).

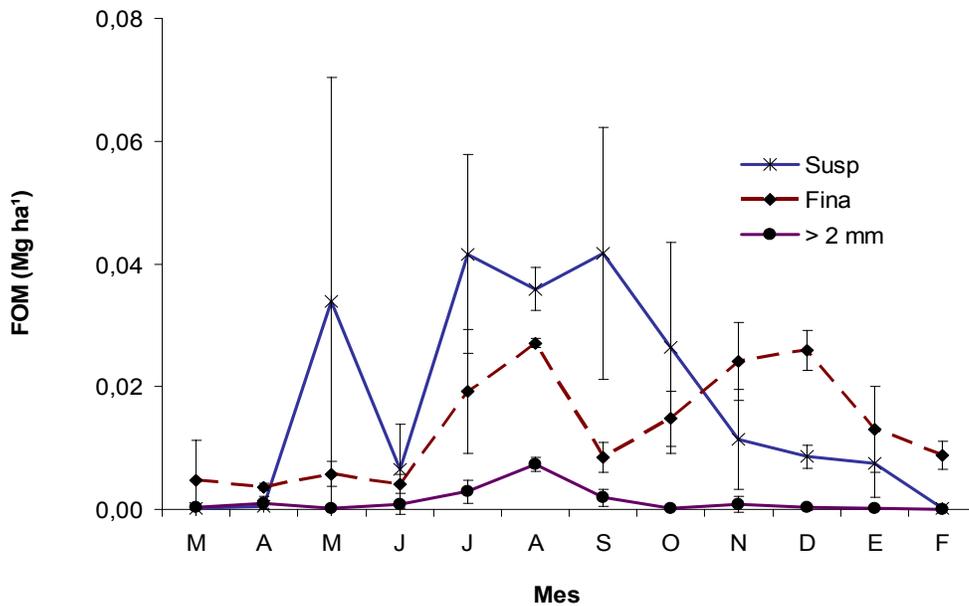
En cuanto a la distribución de pérdida de FOM total, el pastizal de kikuyo presentó un máximo bien diferenciado en el tratamiento SH correspondientes al mes de julio ( $0,43 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ), con una tendencia similar a la seguida por la precipitación vertical y al escurrimiento superficial (Figura 39, anexo 8). Al respecto, la fracción en suspensión estuvo por encima que la fracción fina en los periodos más húmedos del año de muestreos en ambos tratamientos y mayor que la fracción gruesa de SH en casi todos los meses del año, exceptuando el mes de julio cuando la fracción organomineral gruesa superó tanto a la fracción en suspensión como a la fracción fina (Figuras 40). Por su parte los montos de fracción organomineral fina fueron mayores que los de la fracción en suspensión durante los periodos menos húmedos, mientras que la fracción gruesa permaneció siempre por debajo que las demás fracciones de suelo en todo el año de medidas en los dos tratamientos (Figura 40 y 41). En general los meses en los que se perdió menos fracción organomineral fueron: marzo a abril (2007) y enero a febrero (2008) correspondientes a los periodos menos húmedos de este agroecosistema.



**Figura 39:** Pérdida de la fracción organomineral total en el tratamiento sin hojarasca (SH) y tratamiento con hojarasca (CH) del pastizal de kikuyo, expresada en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$  desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

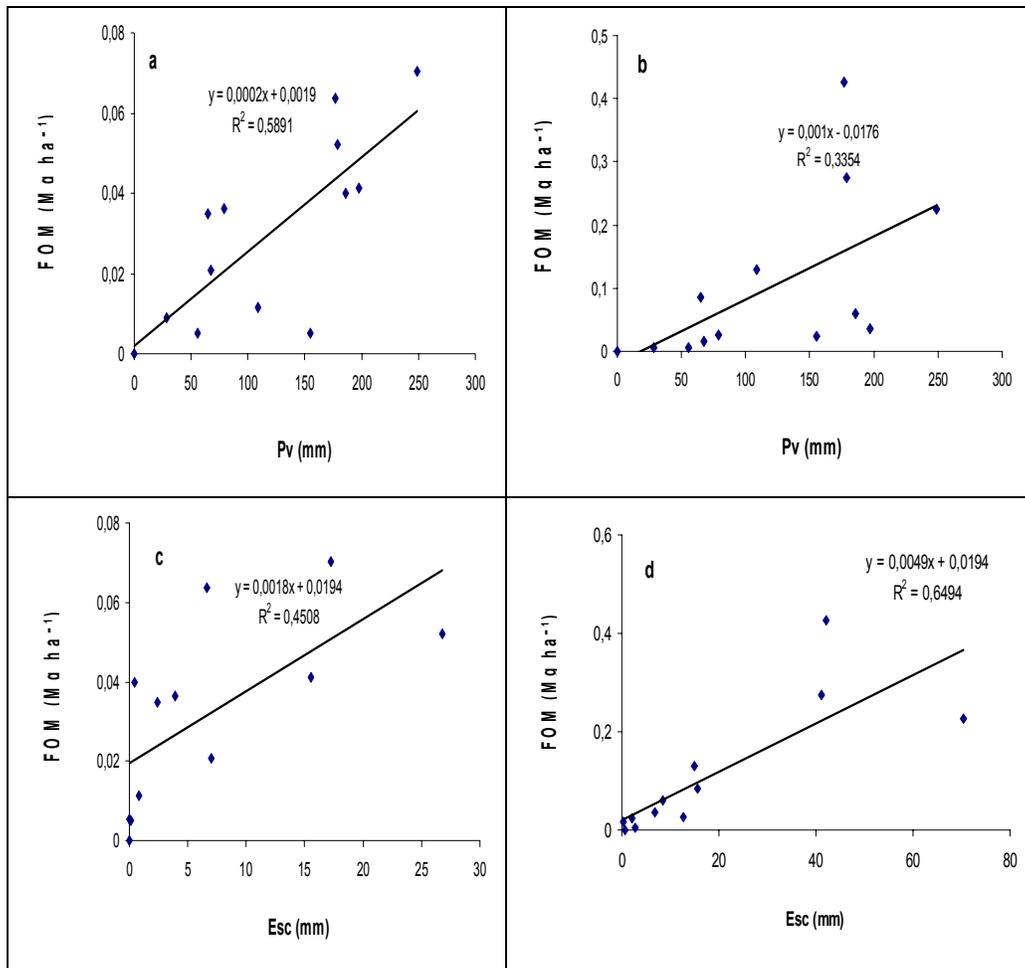


**Figura 40:** Pérdida de la fracción organomineral mensual en el tratamiento sin hojarasca del pastizal de kikuyo, expresada en  $\text{Mg ha}^{-1}$ , en tres fracciones: en suspensión, fina ( $< 2 \text{ mm}$ ) y gruesa ( $> 2 \text{ mm}$ ), desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.



**Figura 41:** Pérdida de la fracción organomineral mensual en el tratamiento con hojarasca del pastizal de kikuyo, expresada en  $\text{Mg ha}^{-1}$  en tres fracciones: suspensión, fina ( $< 2 \text{ mm}$ ) y gruesa ( $> 2 \text{ mm}$ ), desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

La distribución de las pérdidas mensuales de fracción organomineral total además de mostrar tendencias similares con el escurrimiento y la precipitación vertical también presentó una fuerte asociación con estas dos variables hídricas para los dos tratamientos resultando en este caso una mayor asociación con el escurrimiento que con la precipitación (Figura 42).



**Figura 42:** Correlación entre: 1) precipitación vertical (Pv) y fracción organomineral (FOM) total del tratamiento con hojarasca (a) y tratamiento sin hojarasca (b), 2) Escurrimiento superficial (Esc) y FOM del tratamiento con hojarasca (c) y sin hojarasca (d) del pastizal de kikuyo.

### 5.1.3 Pérdida de la fracción organomineral en la selva húmeda submontana

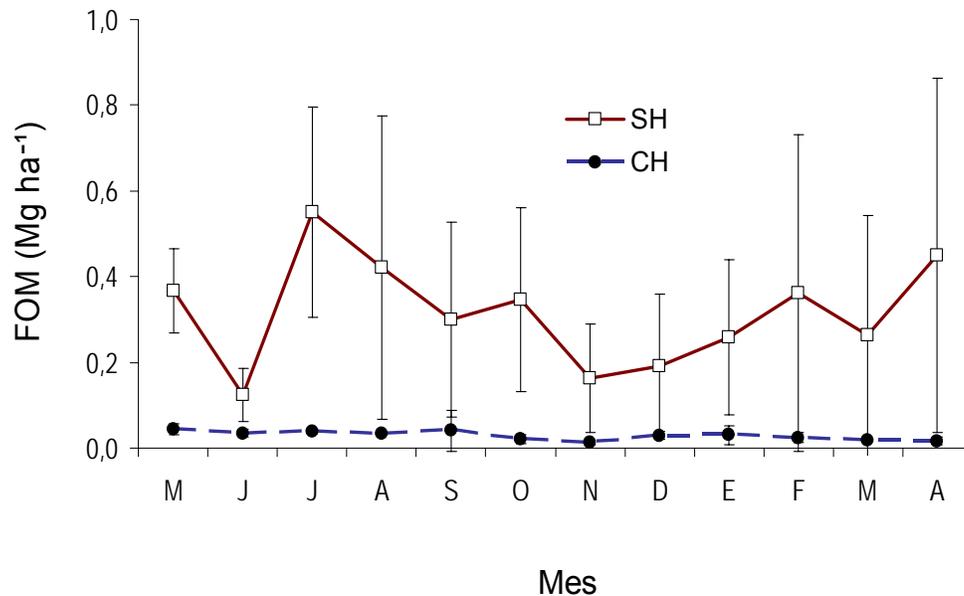
En la selva húmeda submontana se cuantificó una erosión hídrica laminar de  $3,80 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  de suelo en las parcelas desprovistas de hojarasca y  $0,34 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  en las parcelas con hojarasca, correspondiendo la mayor cantidad de suelo a la fracción fina (73,6% SH y 49,2% CH), mientras que de la fracción en suspensión se cuantificó 11,3% en SH y 38,9% en CH (tabla 5). Sin embargo en el tratamiento SH el aporte de suelo perdido fue mayor por parte de la fracción gruesa en comparación a la fracción en suspensión (15,1% y 11,3%).

Según el análisis de varianza (anova) sólo existieron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos para los meses mayo y julio, mientras que para el resto de los meses, (incluyendo en los que se registró mayor precipitación) no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Sin embargo y en concordancia con las hipótesis de esta investigación para la selva húmeda submontana se cuantificó mayores pérdidas de suelo en el tratamiento sin hojarasca en comparación al tratamiento con hojarasca durante todo el año de estudio (Tabla 5). En la figura 43 se aprecia claramente estas diferencias entre tratamientos, permaneciendo SH siempre por encima de CH a lo largo del año, con la presencia de dos máximos bien diferenciados, uno en los meses de julio a agosto y el otro en abril, mientras que el tratamiento con hojarasca no presentó picos en su distribución de pérdidas mensuales de suelo.

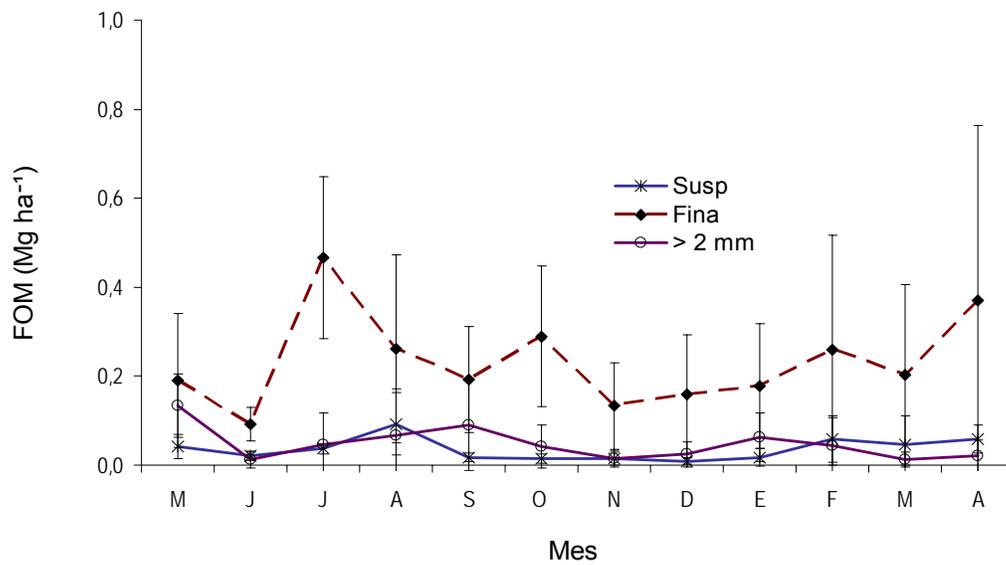
Cabe mencionar que las diferencias en la desviación estándar de la pérdida de FOM del tratamiento sin hojarasca de la selva húmeda submontana que se muestra en la figura 43, se debió a grandes variaciones en los montos de pérdida de FOM entre las réplicas de SH. Al respecto, de las tres réplicas empleadas una (parcela 17) presentó montos muy altos de pérdida de FOM y de escurrimiento superficial en comparación al resto de las parcelas (13 y 14), lo cual se atribuye al mayor grado de inclinación de la pendiente, facilitando así

un mayor escurrimiento superficial en esta parcela (17) y por consiguiente un mayor arrastre del suelo.

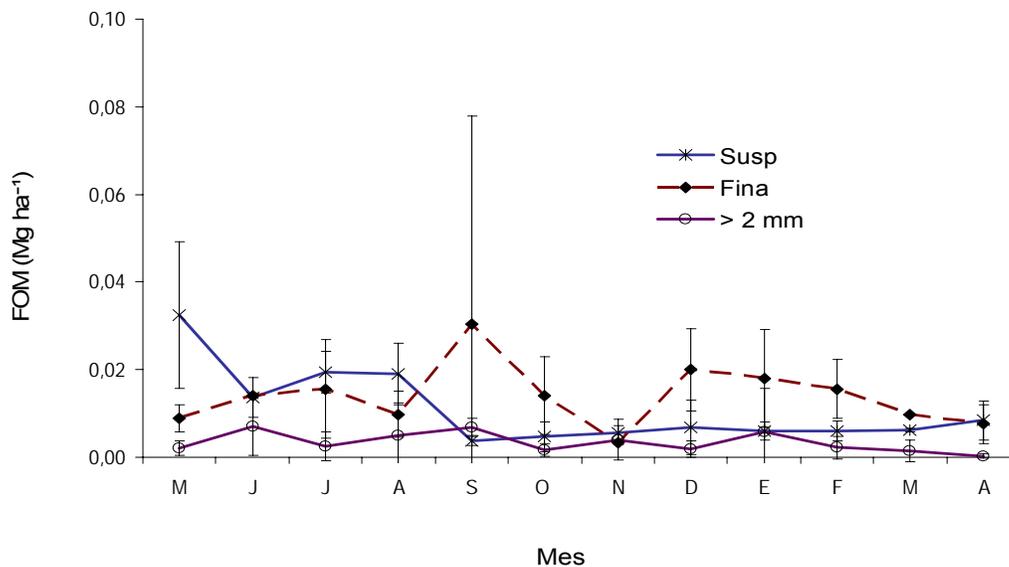
Por otro lado la fracción organomineral fina se mantuvo por encima del resto de las demás fracciones en todos los meses del año para el tratamiento sin hojarasca y el tratamiento con hojarasca, con la excepción de los cuatro primeros meses del año para CH en los que predominó la fracción en suspensión (Figuras 44 y 45). Así mismo, la fracción en suspensión de ambos tratamientos estuvo por encima en el tratamiento sin hojarasca en comparación al tratamiento con hojarasca durante todo el tiempo de muestreo.



**Figura 43:** Pérdida de la fracción organomineral total en el tratamiento sin hojarasca (SH) y el tratamiento con hojarasca (CH) de la selva húmeda submontana, expresada en Mg ha<sup>-1</sup> (mayo 2007 a abril 2008). Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

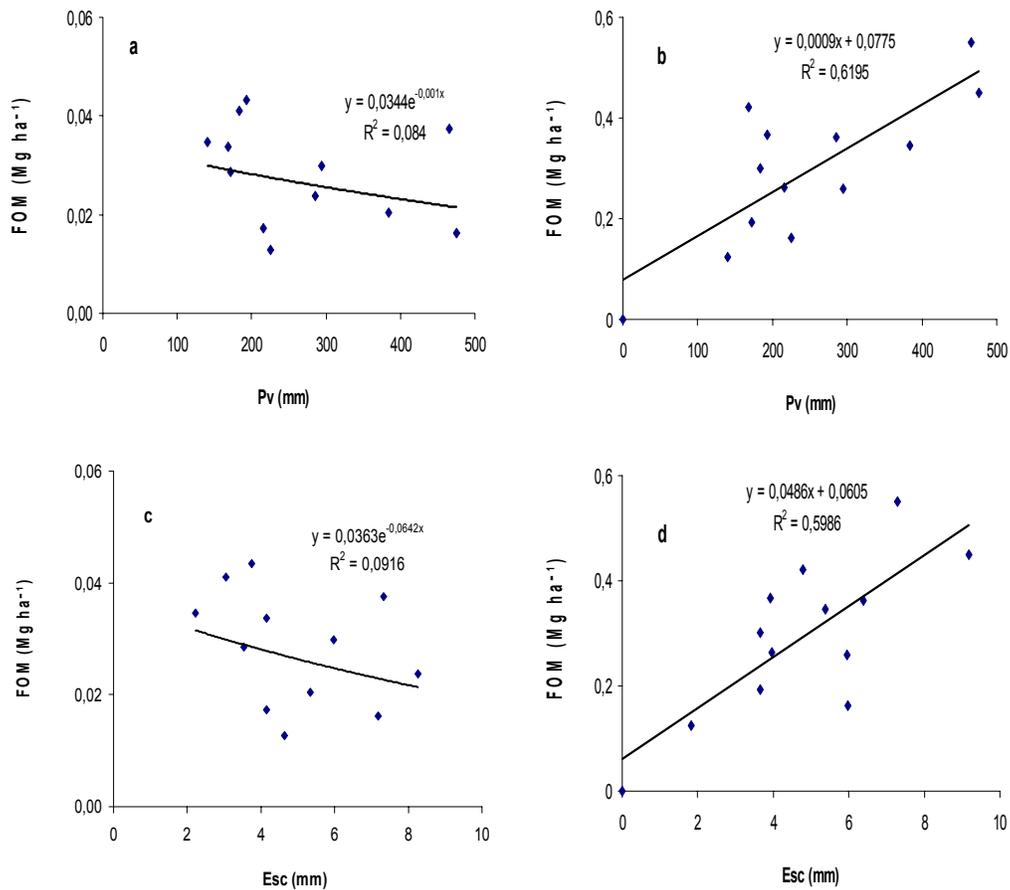


**Figura 44:** Pérdida de la fracción organomineral mensual en el tratamiento sin hojarasca de la selva húmeda submontana, medida en tres fracciones: en suspensión, fina (< 2 mm); y gruesa (> 2 mm), expresada en  $\text{Mg ha}^{-1}$ , desde mayo 2007 a abril 2008. Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.



**Figura 45:** Pérdida de la fracción organomineral mensual en el tratamiento con hojarasca de la selva húmeda submontana, medida en tres fracciones: en suspensión, fina (< 2 mm); y gruesa (> 2 mm), expresada en  $\text{Mg ha}^{-1}$ , desde mayo 2007 a abril 2008. Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

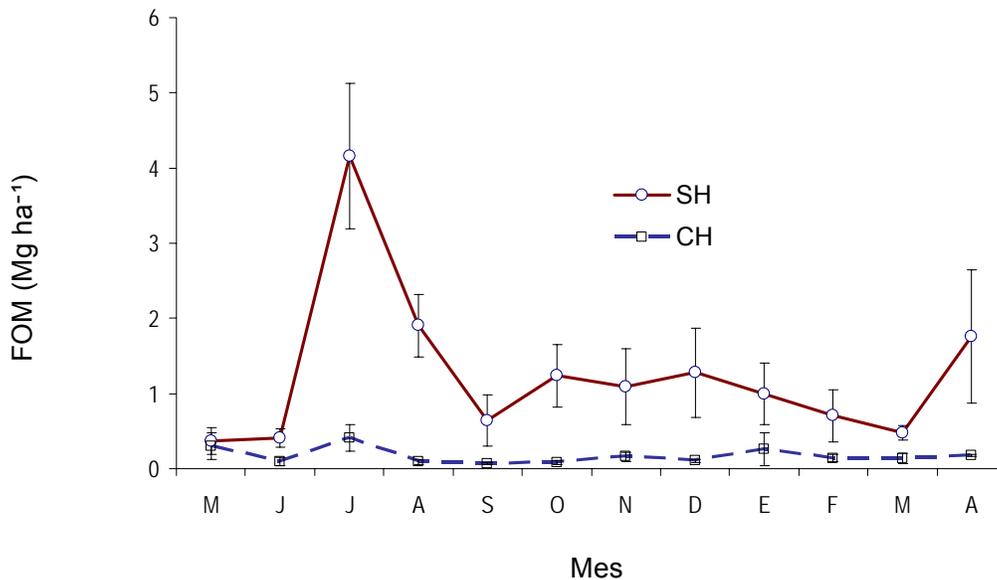
Según los coeficientes de correlación mostrados en la figura 46 no existió una correlación tanto con la precipitación vertical y el escurrimiento superficial con las pérdidas de fracción organomineral total del tratamiento con hojarasca ( $R^2 = 0,084$  a;  $0,0916$  c). Sin embargo en el tratamiento sin hojarasca si hubo una moderada correlación entre la precipitación vertical, el escurrimiento superficial y la fracción organomineral total ( $R^2 = 0,6195$  b;  $0,5986$  d).



**Figura 46:** Correlación entre: 1) precipitación vertical mensual (Pv) y fracción organomineral mensual del tratamiento con hojarasca (a) y tratamiento sin hojarasca (b), 2) Escurrimiento superficial mensual (Esc) y FOM del tratamiento con hojarasca (c) y sin hojarasca (d), de la selva húmeda submontana.

### 5.1.4 Pérdida de la fracción organomineral en el cultivo de cacao

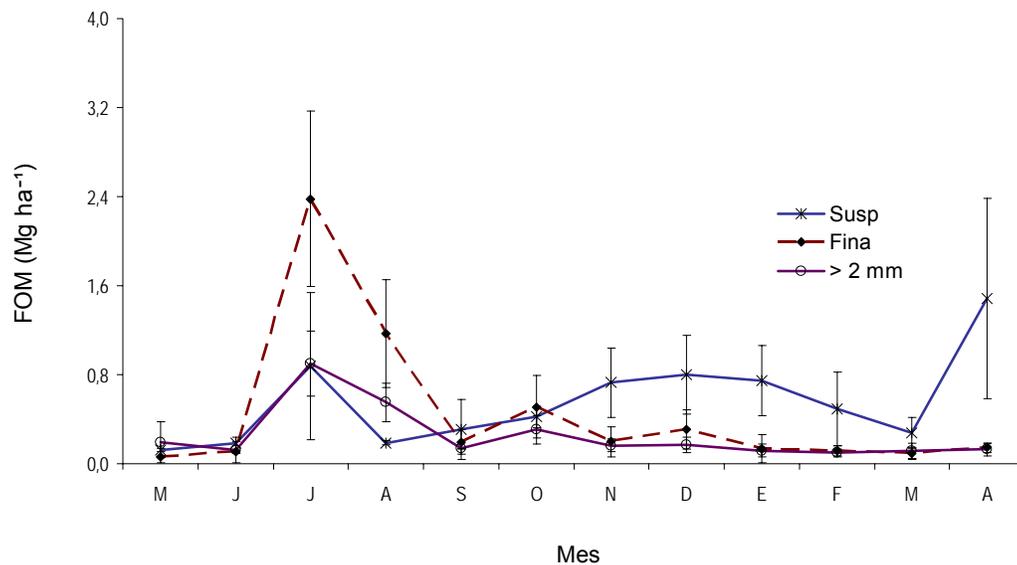
De los cuatro ambientes en estudio, el cacaotal fue el agroecosistema que presentó los montos más altos de pérdida de fracción organomineral (Tabla 5). Para el tratamiento sin hojarasca la FOM perdida fue de  $15,03 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  y  $2,01 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  para el tratamiento con hojarasca (Tabla 5). Además en este ambiente se registró las mayores pérdidas de suelo en el tratamiento sin hojarasca como fracción en suspensión y fracción fina (44 % y 36 %, tabla 5). En el tratamiento con hojarasca la fracción gruesa fue mayor que la fracción fina ( $0,64$  y  $0,38 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ), sin embargo fue la fracción en suspensión la que representó las mayores pérdidas de suelo a lo largo del año en ambos tratamientos.



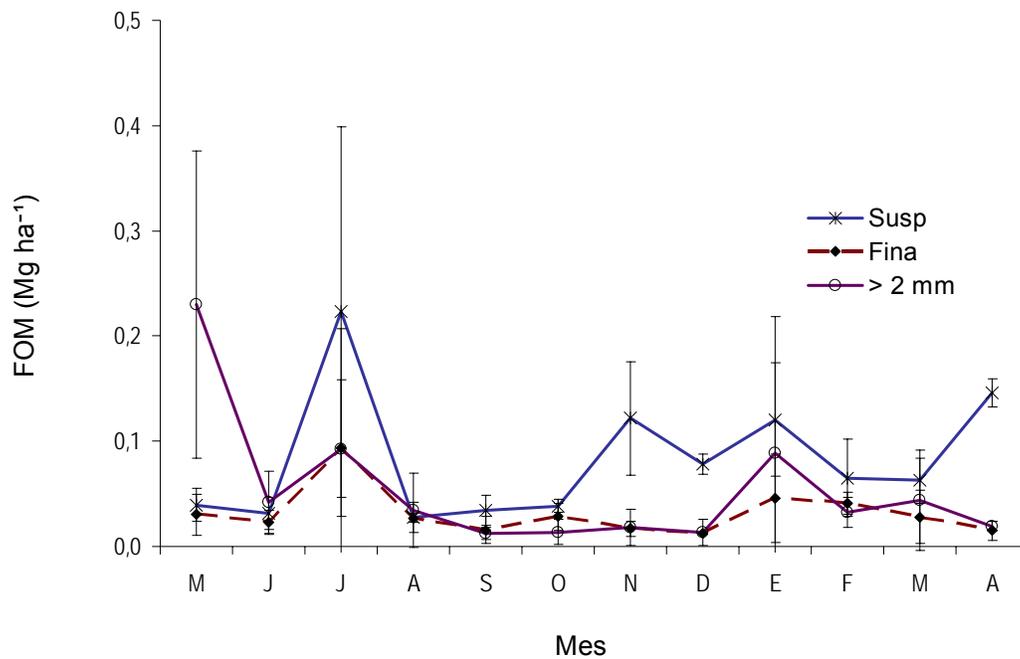
**Figura 47:** Pérdida de fracción organomineral total en el tratamiento sin hojarasca (SH) y el tratamiento con hojarasca (CH) del cacaotal (*Theobroma cacao*), expresada en  $\text{Mg ha}^{-1}$ , desde mayo 2007 a abril 2008. Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

En este caso, como se puede apreciar claramente en la figura 47 las pérdidas de fracción organomineral fueron mayores durante todos los meses

del año para el tratamiento sin hojarasca en relación al tratamiento con hojarasca, con un máximo en el mes de julio, en el cual ocurrieron las mayores pérdidas de todas las fracciones (suspensión, fina y gruesa) para ambos tratamientos (Figuras 48 y 49), mientras que los meses mayo, junio, septiembre (2007) y marzo (2008) fue cuando se registró las menores pérdidas de suelo en este agroecosistema. Al respecto, el análisis estadístico (anova) mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el tratamiento sin hojarasca y el tratamiento con hojarasca en todos los meses del año, excepto en el primer mes de mediciones (Mayo,  $p > 0,05$ ).

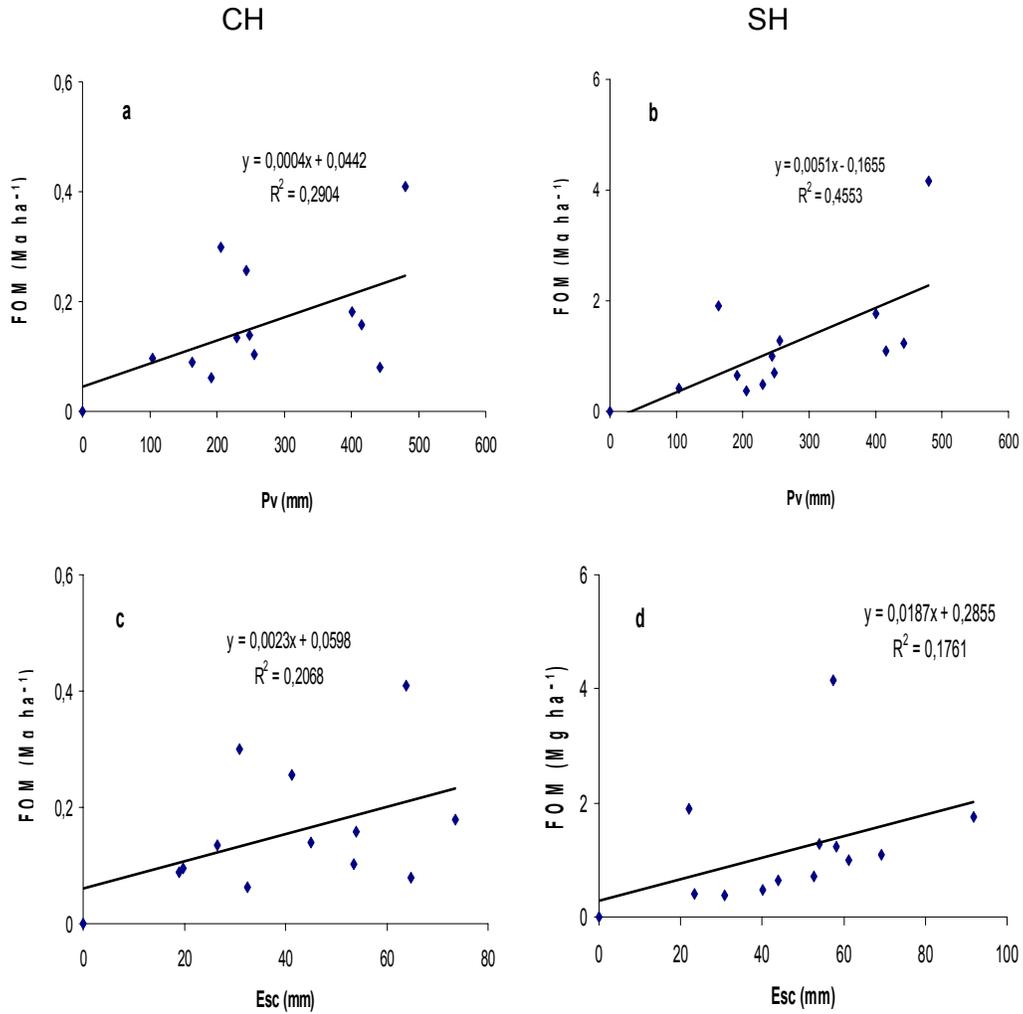


**Figura 48:** Pérdida mensual de la fracción organomineral en el tratamiento sin hojarasca del cacaotal medida en tres fracciones: en suspensión, fina (< 2 mm) y gruesa (> 2 mm), expresada en Mg ha<sup>-1</sup>, desde mayo 2007 a abril 2008. Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.



**Figura 49:** Pérdida mensual de la fracción organomineral en el tratamiento con hojarasca del cacaotal medida en tres fracciones: en suspensión, fina (< 2 mm); y gruesa (> 2 mm), expresada en Mg ha<sup>-1</sup>, desde mayo 2007 a abril 2008. Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

La relación entre la precipitación vertical y las pérdidas de fracción organomineral en el cacaotal fueron bajas ( $R^2= 0,2904$ ;  $R^2= 0,4553$ ) para ambos tratamientos, siendo mayor para el tratamiento sin hojarasca; así mismo la relación entre el escurrimiento superficial y la fracción organomineral (Total) en los dos tratamientos fue también baja con un  $R^2$  de 0,2068 en CH y un  $R^2$  de 0,1761 para SH (Figura 50).



**Figura 50:** Correlación entre: 1) precipitación vertical (PPv) y fracción organomineral del tratamiento con hojarasca (a) y tratamiento sin hojarasca (b), 2) Escorrentia superficial (Esc) y FOM del tratamiento con hojarasca (c) y sin hojarasca (d), del cacaoal.

### 5.1.5 Comparación entre sistemas

#### 5.1.5.1 Selva nublada y pastizal de kikuyo

En el tratamiento sin hojarasca de la selva nublada y en el pastizal de kikuyo se cuantificó por erosión hídrica laminar un total de  $0,46 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  y  $1,31 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , respectivamente, con una diferencia de  $0,85 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  entre un sistema y otro. Paralelamente en el tratamiento con hojarasca de la selva nublada y del pastizal de kikuyo se cuantificó  $0,35 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  y  $0,39 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , pudiéndose registrar una diferencia entre estos dos sistemas de  $0,04 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (Tabla 5). Al respecto, estadísticamente hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre la fracción organomineral que se perdió por erosión en el tratamiento sin hojarasca de estos dos sistemas sólo en los dos primeros meses y en el último mes de muestreo (mayo, abril y febrero), mientras en el tratamiento con hojarasca estas diferencias significativas ocurrieron sólo a mediados (julio y agosto) y a final del año de muestreos (noviembre, diciembre y enero); es decir que en ningunos de los tratamientos existieron marcadas diferencias estadísticas entre la fracción organomineral total pérdida de estos dos sistemas.

Así mismo de las tres fracciones medidas (Tabla 5), la fracción en suspensión para ambos tratamientos (SH y CH) fue mayor en pastizal de kikuyo (49,7% y 55%) que en la selva nublada (26,7% y 33%). Mientras que las pérdidas por fracción fina resultaron mayores para la selva nublada (65,8% y 59%) que el pastizal (33% y 41%) respectivamente. En contraste la fracción gruesa ( $>2 \text{ mm}$ ) fue mayor en el tratamiento sin hojarasca del pastizal de kikuyo (26,5%) que la selva (7,5%) y mayor en el tratamiento con hojarasca de la selva nublada (7,3%) que en el pastizal (4%). Al respecto, el análisis estadístico (anova) al igual que en la FOM total, en la fracción en suspensión, fracción fina y fracción gruesa no mostró diferencias significativas entre tratamientos de estos dos sistemas.

### 5.1.5.2 Selva húmeda submontana y cacaotal

Por su parte en la selva húmeda submontana y en el cacaotal se registró un total de 3,8 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y 15,03 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para el tratamiento sin hojarasca presentando una diferencia de 11,23 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> entre dichos sistemas. Así mismo en el tratamiento con hojarasca se cuantificó 2,01 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para el cacao y 0,34 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para la selva, con una diferencia de 1,67 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> entre estos sistemas (Tabla 5).

De acuerdo al análisis estadístico de las pérdidas de fracción organomineral en el tratamiento sin hojarasca de la selva húmeda submontana y del cacaotal se presentaron diferencias significativas en los meses de junio a agosto y de octubre a enero ( $p < 0,05$ ) de ambos sistemas. En este orden para el tratamiento con hojarasca las diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) ocurrieron en casi todos los meses del año: julio y agosto, octubre a diciembre y febrero a abril.

Los montos de la fracción en suspensión erosionada tanto en el tratamiento sin hojarasca como el con hojarasca (Tabla 5) fueron mayores en el cacaotal (44 % y 49 %) que los registrados en la selva húmeda submontana (11 % y 39 %), mostrando diferencias significativas entre tratamientos de estos dos sistemas. No obstante las pérdidas por fracción fina para ambos tratamientos resultaron mayores en la selva (74% y 49%) que el cacaotal (36 % y 19 %). Al contrario la fracción gruesa resultó mayor para el cacaotal (20 % y 32 %) que para la selva húmeda submontana (15 % y 12 %). Sin embargo estadísticamente las fracciones fina y gruesa no mostraron diferencias significativas para la selva húmeda submontana y el cacaotal (tabla 5).

### 5.1.5.3 Selva nublada y selva húmeda submontana

De acuerdo al análisis estadístico (anova de un factor) para el tratamiento sin hojarasca sólo se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

en las pérdidas de fracción organomineral total de la selva nublada y selva húmeda submontana en el primer y tercer mes de mediciones, mientras que para el tratamiento con hojarasca correspondió al primero, sexto, séptimo y décimo primero mes de mediciones de estos dos ecosistemas naturales ( $p < 0,05$ ). Aunque estadísticamente las diferencias en las pérdidas de fracción organomineral entre las selvas estudiadas fueron mínimas para el tratamiento sin hojarasca, el monto anual registrado para la selva húmeda submontana resultó  $3,34 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  mayor que el correspondiente a la selva nublada ( $0,46 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ). Así mismo, para el tratamiento con hojarasca los montos en la pérdida de suelo resultaron mas o menos equiparables ( $0,34 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  y  $0,35 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ) entre estos ecosistemas. Al respecto, la fracción en suspensión del tratamiento sin hojarasca de la selva nublada representó un mayor aporte (27%) del total de suelo perdido que el registrado por la selva submontana (11%). Por el contrario la fracción fina fue mayor (74%) en la selva húmeda submontana que en la selva nublada (66%). Mientras que para el tratamiento con hojarasca la fracción en suspensión y la fracción fina de la selva submontana fue 39% y 49%, en la selva nublada esta fue de 33% y 59% respectivamente. Paralelamente la fracción gruesa resultó mayor en ambos tratamientos de la selva submontana que en la selva nublada. No obstante, para ninguna de las fracciones se mostraron diferencias significativas (Tabla 5).

#### 5.1.5.4 Pastizal y cacaotal

Los montos totales cuantificados en el cacaotal resultaron claramente por encima ( $15$  y  $2 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ) a los montos registrados en el pastizal ( $1,31$  y  $0,39 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ) para ambos tratamientos. En consecuencia para el tratamiento sin hojarasca y el tratamiento con hojarasca de estos agroecosistemas el análisis estadístico mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las pérdidas de fracción organomineral total en todos los meses a lo largo del año de estudio. Por su parte el aporte porcentual de suelo perdido como fracción en suspensión fue superior para el pastizal (49 % y 55 %) que el cacaotal (44 % y 49 %) en los dos tratamientos, mientras que en el tratamiento

sin hojarasca del cacaotal, fue la fracción fina la que dio el mayor aporte de suelo perdido (36 %) que el pastizal (25 %). Contrariamente en el tratamiento con hojarasca las pérdidas de fracción fina fueron mayores para el pastizal de kikuyo (41 %) que el cacaotal (19 %), con diferencias significativas en casi todos los meses de mediciones. En relación al aporte de la fracción gruesa este fue mayor en el cacaotal que en el pastizal para los dos tratamientos (Tabla 5). Sin embargo para la fracción en suspensión, la prueba estadística mostró diferencias significativas entre los tratamientos de éstos agroecosistemas, y para la fracción fina y fracción gruesa sólo mostró diferencias significativas en el tratamiento sin hojarasca.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN. PÉRDIDA DE LA FRACCIÓN ORGANOMINERAL

Evidentemente la hojarasca representa un rol muy importante en la dinámica hídrica y en la erosión de los suelos de los ecosistemas y agroecosistemas (Ataroff y Monasterio 1996), tal como se supuso en las hipótesis de este trabajo. Al respecto, la selva nublada y la selva húmeda submontana presentaron los menores montos en pérdida de fracción organomineral por erosión hídrica laminar que sus respectivos agroecosistemas de reemplazo. En este sentido, los mayores montos de pérdidas de la fracción organomineral correspondieron a los sistemas menos provistos de hojarasca y de menor complejidad estructural en su vegetación, a saber, agroecosistemas pastizal y cacaotal, comparados con sus respectivas selvas naturales, las cuales se ubicaron en un rango de 75 a 100 % de cobertura a ras del suelo (hojarasca) y presentaron cinco estratos de vegetación, que les confiere una cobertura aérea cerrada comprendida entre 75 y 100 % cada una. En efecto en otras investigaciones agroecológicas las menores pérdidas de suelo también correspondieron a aquellos sistemas con mejor y mayor cobertura del suelo, disminuyendo los montos por escurrimiento y por ende el arrastre de sedimentos (Vahrson y Cervantes 1991, Ibarra *et al* 1996, Ataroff y Monasterio 1996, Pérez y López 2000, Arellano 2001, Torres *et al* 2005).

En este orden, los montos totales (anual) de fracción organomineral también fueron mayores en el tratamiento sin hojarasca en relación al tratamiento con hojarasca para cada uno de los sistemas estudiados, con una diferencia anual entre el tratamientos de  $0,11 \text{ Mg ha}^{-1}$  en la selva nublada,  $0,92 \text{ Mg ha}^{-1}$  en el pastizal,  $3,46 \text{ Mg ha}^{-1}$  en la selva húmeda submontana y  $13,02 \text{ Mg ha}^{-1}$  en el cacaotal, respectivamente. Estos resultados evidencian la importancia de la hojarasca en su rol de proteger al suelo de la agresividad de las lluvias. Otros estudios sobre el efecto que ejerce la cobertura a ras del suelo en el control del escurrimiento y la pérdida de suelo concluyen que los residuos y la hojarasca en superficie reducen marcadamente el escurrimiento y las

pérdidas desuelo por erosión hídrica (Gómez 1990, Vahrson y Cervantes 1991, Páez y Rodríguez 1995, Urbina y Rodríguez 1995, Roose 1996).

Comparativamente las mayores de pérdidas de fracción organomineral más fina (en suspensión) se obtuvieron en el tratamiento con hojarasca de cada uno de los sistemas estudiados y a su vez esta fue mayor en el tratamiento con hojarasca y sin hojarasca de los agroecosistemas pastizal y cacaotal, en relación a la selva nublada y selva húmeda submontana, respectivamente, lo que permite sugerir una explicación respecto a los efectos de las características de la cobertura de vegetación (aérea) y a ras del suelo (hojarasca) en la incidencia relativa del impacto de las gotas de lluvia en la disgregación del suelo y en el escurrimiento. De esta manera el incremento en las pérdidas de fracción en suspensión en el tratamiento con hojarasca puede atribuirse a menores impactos de las gotas de precipitación sobre el suelo, disminuyendo su poder de erosivo por la amortiguación que ofrece la hojarasca, lo que justifica un mayor predominio del escurrimiento en la remoción y transporte de las partículas más finas (suspensión) del suelo cubierto por la hojarasca (Ibarra *et al* 1996, Sánchez *et al* 2002).

No obstante, las escasas diferencias ( $p > 0,05$ ) en las pérdidas de suelo entre tratamientos de la selva nublada y del pastizal de kikuyo posiblemente es el resultado de un efecto combinado de precipitaciones de baja intensidad, leves pendientes ( $19^\circ$  y  $10^\circ$ ) y alta capacidad de infiltración del suelo de esos sistemas (98,7 % selva nublada y 90,7 % pastizal) generando consecuentemente bajos montos de escurrimiento superficial y poco arrastre de sedimentos, en comparación a la selva húmeda submontana, cacaotal y a otros sistemas tropicales que si mostraron diferencias importantes en función de la pendiente de los suelos (Ibarra *et al* 1996, Vahrson y Cervantes 1991).

Es importante destacar que a pesar del criterio generalizado que existe sobre el efecto compactante del pisoteo del ganado (Ataroff y Rada 2000, Pérez y López, 2000) y más aún al tratarse de ganadería intensiva, este no se

hizo tan evidente como debería esperarse en los montos de escurrimiento y de pérdidas de fracción organomineral del pastizal de kikuyo. Probablemente la erosionabilidad de este suelo esté muy asociada a sucesos de cambios en las características físicas y químicas del suelo producto de su historia de manejo. Así mismo, Vahrson y Cervantes (1991) encontraron que el pisoteo del ganado básicamente afectó la distribución del tamaño de los poros, con una menor presencia de poros medios y gruesos en un tratamiento con pastoreo, razón por la cual la infiltración se hizo más lenta y el escurrimiento fue mayor en el pastizal, en relación a otros sistemas donde no hubo ningún tipo de pastoreo. Al respecto, Ataroff y Rada (2000) propusieron que en una gradación de intensidades de pastoreo, los pastizales de kikuyo sometidos a altas intensidades de pastoreo posiblemente aumentarían el escurrimiento superficial y la evaporación del suelo, mientras disminuiría la intercepción y la transpiración.

En contraste, las mayores pérdidas de fracción fina (< 2 mm) del suelo se registraron en el tratamiento sin hojarasca de todos los sistemas estudiados (excepto en el pastizal de kikuyo), correspondiendo en este caso a la selva nublada y selva húmeda submontana mayores montos que al pastizal y al cacaotal, lo que puede ser explicado considerando la heterogeneidad del suelo que permite una mayor disgregación y remoción de los agregados de suelo de mediano tamaño (fragmentos finos).

La mayoría de las prácticas de rutina de manejo del cultivo del cacao (cosecha y deshierbe) coincidieron en este caso con las mayores pérdidas mensuales de suelo como fracción gruesa en los dos tratamientos. Así mismo, la mayor proporción mensual de las fracciones fina y gruesa aportada por el pastizal de kikuyo en el tratamiento sin hojarasca y el tratamiento con hojarasca correspondieron al mes posterior al pastoreo del ganado, coincidiendo con el mayor monto mensual de precipitación vertical y escurrimiento superficial, favoreciéndose de esta forma una mayor disgregación y arrastre de estas fracciones de suelo. Por tal razón, el impacto sobre el suelo causado por las

labores de manejo del cultivo de cacao, en conjugación con la menor cobertura aérea y a ras del suelo, con suelos mas expuestos al impacto directo de las gotas de lluvia, mayor pendiente y altos montos de escurrimiento superficial en el cacaotal, y la sobre carga animal en el pastoreo en el pastizal de kikuyo, aunado al bajo contenido de materia orgánica del suelo (Arellano, 2001, Sánchez *et al* 2002) facilitaron la disgregación y el arrastre de las partículas mas grandes (> 4 mm) del suelo de esos agroecosistema.

Las diferencias en las pérdidas de fracción organomineral y en el escurrimiento superficial de los ecosistemas y agroecosistemas estudiados, se asume que muy probablemente fueron incididas por la magnitud y tipo de precipitaciones, densidad de la cobertura de vegetación tanto aérea como a nivel del suelo (Arellano 2001, Vahrson y Cervantes 1991), por la variación en el contenido de materia orgánica y la capacidad de infiltración del suelo entre un sistema y otro, por las prácticas de manejo agronómico y de cosecha del cultivo de cacao y por la intensidad del pastoreo en el pastizal de kikuyo, contribuyendo a que unas fracciones de suelo sean más lábiles que otras (Sánchez *et al* 2002).

**Tabla 6:** Pérdidas de suelo y escurrimiento superficial en ecosistemas y agroecosistemas tropicales: <sup>1,18</sup>Ataroff y Rada (2000), <sup>2,3,15,21</sup>Este estudio, <sup>4,16,17</sup>Ataroff y Sánchez, 2000 y Sánchez *et al* 2005, <sup>5,6,7</sup>Ibarra *et al* 1996, <sup>8,9,10</sup>Arellano (2001), <sup>11,12</sup>Ataroff y Monasterio 1997, <sup>13,14</sup>Vahrson y Cervantes 1991, <sup>19</sup>Pérez y López 2000, <sup>20</sup>Rincón *et al* 2005.

Ecosistemas y Agroecosistemas	Altitud (msnm)	Precipitación		Cobertura aérea (%)	Intercepción del follaje (%)	Esc. superficial (%)	FOM (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
		vertical (mm)	Pendiente (°)				
Selva nublada La mucuy <sup>1</sup> (Mérida, Venezuela)	2400	2300	> 30	75 - 100	51	1,4	¿
Selva nublada San Eusebio <sup>2</sup> (Mérida, Venezuela)	2356	1619	19	75 - 100	35	CH 1,1 SH 0,9	CH 0,35 SH 0,46
Selva h submontana <sup>3</sup> (Tucaní, Mérida, Venezuela)	575	3203	37	75 - 100	42	CH 1,9 SH 1,9	CH 0,34 SH 3,80
Bosque s verde <sup>4</sup> (El Cobre, Táchira, Venezuela)	2250	1159	55	80	27	2,2	0,54
Bosque de Roble <sup>5</sup> (Nahuelbuta, Chile)	840	2007	30 – 35	60	¿?	424,1 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	0,07
Bosque de Pino insigne <sup>6</sup> (Nahuelbuta, Chile, 1969)	840	20007	30 – 35	87	¿?	597,2 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	0,10
Bosque de Pino insigne <sup>7</sup> (Nahuelbuta, Chile, 1979)	840	20007	30 – 35	43	¿?	424 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	0,17
<b>Agroecosistemas forestales y pastizales</b>							
Café con sombra <sup>8*</sup> ( <i>Coffea arabica</i> )	1200	1012	37	80	¿	1,29	0,34
Café con árboles frutales <sup>9</sup>	1200	1012	34	¿	¿	1,85	0,77
Café sin sombra <sup>10</sup>	1200	1012	34	¿	¿	0,89	0,42

					21		
Café con sombra <sup>11</sup>	1730	1600	31	82		5,8	1,62
Café sin sombra <sup>12</sup>	1730	1600	31	66	13	5,8	1,84
Café con sombra <sup>13</sup>	¿	¿	40 – 45	¿	¿	1,5	1,36
Café sin sombra <sup>14</sup>	¿	¿	40 – 45	¿	¿	3,4	0,17
Cacaotal <sup>15</sup> ( <i>Theobroma cacao</i> )	520	3379	26	50 - 75	32	CH 15 SH 18	CH 2,01 SH 15,03
Manzanal <sup>16</sup> ( <i>Malus sylvestris Miller</i> )	2250	1159	> 17	66	19	1,3	1,96
P de Kikuyo <sup>17</sup> ( <i>P clandestinum</i> )	2250	1159	41	100	20	1,5	1,11
P de Kikuyo <sup>18</sup>	2300	3124	> 30	100	7	2	¿
P de kikuyo <sup>19</sup>	1900	2036	19	75 -100	¿	3,2	0,52
P de kikuyo <sup>20</sup>	1920	1994	19 – 21	100	28,6	0,46	¿
P de kikuyo <sup>21</sup>	2220	1547	9	100	28	CH 5,2 SH 6,7	CH 0,39 SH 0,53

## 6. CONCLUSIÓN

En este estudio no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la caída de hojarasca y la precipitación vertical en ninguno de los sistemas. La ausencia de una marcada estacionalidad pluviométrica en los sistemas estudiados podría estar muy asociada a los bajos coeficientes de correlación encontrados. Sin embargo, se cree que los ritmos de la caída de hojarasca en la selva húmeda submontana y el cacaotal están más asociados con intensidades de las precipitaciones y con la fenología de las especies de esos sistemas, lo cual podría ser un buen indicador en el patrón de caída de hojarasca más que con variaciones en los montos de precipitación vertical. No obstante se requiere de mayores investigaciones a través del tiempo que permitan conocer las variaciones interanuales de producción de hojarasca en función de las fluctuaciones de las variables climáticas.

Se presentó un comportamiento esperado en cuanto a intercepción del follaje en función de la cobertura de la vegetación de los sistemas estudiados, observándose la existencia de una fuerte asociación entre la precipitación vertical y la intercepción que aumenta con la complejidad estructural de la vegetación, con la tendencia a presentar porcentajes mas altos de intercepción de agua aquellos sistemas más y mejor provistos de cobertura, siendo esta mayor para las selvas naturales que los respectivos agroecosistemas.

Estas características estructurales de la vegetación y tipos de dosel modulan los flujos de entradas de agua por precipitación neta ( $P_n$ ) al sistema que a su vez dependen de las precipitaciones incidentes. En coherencia, correspondió a los agroecosistemas pastizal y cacaotal los mayores porcentajes de precipitación neta, con altos valores de  $R^2$  que indican una fuerte asociación entre la precipitación neta y precipitación vertical.

Los resultados mostraron que la remoción de la hojarasca provocó incrementos significativos ( $p < 0,05$ ) en los montos de pérdida de FOM en todos

los sistemas, mientras que el escurrimiento superficial solamente mostró diferencias significativas en los agroecosistemas y no en las selvas ( $p > 0,05$ ). En contraposición, el efecto de la hojarasca sobre el escurrimiento no fue determinante en las selvas. En tal sentido los mayores montos de pérdidas de fracción organomineral correspondieron a los tratamientos sin hojarasca y a los sistemas menos provistos de hojarasca y de menor complejidad estructural en su vegetación, a saber, agroecosistemas pastizal y cacaotal, comparados con sus respectivas selvas originales. Así mismo, los montos totales (anual) de fracción organomineral también fueron mayores en el tratamiento sin hojarasca en relación al tratamiento con hojarasca para cada uno de los sistemas estudiados.

Estos resultados evidencian la importancia de la hojarasca en su rol de proteger al suelo de la agresividad de las lluvias, regulando los flujos hídricos por retención y escurrimiento, disminuyendo marcadamente las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Sin embargo, las escasas diferencias ( $p > 0,05$ ) en las pérdidas de suelo entre tratamientos de la selva nublada y el pastizal de kikuyo posiblemente se debieron a un efecto combinado de precipitaciones de baja intensidad, leves pendientes y alta capacidad de infiltración del suelo de esos sistemas; generando consecuentemente bajos montos de escurrimiento superficial y poco arrastre de sedimentos, en comparación a la selva húmeda submontana y al cacaotal, los cuales si mostraron diferencias importantes ( $p < 0,05$ ) en función de estas variables de clima y suelo, con altos montos de precipitación que muy probablemente están asociados a altas intensidades, y a mayores niveles de inclinación de las pendientes.

La variación en el contenido de materia orgánica y el complejo sistema de raíces finas superficiales que amarran la masa de suelo de las parcelas del tratamiento con hojarasca y del tratamiento sin hojarasca prevaleció en las diferencias en los montos de fracción organomineral y escurrimiento superficial entre tratamientos, más que de la presencia de la capa de hojarasca del piso de la selva nublada. En tal sentido una buena parte del agua que llegó a la

superficie del suelo como precipitación neta fue retenida por la capa de materia orgánica e infiltrada, disminuyendo significativamente los montos de escurrimiento y de erosión laminar en el tratamiento sin hojarasca de este importante ecosistema.

Las mayor pérdida de fracción organomineral en suspensión se obtuvo en el tratamiento con hojarasca de cada uno de los sistemas estudiados y a su vez esta fue mayor en el tratamiento con hojarasca y sin hojarasca de los agroecosistemas pastizal y cacaotal, en relación a las selvas originales, lo que permitió sugerir una explicación respecto a los efectos de las características de la cobertura de vegetación aérea y a ras del suelo (hojarasca) en la incidencia relativa del impacto de las gotas de lluvia en la disgregación del suelo y en los montos de escurrimiento superficial.

El incremento en las pérdidas de fracción en suspensión en el tratamiento con hojarasca puede atribuirse a menores impactos de las gotas de precipitación sobre el suelo, disminuyendo su poder erosivo por la amortiguación que ofrece la hojarasca, lo que justifica un mayor predominio del escurrimiento en la remoción y transporte de las partículas más finas (suspensión) del suelo cubierto por la hojarasca.

En contraste las mayores pérdidas de fracción fina (< 2 mm) del suelo se registraron en el tratamiento sin hojarasca de todos los sistemas estudiados (excepto en el pastizal de kikuyo), correspondiendo en este caso a la selva nublada y selva húmeda submontana los mayores montos que el pastizal y el cacaotal, lo que puede ser explicado considerando la heterogeneidad del suelo que permite una mayor disgregación y remoción de los agregados de suelo de mediano tamaño.

El efecto compactante del pisoteo del ganado no fue tan evidente en los montos de escurrimiento y en las pérdidas de fracción organomineral, probablemente debido a los bajos niveles de inclinación de la pendiente (9°),

baja intensidad de las precipitaciones y a la erosionabilidad del suelo asociada a sucesos de cambios en las características físicas y químicas producto de su historia de manejo, permitiendo que las fracciones mas finas (< 2mm) sean más lábiles que las fracciones de mayor tamaño.

Así mismo, la mayor proporción mensual de las fracciones fina y gruesa aportada por el pastizal de kikuyo en el tratamiento sin hojarasca y el tratamiento con hojarasca correspondieron al mes en el que hobo pastoreo del ganado, coincidiendo además con el mayor monto mensual de precipitación vertical y escurrimiento superficial, favoreciéndose de esta forma una mayor disgregación y arrastre de estas fracciones de suelo para ese mes.

El impacto sobre el suelo causado por las labores de manejo del cultivo de cacao, en conjugación con la menor cobertura aérea y a ras del suelo, con suelos más expuestos al impacto directo de las gotas de lluvia, mayor pendiente, altos montos de escurrimiento superficial y posiblemente al bajo contenido de materia orgánica del suelo en el cacaotal facilitaron la disgregación y el arrastre de las partículas mas grandes (> 4 mm) del suelo de ese agroecosistema en comparación a la selva original.

Las diferencias en los montos de escurrimiento superficial y en las pérdidas de fracción organomineral de los ecosistemas y agroecosistemas estudiados, se asume que muy probablemente fueron afectadas por la magnitud y tipo de precipitaciones, densidad de la cobertura de vegetación tanto aérea como a nivel del suelo, por la variación en el contenido de materia orgánica y la capacidad de infiltración del suelo entre un sistema y otro, por las prácticas de manejo agronómico y de cosecha del cultivo y por la intensidad del pastoreo, contribuyendo a que unas fracciones de suelo sean más lábiles que otras.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, D., G. Sarmiento. 1990. Intercepción de la lluvia, escorrentía superficial y drenaje profundo en una pastura tropical y un cultivo de maíz en Barinas, Venezuela. *Ecotrópicos* 3(1):12-32.

Alegre, J., Rao, M. 1996. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. Vol. 57: 17-25.

Aranguren, J. 1979. Contribución de la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos bajo árboles de sombra (café y cacao). Trabajo Especial de Grado para optar al Título de M.Sc. en Ecología, I. V. I. C., Centro de Estudios Avanzados, Caracas. Venezuela. 285 pp.

Arellano, R. 2001. Evaluación del escurrimiento y pérdida de suelo en agroecosistemas de café. *Revista Forestal Venezolana* 45: 9 – 14.

Ataroff, M. 2002. Precipitación e Intercepción en ecosistemas boscosos de Los Andes de Venezuela. *Ecotrópicos*. 15 (2): 195 – 202.

Ataroff, M., Monasterio, M. 1996. Impacto ecológico de los agroecosistemas cafetaleros en el Estado Mérida. Pp 197-224, in R. Giacalone (Ed.): Mérida a Través del Tiempo. Siglos XIX y XX Política, Economía y Sociedad, capítulo 8. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Ataroff, M., Monasterio, M. 1997. Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuela Andes. *Soil Technology* 11: 95 - 108.

Ataroff, M., Rada, F. 2000. Deforestation impact on water dynamics in a venezuelan Andean cloud forest. *Ambio* 29: 440 - 444.

Ataroff, M., Sánchez, L. 2000. Precipitación, intercepción y escorrentía en cuatro ambientes de la cuenca media del río El Valle, estado Táchira, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* 41(1): 11 - 30.

Ataroff, M., Sánchez, L., López, R. 2002. Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes. *The Environmentalist* 22: 161 – 172.

Ataroff, M., L. Sarmiento. 2004 Las unidades ecológicas de Los Andes de Venezuela. Pp: 9 - 26 *In* E. La Marca y P. Soriano (eds.): *Reptiles de Los Andes de Venezuela*. Fundación Polar, Codepre-ULA, Fundacite-Mérida, Biogeos, Mérida, Venezuela.

Betancourt, P. 2004. La erosión hídrica de los suelos bajo explotación agropecuaria. *INIA Divulga* 2: 21-24.

Boyer, J, 1973. Cicles de la matière organique et des elements minéraux dans une cacaoyère camerounaise. *Café Cacao. Thé* 17: 3-24

Bray JR, Gorham E. 1964 Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research* 2: 101-157.

Brown S, Lugo AE 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotrópica* 14: 161-187.

Campbell, C., Garrido, F., Ghodrati, M. 2004. Role leaf litter in initiating tracer transport pathways in a woodland hillslope. *Soil Science*. 169: 100 – 114.

Cuevas, E., Medina, E. 1988. Nutrient dynamics within amazonian forests. *Oecología* 76: 222 – 235.

Delgado, F. 2001. Un protocolo para selección de alternativas para la conservación de suelos de áreas de montañas tropicales. *Centro*

Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Mérida, Venezuela.

Del Valle, G. 2003. Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del pacífico colombiano. *Interciencia* 28: 3 – 7.

Dissmeyer, G. B., G. R. Foster, 1980. Guide for predicting sheet and rill erosion on forest land. USDA. Forest Service South – Eastern Area, Georgia.

Ellison, W. 1948. Soil detachment by water in erosion process. *Transactions American Geophysical Union*. 29(4): 499-502.

Ewel, J. 1976. Litter fall and leaf decomposition in a forest succession in eastern Guatemala. *Journal Ecology* 64: 293 – 308.

Faucette, L., Rise, L., Nearing, M., Gaskin, J., West, L. 2004. Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall. 59: 154 – 159.

Fassbender, H., U. Grimm. 1981. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de Los Andes Occidentales de Venezuela. II. Producción y descomposición de los residuos vegetales. *Revista Turrialba*, vol. 31 (1), Pp. 39-47.

Fernández, L. 1994. Evaluación del riesgo de erosión por salpique en suelos de la Cuenca Alta del Río Petaquire. *Apuntes Técnicos Palmaven*, Caracas, Venezuela, Pp. 1 – 25.

Forti, A. 1999. Escorrentía y erosión bajo diferentes grados de cobertura y sistemas de siembra en suelos de ladera. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Franken, W., Leopoldo, P., Matsui, E., y Ribeiro, M. 1982. Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazônica*, 12 (2): 327 – 331.

Gantzer, C., G. Buyanovsky, E. Alberts y P. Remley. 1987. Effects of soybean and corn residue decomposition on soil strength and splash detachment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 202-206.

Giordani, C., Cecchi, S., Zanchi, C. 2002. Effectiveness of different amounts of organic mulch on the conservation of soil moisture. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 96: 3 – 11.

Gómez, A. 1990. Las malezas nobles previenen la erosión. *Avances técnicos de CENICAFÉ*. Tomo II. Nº 19: 23 - 28.

Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A., Asdak, C. 2003. Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management* 180: 361 – 374.

Hernández, L. 2005. Ciclos de nutrientes en bosques húmedos tropicales. Pp. 55-76 in L. Hernández y N. Valero (eds.) *Desarrollo sostenible del bosque húmedo tropical*. Fondo Edit. UNEG, Ciudad Guayana.

Heuvelink, J., Fassbender, H., Alpizar, L., Enriquez, G., Folster, H. 1988. Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems*, 6: 37-48.

Ibarra, M., G. Mancilla., M. Peralta. 1996. Evaluación de la erosión hídrica bajo tres tipos de cubierta arbórea en la cordillera de Nahuelbuta. *Revista Ciencias*

Forestales Universidad de Chile. <http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1996-vol11/n1-2a6.pdf>

Iroumé, A., Gayoso, J., Infante, L. 1989. Erosión hídrica y alteración del sitio de la cosecha a tala rasa. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*. 26: 171 - 180.

Kappelle, M., Brown, A. 2001. Bosques nublados del neotrópico. Primera edición. Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica. Pág. 397 – 442.

Jaimez, R., Franco, W. 1999. Producción de hojarasca, aporte en nutrientes y descomposición en sistemas agroforestales de cacao y frutales. *Agrotropica*. 11 (1): 1-8.

Kattan, G., Guariguata, M. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Pp. 561 – 583. Ediciones LUR, Cartago, Costa Rica.

López, R. 2002. Degradación del suelo; causas, procesos, evaluación e investigación. Serie: Suelos y Clima, SC – 75. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Mérida, Venezuela.

Lisazo, J. I. 1980. Erosión laminar bajo diferentes coberturas y pendientes en un palehumult de las Cuencas Altas del programa Guanare – Masparro. Tesis de Maestría, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Maass, J., C. Jordan., J. Sarukhan. 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *Journal of applied ecology*. 25: 595 – 607.

Monedero, V., González, V. 1995. Producción de hojarasca y descomposición en una selva nublada del ramal interior de la cordillera de la costa, Venezuela. *Ecotrópicos* 8(1-2): 1-14.

Páez, M., Fernández, N., Rodríguez, O. 1992. Conservación de suelos y aguas. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. Capítulos 2 y 3.

Páez, M. L., O. S. Rodríguez. 1995. Eficiencia de diferentes sistemas en el control de la erosión. Rev. Alcance, 47: 13 – 28.

Pérez, U., R. López. 2000. Estudio preliminar de la erosión hídrica en un inceptisol de los andes venezolanos bajo uso agrícola. Revista Forestal Venezolana 44(2): 11–19

Proctor J. (1986) Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India. II. Litterfall. J. Ecol. 74: 455-463.

Ramachandra, H., Proctor, J. 1994. Litterfall and nutrient cycling in four Rain forest in the Sringeri Area of the Indian Western Ghat. Global Ecology and Biogeography Letters. Vol. 4, nº. 5. Pp. 155-165.

Ramírez, M. E., Ataroff, M. 2001. Producción de hojarasca en una selva nublada andina: estacionalidad, descomposición y nitrógeno. Memorias del IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable en Los Andes: la estrategia Andina para el siglo XXI. CD-ROM.

Ramírez, C., Zapata, J. A., Duque, C. M., León P, J. D. *et al.* 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de piedras blancas, Antioquia, Colombia. INCI, vol.32, no.5, p.303-311. ISSN 0378-1844.

Rincón, Y., Ataroff, M., Rada, F. 2005. Dinámica hídrica de un pastizal de *Pennisetum clandestinum Hochst ex chiov.* Ataroff, M. y J. F. Silva (eds). Dinámica Hídrica en Sistemas Neotropicales. ICAE, Univ. Los Andes, Mérida, Vezuela. Pp. 19- 24.

Rodríguez, M. 2005. Cambio del paisaje en la cuenca del río Capaz. Tesis de grado, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Rodríguez, I. 2002. Comparación de la producción de hojarasca entre áreas continuas y fragmentos de bosque andino y su relación con la escorrentía foliar, el porcentaje de cobertura vegetal y el índice de área foliar. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 117 pp.

Roose, E. J. 1996. Agroforestry, water and soil fertility management in African tropical mountains. Pp. 291 – 324. In: I. Pla, R. López y D. Lobo (eds.). Soil Erosion Processes on Steep Land Evaluation and Modelling. Internacional Soil Conservation Society. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo, Maracay, Venezuela.

Ruiz, S., Acosta, J., León, P. 2005. Escorrentía superficial en bosques montanos naturales y plantados de Piedras Blancas, Antioquia (Colombia). En: Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. Vol. 58, nº. 1; Pp. 2635-2649.

Sánchez, L., Ataroff, M., López, R. 2002. Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuela Andes. *The Environmentalist*. 22: 161 – 172.

Sánchez, B., Ruiz, M., Ríos, M. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, Estado Aragua. *Agronomía Trop.* 55(4): 507-534.

Santana, M., Cabala, R., Merodio, M. 1990. Reciclagem de nutrientes em agrosistemas de cacau. *Agrotrópica (Brasil)* 2(2): 68-74.

Sarmiento, G. 1980. Los ecosistemas y la ecósfera. Primera edición, Barcelona, España, Editorial Blume. 85-95.

Singer, M., Y. Matsuda., J. Blackard. 1981. Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 107 – 110.

Spain, A. V.1984. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rainforests. *Journal of Ecology* 72: 947-961.

Steinhardt, U. (1979). Untersuchungen über den Wasser und Nährstoffhaushalt eines andinen Wolkenwaldes in Venezuela. *Göttinger Bodenkundliche Berichte.* 56, 1 – 185.

Tanner, E. V., V. Kapos y W. Franco. 1992. Nitrogen and phosphorus fertilization effects on Venezuelan montane forest trunk growth and litter fall. *Ecology.* 73 (1), pp. 97-104.

Torres, D., Florentino, A., López, M. 2005. Pérdidas de suelo y nitrógeno por escorrentía en un ultisol degradado bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal en Chaguaramas – Guárico. *Agronomía Tropical.* 55(4): 475-496.

Urbina, C., O. Rodríguez. 1995. Efectos de los abonos orgánicos en el control de la erosión y mejoramiento físico y químico del suelo. *Rev. Alcance,* 47: 63 – 74.

Urdaneta, I. S. 1974. Comparación de tres formas de deforestación en relación con la conservación y manejo de suelos en bosques húmedos tropicales. II Congreso venezolano de la ciencia del suelo. Pág. 76 – 81.

UNESCO/PNUMA/FAO. 1980. Ecosistemas de los bosques tropicales. Capítulo 5. Organización: 126-162 pp; Capítulo 10. Producción primaria bruta y neta. Parámetros de crecimiento: 265-282. UNESCO/CIFCA, Madrid.

Vargas, L., Varela, A. 2007. Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural La Planada (Nariño, Colombia). *Universitas scientiarum. Rev. Fac. Ciencias Edición especial I. Vol. 12, 35-49.*

Vahrson, W., C. Cervantes. 1991. Tasas de escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal, Costa Rica. *Turrialba. 41: 396 – 402.*

Veneklaas, E. J.1991. Litterfall and nutrient fluxes in two montane tropical rain forests, Colombia. *J. Trop. Ecol. 7: 319-336.*

Zapata, C. M., Ramírez J. A., León, J. D., González, M., Peláez, J., González, M. I. 2007. Producción de hojarasca fina en bosques altoandinos de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nac. Agr. Medellín. Vol. 60, No.1: .3771-3784.*

## 8. ANEXOS

### PRECIPITACIÓN Y ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

**Anexo 1:** Precipitación y escurrimiento superficial en la selva nublada San Eusebio, La Carbonera, Sector El Chorotal, Estado Mérida. Durante marzo 2007 y febrero 2008. CH: Tratamiento con hojarasca y SH, tratamiento Sin hojarasca.

#### Precipitación vertical, precipitación neta y escurrimiento superficial en la selva nublada

Mes	Precipitación		Neta (%)	Eskurrimiento superficial			
	Vertical (mm)	Neta (mm)		CH (mm)	SH (mm)	CH (%)	SH (%)
<b>M</b>	55,02	33,45 ± 10,12	60,79 ± 18,39	0,77 ± 0,09	0,65 ± 0,37	2,29 ± 0,28	1,94 ± 1,12
<b>A</b>	161,94	113,02 ± 13,25	69,79 ± 8,18	2,19 ± 0,54	2,11 ± 0,49	1,94 ± 0,48	1,86 ± 0,43
<b>M</b>	186,86	120,25 ± 9,80	64,35 ± 5,24	2,07 ± 0,47	1,31 ± 0,26	1,72 ± 0,39	1,09 ± 0,22
<b>J</b>	109,70	74,32 ± 8,31	67,74 ± 7,58	1,17 ± 0,20	0,79 ± 0,40	1,57 ± 0,27	1,07 ± 0,54
<b>J</b>	140,55	92,35 ± 10,30	65,71 ± 7,33	1,59 ± 0,29	1,13 ± 0,39	1,72 ± 0,31	1,22 ± 0,43
<b>A</b>	254,74	163,15 ± 15,24	64,05 ± 5,98	2,72 ± 0,24	1,99 ± 0,43	1,67 ± 0,15	1,22 ± 0,26
<b>S</b>	240,30	163,03 ± 2,97	67,85 ± 1,24	2,92 ± 0,44	2,57 ± 0,37	1,79 ± 0,27	1,58 ± 0,23
<b>O</b>	217,40	141,22 ± 5,39	64,96 ± 2,48	2,27 ± 0,24	1,84 ± 0,59	1,60 ± 0,17	1,30 ± 0,42
<b>N</b>	91,22	59,63 ± 2,27	65,37 ± 2,49	0,78 ± 0,29	0,67 ± 0,28	1,30 ± 0,48	1,12 ± 0,47
<b>D</b>	84,00	44,04 ± 1,40	52,42 ± 1,67	0,66 ± 0,17	0,48 ± 0,18	1,51 ± 0,39	1,08 ± 0,41
<b>E</b>	42,39	21,26 ± 1,35	50,17 ± 3,17	0,28 ± 0,10	0,21 ± 0,15	1,32 ± 0,46	0,99 ± 0,69
<b>F</b>	34,40	20,71 ± 2,53	60,20 ± 7,36	0,27 ± 0,12	0,21 ± 0,16	1,32 ± 0,60	0,99 ± 0,77
<b>TOTAL</b>	<b>1618,51</b>	<b>1046,43 ± 64,61</b>	<b>64,65 ± 3,99</b>	<b>17,68 ± 2,51</b>	<b>13,94 ± 3,99</b>	<b>1,09 ± 0,24</b>	<b>0,86 ± 0,38</b>

**Anexo 2:** Precipitación, escurrimiento superficial y desviación estándar en el pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Finca Virgen Del Valle, Sector El Chorotal, San Eusebio, Estado Mérida. CH, tratamiento con hojarasca y SH, tratamiento sin hojarasca.

**Precipitación y escurrimiento superficial en el pastizal de kikuyo**

MES	Esgurrimiento superficial				
	Vertical (mm)	CH (mm)	SH (mm)	CH (%)	SH (%)
M	55,02	0,03 ± 0,03	0,62 ± 0,70	0,05 ± 0,06	1,11 ± 1,26
A	155,13	0,10 ± 0,02	2,72 ± 2,22	0,06 ± 0,01	1,76 ± 1,43
M	186,86	0,44 ± 0,52	2,03 ± 2,34	0,24 ± 0,28	1,09 ± 1,25
J	108,75	0,80 ± 0,38	8,40 ± 2,68	0,73 ± 0,35	7,73 ± 2,47
J	176,82	6,66 ± 0,65	14,99 ± 9,35	3,76 ± 0,37	8,48 ± 5,29
A	248,73	17,23 ± 2,58	42,10 ± 13,89	6,93 ± 1,04	16,93 ± 5,58
S	178,83	26,77 ± 8,54	70,44 ± 29,40	14,97 ± 4,78	39,39 ± 16,44
O	197,31	15,55 ± 7,25	41,17 ± 2,66	7,88 ± 3,67	20,87 ± 1,35
N	78,74	3,93 ± 2,32	6,91 ± 6,80	4,99 ± 2,94	8,77 ± 8,64
D	65,10	2,38 ± 0,72	12,70 ± 5,78	3,66 ± 1,10	19,50 ± 8,88
E	67,51	7,01 ± 6,05	15,59 ± 7,20	10,39 ± 8,96	23,10 ± 10,66
F	28,35	0,02 ± 0,01	0,37 ± 0,45	0,007 ± 0,05	1,29 ± 1,57
<b>Total</b>	<b>1547,13</b>	<b>80,91 ± 26,10</b>	<b>218,03 ± 56,54</b>	<b>5,23 ± 1,69</b>	<b>14,09 ± 3,65</b>

**Anexo 3:** Precipitación y escurrimiento superficial de la Selva húmeda submontana. Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida. CH, tratamiento con hojarasca y SH tratamiento sin hojarasca. Durante mayo 2007 y abril 2008.

**Precipitación y escurrimiento superficial en la selva húmeda submontana**

Mes	Precipitación			Escurrimiento superficial			
	Vertical (mm)	Neta (mm)	Neta (%)	CH (mm)	SH (mm)	CH (%)	SH (%)
<b>M</b>	192,89	104,40 ± 18,95	54,13 ± 9,82	3,76 ± 1,97	3,91 ± 1,70	1,95 ± 1,89	2,03 ± 1,63
<b>J</b>	140,04	71,81 ± 0,91	51,28 ± 0,65	2,23 ± 1,07	1,82 ± 0,89	1,59 ± 1,49	1,30 ± 1,24
<b>J</b>	466,14	276,88 ± 13,75	59,40 ± 2,95	7,34 ± 1,13	7,30 ± 3,99	1,57 ± 0,41	1,57 ± 1,44
<b>A</b>	168,18	112,58 ± 9,86	66,94 ± 5,87	4,15 ± 0,95	4,79 ± 3,15	2,47 ± 0,84	2,85 ± 2,79
<b>S</b>	183,44	88,13 ± 25,35	48,04 ± 13,82	3,06 ± 1,49	3,65 ± 2,19	1,67 ± 1,69	1,99 ± 2,49
<b>O</b>	384,17	238,50 ± 55,86	62,08 ± 14,54	5,34 ± 1,50	5,38 ± 2,53	1,39 ± 0,63	1,40 ± 1,06
<b>N</b>	225,04	129,00 ± 45,25	57,32 ± 20,11	4,65 ± 2,41	5,97 ± 3,06	2,07 ± 1,87	2,65 ± 2,37
<b>D</b>	171,79	105,85 ± 42,07	61,62 ± 24,49	3,53 ± 1,98	3,66 ± 0,99	2,05 ± 1,87	2,13 ± 0,93
<b>E</b>	294,15	196,35 ± 57,49	66,75 ± 19,54	5,97 ± 2,53	5,95 ± 5,74	2,03 ± 1,29	2,02 ± 2,92
<b>F</b>	285,71	186,50 ± 64,21	65,28 ± 16,17	8,26 ± 1,49	6,39 ± 1,23	2,89 ± 1,16	2,24 ± 1,03
<b>M</b>	215,79	105,06 ± 9,05	48,94 ± 2,17	4,15 ± 1,89	3,97 ± 3,12	1,92 ± 1,79	1,84 ± 2,96
<b>A</b>	475,79	226,85 ± 58,62	47,68 ± 12,32	7,18 ± 0,57	9,17 ± 0,74	1,51 ± 0,25	1,93 ± 0,33
<b>Total</b>	<b>3203,13</b>	<b>1842,44 ± 272,96</b>	<b>57,52 ± 7,76</b>	<b>59,60 ± 17,71</b>	<b>61,96 ± 27,88</b>	<b>1,86 ± 0,96</b>	<b>1,91 ± 1,51</b>

**Anexo 4:** Precipitación, escurrimiento superficial y error estándar en el cacaotal (*Theobroma cacao*). Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida. **CH:** Con Hojarasca, **SH:** Sin Hojarasca.

**Precipitación y escurrimiento superficial en el cacaotal**

Mes	Precipitación			Escurrimiento superficial			
	Vertical (mm)	Neta (mm)	Neta (%)	CH (mm)	SH (mm)	CH (%)	SH (%)
<b>M</b>	205,75	169,50 ± 32,39	82,38 ± 15,74	30,91 ± 4,75	30,79 ± 6,48	15,02 ± 2,31	14,96 ± 3,15
<b>J</b>	103,60	83,23 ± 14,04	80,33 ± 13,55	19,70 ± 3,71	23,47 ± 4,04	19,02 ± 3,58	22,65 ± 3,90
<b>J</b>	480,01	349,43 ± 1,94	72,80 ± 0,41	63,87 ± 4,26	57,51 ± 18,30	13,31 ± 0,89	11,98 ± 3,81
<b>A</b>	163,57	110,27 ± 18,77	67,42 ± 11,47	19,04 ± 4,55	21,99 ± 9,71	11,64 ± 4,132,78	13,44 ± 5,93
<b>S</b>	191,67	146,30 ± 23,76	76,33 ± 12,40	32,53 ± 2,77	43,97 ± 16,88	16,97 ± 1,1,45	22,94 ± 8,80
<b>O</b>	442,21	310,20 ± 19,23	70,2 ± 4,35	64,79 ± 6,80	58,26 ± 22,94	14,65 ± 1,54	13,17 ± 5,19
<b>N</b>	415,11	284,9 ± 8,06	68,6 ± 1,94	53,99 ± 4,94	69,25 ± 10,58	13,01 ± 1,19	16,68 ± 2,55
<b>D</b>	255,58	207,75 ± 18,03	81,29 ± 7,06	53,42 ± 5,00	54,06 ± 4,54	20,90 ± 1,96	21,15 ± 1,78
<b>E</b>	243,52	219,80 ± 29,42	90,26 ± 12,08	41,19 ± 5,04	61,14 ± 6,73	16,91 ± 2,07	25,11 ± 2,76
<b>F</b>	248,00	199,32 ± 78,74	80,37 ± 31,75	45,03 ± 0,96	52,66 ± 8,56	18,16 ± 0,39	21,23 ± 3,45
<b>M</b>	229,46	180,85 ± 28,07	78,82 ± 12,23	26,44 ± 2,31	40,04 ± 9,31	11,52 ± 1,00	17,45 ± 4,06
<b>A</b>	400,64	350,15 ± 51,83	87,40 ± 12,94	73,58 ± 5,83	91,89 ± 9,01	18,36 ± 1,46	22,94 ± 2,25
<b>Total</b>	<b>3379,10</b>	<b>2611,73 ± 272,09</b>	<b>77,29 ± 8,05</b>	<b>524,48 ± 5,69</b>	<b>605,03 ± 116,72</b>	<b>15,52 ± 0,17</b>	<b>17,90 ± 3,45</b>

## FRACCIÓN ORGANOMINERAL

**Anexo 5:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamientos sin hojarasca de la selva nublada, medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm) y Gruesa (> 2 mm), desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

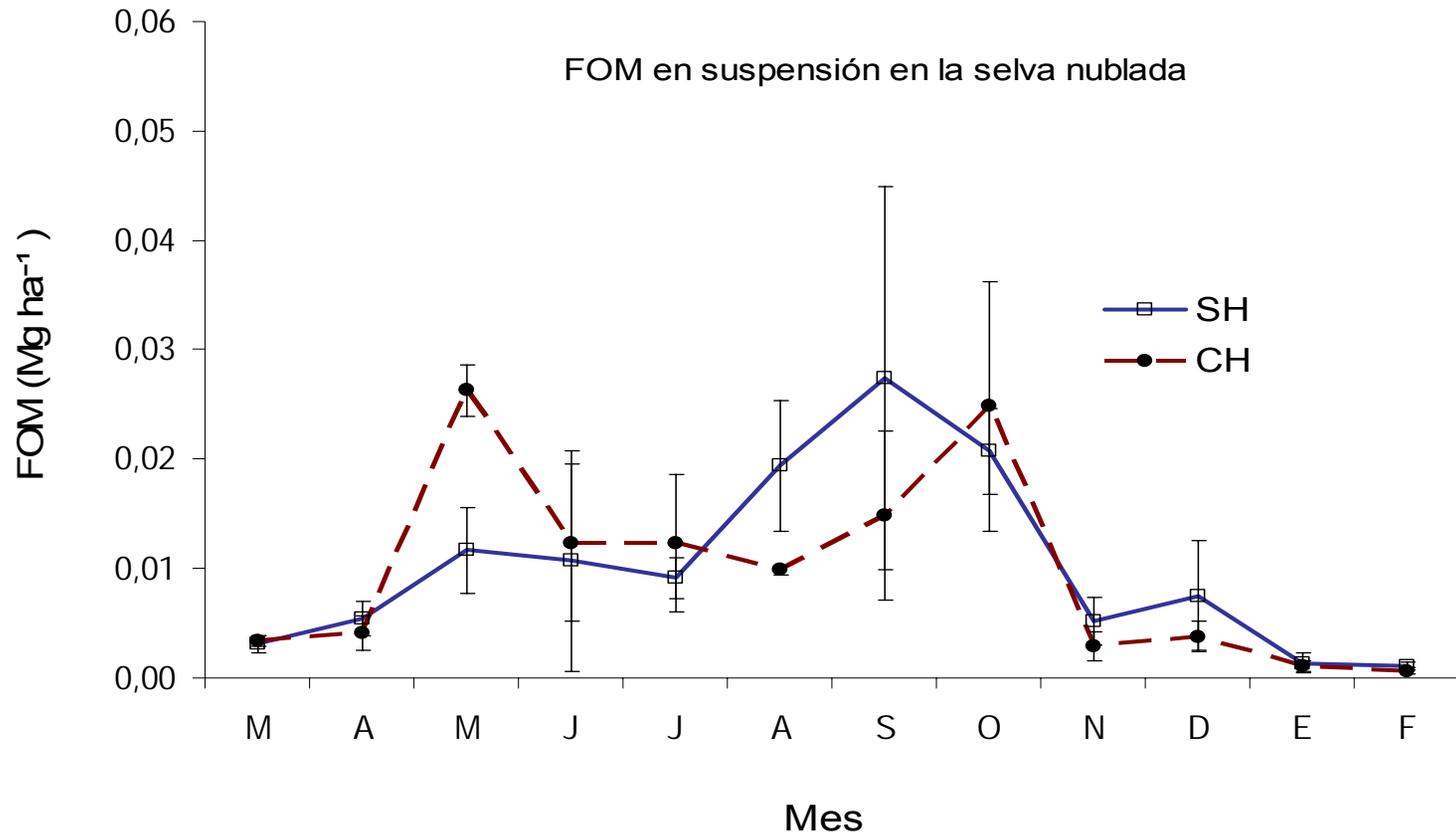
### PÉRDIDA DE FRACCIÓN ORGANOMINERAL EN LA SELVA NUBLADA

Mes	Sin hojarasca (Mg ha <sup>-1</sup> )			Total
	Suspensión	Fina	> 2 mm	
<b>M</b>	0,003 ± 0,001	0,021 ± 0,009	0,002 ± 0,002	<b>0,026 ± 0,011</b>
<b>A</b>	0,005 ± 0,002	0,042 ± 0,014	0,006 ± 0,004	<b>0,054 ± 0,019</b>
<b>M</b>	0,012 ± 0,004	0,021 ± 0,012	0,005 ± 0,003	<b>0,037 ± 0,017</b>
<b>J</b>	0,011 ± 0,010	0,010 ± 0,003	0,008 ± 0,004	<b>0,029 ± 0,012</b>
<b>J</b>	0,009 ± 0,002	0,023 ± 0,010	0,002 ± 0,002	<b>0,034 ± 0,011</b>
<b>A</b>	0,019 ± 0,006	0,055 ± 0,035	0,004 ± 0,003	<b>0,079 ± 0,035</b>
<b>S</b>	0,027 ± 0,017	0,030 ± 0,009	0,002 ± 0,004	<b>0,060 ± 0,015</b>
<b>O</b>	0,021 ± 0,004	0,025 ± 0,007	0,002 ± 0,002	<b>0,048 ± 0,009</b>
<b>N</b>	0,005 ± 0,002	0,021 ± 0,005	0,000 ± 0,000	<b>0,027 ± 0,005</b>
<b>D</b>	0,008 ± 0,005	0,028 ± 0,020	0,000 ± 0,000	<b>0,036 ± 0,025</b>
<b>E</b>	0,001 ± 0,001	0,013 ± 0,007	0,002 ± 0,002	<b>0,017 ± 0,009</b>
<b>F</b>	0,001 ± 0,000	0,011 ± 0,001	0,001 ± 0,000	<b>0,013 ± 0,001</b>
<b>Total</b>	<b>0,123 ± 0,025</b>	<b>0,302 ± 0,073</b>	<b>0,034 ± 0,016</b>	<b>0,459 ± 0,109</b>
<b>%</b>	<b>26,722 ± 5,549</b>	<b>66,342 ± 16,074</b>	<b>7,447 ± 3,564</b>	<b>100,000</b>

**Anexo 6:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamientos con hojarasca de la selva nublada, medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm) y Gruesa (> 2 mm), desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

**PÉRDIDA DE FRACCIÓN ORGANOMINERAL EN LA SELVA NUBLADA**

Mes	Con hojarasca (Mg ha <sup>-1</sup> )			Total
	Suspensión	Fina	> 2 mm	
<b>M</b>	0,003 ± 0,000	0,008 ± 0,003	0,001 ± 0,001	<b>0,012 ± 0,004</b>
<b>A</b>	0,004 ± 0,002	0,037 ± 0,006	0,003 ± 0,001	<b>0,044 ± 0,006</b>
<b>M</b>	0,026 ± 0,002	0,030 ± 0,029	0,005 ± 0,004	<b>0,062 ± 0,031</b>
<b>J</b>	0,012 ± 0,007	0,009 ± 0,004	0,003 ± 0,001	<b>0,024 ± 0,011</b>
<b>J</b>	0,012 ± 0,006	0,008 ± 0,002	0,003 ± 0,002	<b>0,024 ± 0,010</b>
<b>A</b>	0,010 ± 0,000	0,040 ± 0,005	0,005 ± 0,003	<b>0,056 ± 0,003</b>
<b>S</b>	0,015 ± 0,008	0,012 ± 0,007	0,001 ± 0,001	<b>0,028 ± 0,001</b>
<b>O</b>	0,025 ± 0,011	0,012 ± 0,007	0,003 ± 0,004	<b>0,039 ± 0,008</b>
<b>N</b>	0,003 ± 0,001	0,012 ± 0,005	0,000 ± 0,000	<b>0,015 ± 0,006</b>
<b>D</b>	0,004 ± 0,001	0,018 ± 0,007	0,000 ± 0,000	<b>0,022 ± 0,006</b>
<b>E</b>	0,001 ± 0,000	0,007 ± 0,004	0,001 ± 0,001	<b>0,009 ± 0,005</b>
<b>F</b>	0,001 ± 0,000	0,012 ± 0,005	0,000 ± 0,000	<b>0,013 ± 0,006</b>
<b>Total</b>	<b>0,116 ± 0,025</b>	<b>0,205 ± 0,057</b>	<b>0,026 ± 0,010</b>	<b>0,347 ± 0,059</b>
<b>%</b>	<b>33,520 ± 7,299</b>	<b>59,132 ± 16,347</b>	<b>7,350 ± 2,88</b>	<b>100,00</b>



**Anexo 7:** Fracción organomineral en suspensión de los tratamientos con hojarasca (CH) y sin hojarasca (SH) de la selva nublada, desde marzo 2007 a febrero 2008. Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

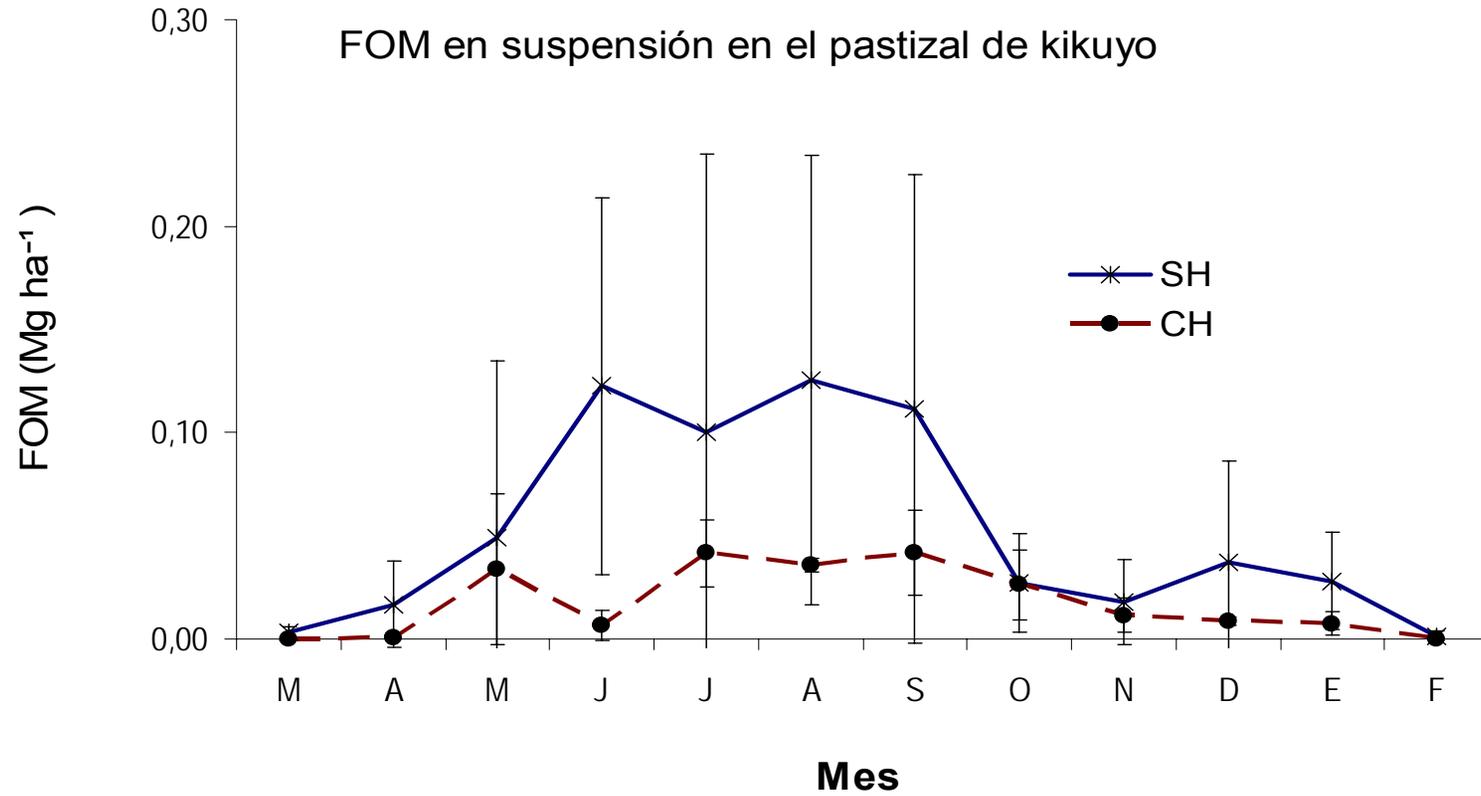
**Anexo 8:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamientos sin hojarasca del pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm), y Gruesa (> 2 mm), desde marzo 2007 a febrero 2008, Finca Virgen Del Valle, Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

**Fracción organomineral en el pastizal de kikuyo**

Mes	Sin hojarasca (Mg ha <sup>-1</sup> )			Total
	Suspensión	Fina	> 2 mm	
<b>M</b>	0,004 ± 0,003	0,000 ± 0,000	0,002 ± 0,001	<b>0,006 ± 0,002</b>
<b>A</b>	0,017 ± 0,021	0,000 ± 0,000	0,007 ± 0,006	<b>0,023 ± 0,021</b>
<b>M</b>	0,049 ± 0,086	0,005 ± 0,024	0,000 ± 0,000	<b>0,060 ± 0,104</b>
<b>J</b>	0,123 ± 0,091	0,008 ± 0,025	0,000 ± 0,000	<b>0,129 ± 0,076</b>
<b>J</b>	0,101 ± 0,134	0,025 ± 0,010	0,301 ± 0,381	<b>0,427 ± 0,345</b>
<b>A</b>	0,126 ± 0,109	0,069 ± 0,221	0,031 ± 0,056	<b>0,225 ± 0,163</b>
<b>S</b>	0,112 ± 0,113	0,163 ± 0,082	0,000 ± 0,000	<b>0,274 ± 0,053</b>
<b>O</b>	0,027 ± 0,024	0,008 ± 0,030	0,000 ± 0,000	<b>0,035 ± 0,044</b>
<b>N</b>	0,018 ± 0,020	0,000 ± 0,000	0,007 ± 0,012	<b>0,026 ± 0,036</b>
<b>D</b>	0,037 ± 0,049	0,047 ± 0,066	0,001 ± 0,003	<b>0,085 ± 0,060</b>
<b>E</b>	0,028 ± 0,024	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	<b>0,017 ± 0,029</b>
<b>F</b>	0,001 ± 0,002	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	<b>0,006 ± 0,011</b>
<b>Total</b>	<b>0,642 ± 0,375</b>	<b>0,324 ± 0,468</b>	<b>0,347 ± 0,459</b>	<b>1,308 ± 0,602</b>
<b>%</b>	49,749	33,1	17,2	100,000

**Anexo 9:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamientos con hojarasca del pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm), y Gruesa (> 2 mm), desde marzo 2007 a febrero 2008, Finca Virgen Del Valle, Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

Mes	Con hojarasca (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	Suspensión	Fina	> 2 mm	Total
<b>M</b>	0,000 ± 0,000	0,005 ± 0,007	0,000 ± 0,000	<b>0,005 ± 0,007</b>
<b>A</b>	0,001 ± 0,000	0,004 ± 0,001	0,001 ± 0,001	<b>0,005 ± 0,002</b>
<b>M</b>	0,034 ± 0,037	0,006 ± 0,002	0,000 ± 0,000	<b>0,040 ± 0,036</b>
<b>J</b>	0,007 ± 0,007	0,004 ± 0,002	0,001 ± 0,001	<b>0,011 ± 0,008</b>
<b>J</b>	0,042 ± 0,016	0,019 ± 0,010	0,003 ± 0,002	<b>0,064 ± 0,008</b>
<b>A</b>	0,036 ± 0,003	0,027 ± 0,001	0,007 ± 0,001	<b>0,070 ± 0,004</b>
<b>S</b>	0,042 ± 0,021	0,008 ± 0,002	0,002 ± 0,001	<b>0,052 ± 0,020</b>
<b>O</b>	0,026 ± 0,017	0,015 ± 0,005	0,000 ± 0,000	<b>0,041 ± 0,013</b>
<b>N</b>	0,011 ± 0,008	0,024 ± 0,006	0,001 ± 0,001	<b>0,036 ± 0,007</b>
<b>D</b>	0,009 ± 0,002	0,026 ± 0,003	0,000 ± 0,000	<b>0,035 ± 0,004</b>
<b>E</b>	0,008 ± 0,006	0,013 ± 0,007	0,000 ± 0,000	<b>0,021 ± 0,006</b>
<b>F</b>	0,000 ± 0,000	0,009 ± 0,002	0,000 ± 0,000	<b>0,009 ± 0,002</b>
<b>Total</b>	<b>0,214 ± 0,094</b>	<b>0,160 ± 0,018</b>	<b>0,015 ± 0,005</b>	<b>0,390 ± 0,079</b>
<b>%</b>	<b>55,053 ± 24,163</b>	<b>40,970 ± 3,861</b>	<b>3,978 ± 1,403</b>	<b>100,000</b>



**Anexo 10:** Fracción organomineral en suspensión en los tratamientos con hojarasca (CH) y tratamiento sin hojarasca (SH) del pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), desde marzo 2007 a febrero 2008, Finca Virgen Del Valle, Sector San Eusebio, La Carbonera, Mérida.

**Anexo 11:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamientos sin hojarasca de la selva húmeda submontana, medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm), y Gruesa (> 2 mm), Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

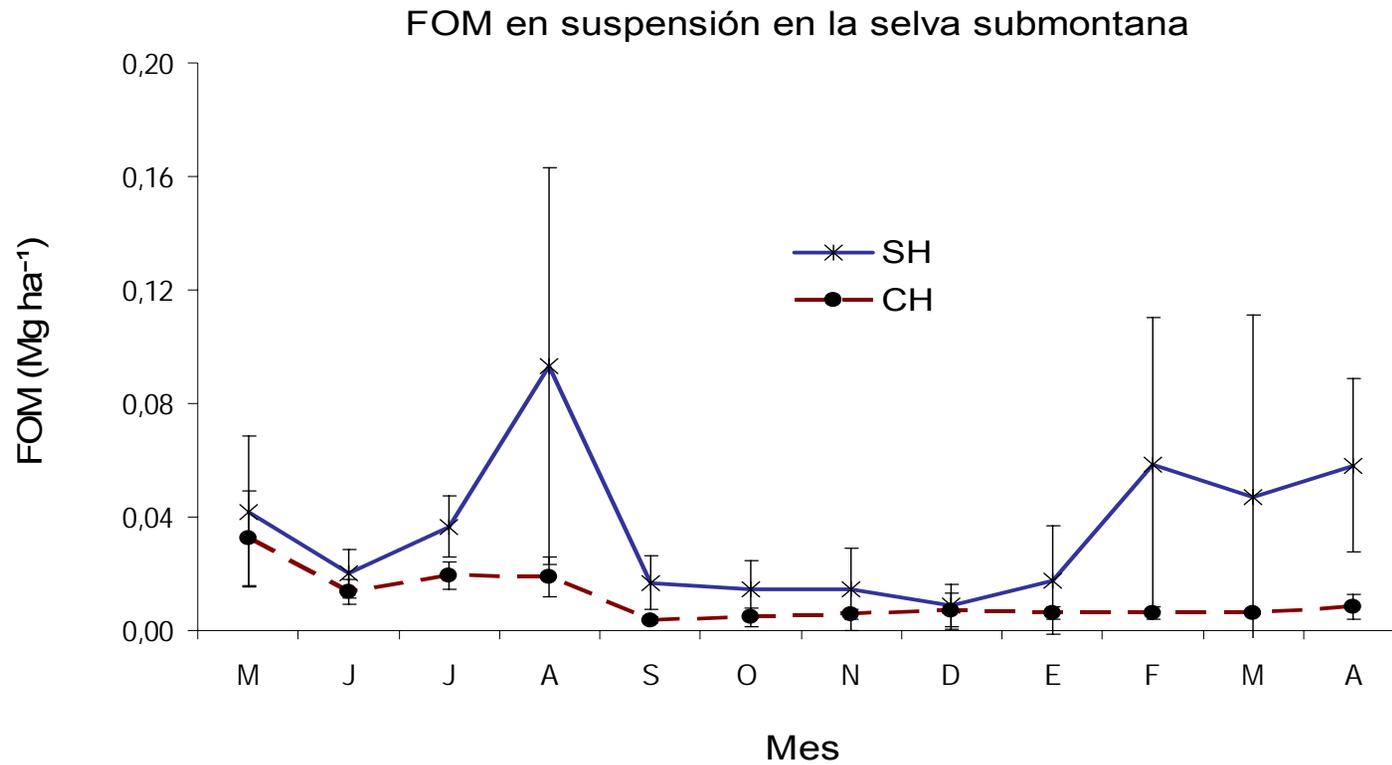
**PÉRDIDA DE FRACCIÓN ORGANOMINERAL EN LA SELVA HÚMEDA SUBMONTANA**

Mes	Sin hojarasca (Mg ha-1)			
	Suspensión	Fina	> 2 mm	Total
<b>M</b>	0,042 ± 0.026	0,191 ± 0.151	0,134 ± 0.071	<b>0,367 ± 0.099</b>
<b>J</b>	0,020 ± 0.009	0,092 ± 0.038	0,013 ± 0.019	<b>0,125 ± 0.062</b>
<b>J</b>	0,037 ± 0.011	0,467 ± 0.181	0,047 ± 0.069	<b>0,550 ± 0.246</b>
<b>A</b>	0,093 ± 0.070	0,261 ± 0.211	0,068 ± 0.103	<b>0,422 ± 0.354</b>
<b>S</b>	0,017 ± 0.009	0,192 ± 0.119	0,091 ± 0.104	<b>0,300 ± 0.228</b>
<b>O</b>	0,014 ± 0.010	0,290 ± 0.158	0,042 ± 0.048	<b>0,346 ± 0.214</b>
<b>N</b>	0,015 ± 0.015	0,133 ± 0.097	0,015 ± 0.018	<b>0,163 ± 0.127</b>
<b>D</b>	0,009 ± 0.008	0,159 ± 0.133	0,024 ± 0.029	<b>0,192 ± 0.168</b>
<b>E</b>	0,018 ± 0.019	0,178 ± 0.141	0,063 ± 0.054	<b>0,259 ± 0.180</b>
<b>F</b>	0,058 ± 0.052	0,259 ± 0.258	0,045 ± 0.062	<b>0,362 ± 0.369</b>
<b>M</b>	0,047 ± 0.064	0,203 ± 0.203	0,013 ± 0.017	<b>0,263 ± 0.281</b>
<b>A</b>	0,058 ± 0.031	0,370 ± 0.394	0,022 ± 0.036	<b>0,450 ± 0.414</b>
<b>Total</b>	<b>0,428 ± 0,202</b>	<b>2,795 ± 1,865</b>	<b>0,575 ± 0,573</b>	<b>3,798 ± 2,585</b>
%	11,260 ± 5,310	73,600 ± 49,122	15,141 ± 15,096	100,0

**Anexo 12:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamientos con hojarasca de la selva húmeda submontana, medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm), y Gruesa (> 2 mm), Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

**PÉRDIDA DE FRACCIÓN ORGANOMINERAL EN LA SELVA HÚMEDA SUBMONTANA**

Mes	Con hojarasca (Mg ha-1)			
	Suspensión	Fina	> 2 mm	Total
<b>M</b>	0,032 ± 0.017	0,009 ± 0.003	0,002 ± 0.002	<b>0,043 ± 0.013</b>
<b>J</b>	0,014 ± 0.004	0,014 ± 0.001	0,007 ± 0.007	<b>0,035 ± 0.009</b>
<b>J</b>	0,019 ± 0.005	0,016 ± 0.011	0,002 ± 0.003	<b>0,038 ± 0.004</b>
<b>A</b>	0,019 ± 0.007	0,010 ± 0.005	0,005 ± 0.007	<b>0,034 ± 0.003</b>
<b>S</b>	0,004 ± 0.001	0,030 ± 0.048	0,007 ± 0.002	<b>0,041 ± 0.048</b>
<b>O</b>	0,005 ± 0.003	0,014 ± 0.009	0,002 ± 0.001	<b>0,020 ± 0.011</b>
<b>N</b>	0,006 ± 0.002	0,003 ± 0.000	0,004 ± 0.005	<b>0,013 ± 0.006</b>
<b>D</b>	0,007 ± 0.006	0,020 ± 0.009	0,002 ± 0.02	<b>0,029 ± 0.009</b>
<b>E</b>	0,006 ± 0.002	0,018 ± 0.011	0,006 ± 0.010	<b>0,030 ± 0.023</b>
<b>F</b>	0,006 ± 0.002	0,016 ± 0.007	0,002 ± 0.003	<b>0,024 ± 0.011</b>
<b>M</b>	0,006 ± 0.000	0,010 ± 0.000	0,001 ± 0.002	<b>0,017 ± 0.003</b>
<b>A</b>	0,008 ± 0.004	0,008 ± 0.004	0,000 ± 0.000	<b>0,016 ± 0.009</b>
<b>Total</b>	<b>0,132 ± 0,010</b>	<b>0,167 ± 0,059</b>	<b>0,041 ± 0,034</b>	<b>0,339 ± 0.055</b>
<b>%</b>	38,891 ± 3,025	49,151 ± 17,479	11,958 ± 10,118	100,000



**Anexo 13:** Fracción organomineral en suspensión en los tratamientos con hojarasca (CH) y sin hojarasca (SH) de la selva húmeda submontana, desde mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

**Anexo 14:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamiento sin hojarasca del cacaotal (*Theobroma cacao*), medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm), y Gruesa (> 2 mm), expresada en, desde mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

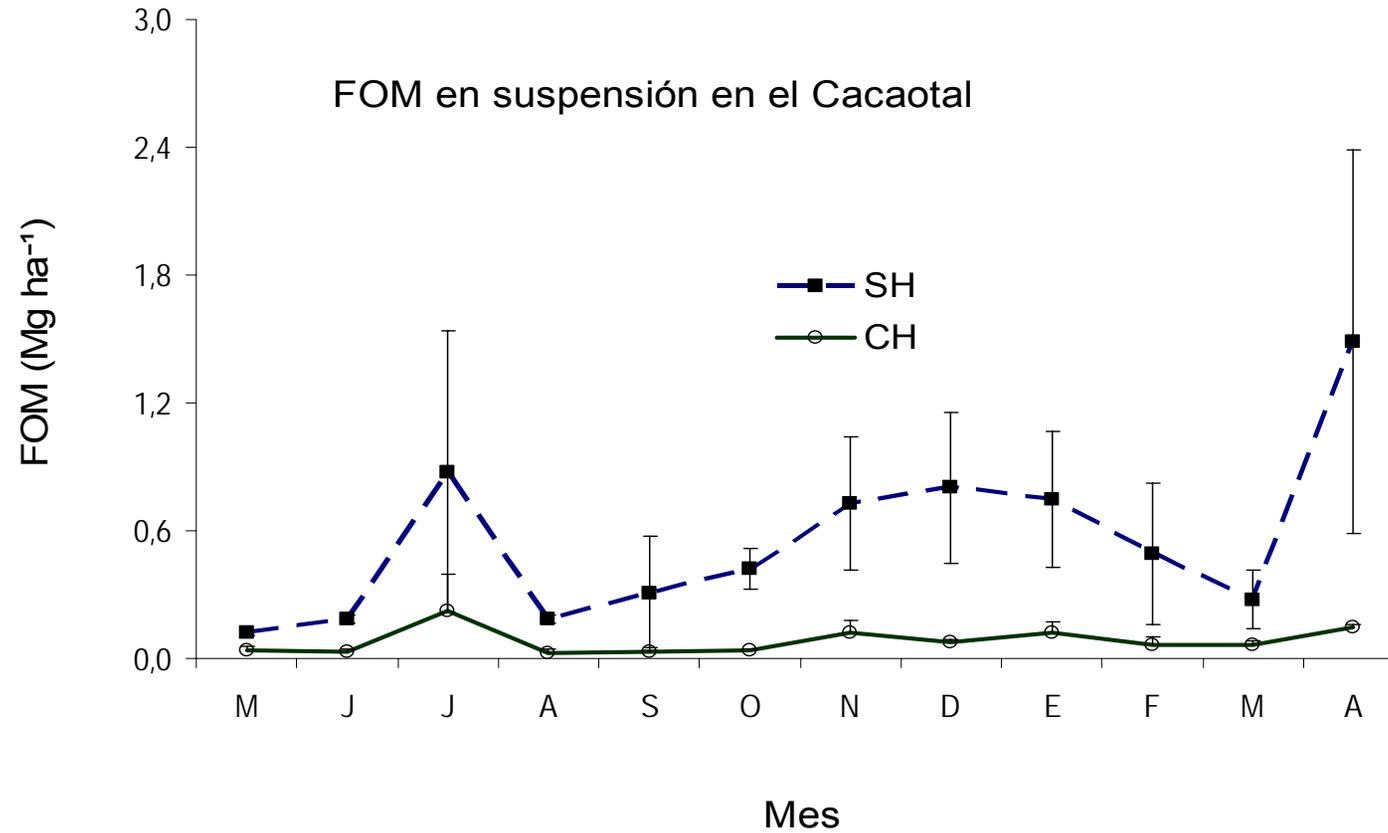
**PÉRDIDA DE FRACCIÓN ORGANOMINERAL EN EL CACAOTAL**

Mes	Sin hojarasca (Mg ha-1)			Total
	Suspensión	Fina	> 2 mm	
<b>M</b>	0,123 ± 0.013	0,059 ± 0.002	0,192 ± 0.182	<b>0,374 ± 0.177</b>
<b>J</b>	0,183 ± 0.019	0,109 ± 0.016	0,122 ± 0.116	<b>0,414 ± 0.124</b>
<b>J</b>	0,876 ± 0.661	2,380 ± 0.791	0,899 ± 0.294	<b>4,155 ± 0.969</b>
<b>A</b>	0,186 ± 0.019	1,169 ± 0.486	0,550 ± 0.176	<b>1,905 ± 0.417</b>
<b>S</b>	0,307 ± 0.271	0,196 ± 0.11	0,138 ± 0.003	<b>0,640 ± 0.345</b>
<b>O</b>	0,421 ± 0.098	0,511 ± 0.278	0,304 ± 0.128	<b>1,236 ± 0.418</b>
<b>N</b>	0,728 ± 0.314	0,198 ± 0.135	0,165 ± 0.058	<b>1,091 ± 0.501</b>
<b>D</b>	0,801 ± 0.352	0,305 ± 0.178	0,170 ± 0.066	<b>1,276 ± 0.591</b>
<b>E</b>	0,746 ± 0.319	0,134 ± 0.126	0,118 ± 0.057	<b>0,997 ± 0.414</b>
<b>F</b>	0,492 ± 0.333	0,113 ± 0.049	0,100 ± 0.033	<b>0,704 ± 0.351</b>
<b>M</b>	0,276 ± 0.137	0,090 ± 0.055	0,115 ± 0.068	<b>0,482 ± 0.094</b>
<b>A</b>	1,486 ± 0.899	0,143 ± 0.041	0,129 ± 0.057	<b>1,758 ± 0.883</b>
<b>Total</b>	<b>6,625 ± 2,906</b>	<b>5,407 ± 2,185</b>	<b>3,001 ± 0,696</b>	<b>15,032 ± 4,534</b>
%	44,070 ± 19,335	35,968 ± 14,534	19,962 ± 4,630	100,000

**Anexo15:** Pérdida de la fracción organomineral en los tratamiento con hojarasca del cacaotal (*Theobroma cacao*), medida en 3 fracciones: En suspensión, Fina (< 2 mm), y Gruesa (> 2 mm), desde mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

### FRACCIÓN ORGANOMINERAL EN EL CACAOTAL

Mes	Con hojarasca (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	Suspensión	Fina	> 2 mm	Total
<b>M</b>	0,040 ± 0.016	0,030 ± 0.020	0,230 ± 0.146	<b>0,300 ± 0.177</b>
<b>J</b>	0,032 ± 0.016	0,023 ± 0.011	0,042 ± 0.029	<b>0,096 ± 0.051</b>
<b>J</b>	0,223 ± 0.176	0,094 ± 0.065	0,093 ± 0.114	<b>0,409 ± 0.181</b>
<b>A</b>	0,028 ± 0.014	0,027 ± 0.004	0,035 ± 0.035	<b>0,089 ± 0.036</b>
<b>S</b>	0,034 ± 0.014	0,016 ± 0.013	0,012 ± 0.006	<b>0,062 ± 0.013</b>
<b>O</b>	0,038 ± 0.006	0,028 ± 0.013	0,014 ± 0.012	<b>0,080 ± 0.024</b>
<b>N</b>	0,122 ± 0.054	0,017 ± 0.007	0,018 ± 0.017	<b>0,157 ± 0.066</b>
<b>D</b>	0,078 ± 0.010	0,012 ± 0.000	0,013 ± 0.012	<b>0,103 ± 0.021</b>
<b>E</b>	0,121 ± 0.054	0,046 ± 0.042	0,089 ± 0.130	<b>0,256 ± 0.221</b>
<b>F</b>	0,065 ± 0.037	0,041 ± 0.011	0,032 ± 0.014	<b>0,138 ± 0.046</b>
<b>M</b>	0,063 ± 0.022	0,028 ± 0.025	0,044 ± 0.048	<b>0,134 ± 0.066</b>
<b>A</b>	0,146 ± 0.013	0,015 ± 0.009	0,019 ± 0.004	<b>0,180 ± 0.012</b>
<b>Total</b>	<b>0,989 ± 0,174</b>	<b>0,376 ± 0,081</b>	<b>0,642 ± 0,331</b>	<b>2,006 ± 0.469</b>
<b>%</b>	49,269 ± 8,682	18,753 ± 4,035	31,979 ± 16,513	100,000



**Anexo16:** Fracción organomineral en suspensión de los tratamientos con hojarasca y sin hojarasca del cacaotal (*Theobroma cacao*), desde mayo 2007 a abril 2008, Sector Monte Bello Alto, Tucaní, Mérida.

## CAÍDA DE HOJARASCA

**Anexo 17:** Hojarasca caída en los sistemas estudiados: Selva Nublada y Pastizal de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) desde marzo 2007 a febrero 2008, Selva Húmeda Submontana y Cacaotal (*Theobroma cacao*) desde mayo 2007 a abril 2008.

### HOJARASCA CAÍDA

Mes	Selva Nublada (Mg ha <sup>-1</sup> )	Pastizal (Mg ha <sup>-1</sup> )	Selva húmeda Submontana (Mg ha <sup>-1</sup> )	Cacaotal (Mg ha <sup>-1</sup> )
<b>M</b>	1,51 ± 0,43	1,03 ± 0,17		
<b>A</b>	0,67 ± 0,17	0,71 ± 0,17		
<b>M</b>	0,76 ± 0,50	0,52 ± 0,06	0,81 ± 0,13	0,54 ± 0,24
<b>J</b>	1,09 ± 0,46	0,11 ± 0,04	0,77 ± 0,07	0,44 ± 0,06
<b>J</b>	0,52 ± 0,30	0,24 ± 0,04	0,92 ± 0,08	0,48 ± 0,20
<b>A</b>	1,13 ± 0,63	0,42 ± 0,08	0,50 ± 0,12	0,47 ± 0,17
<b>S</b>	0,58 ± 0,38	0,26 ± 0,04	0,86 ± 0,23	0,50 ± 0,11
<b>O</b>	0,70 ± 0,29	1,19 ± 0,06	0,80 ± 0,14	0,25 ± 0,05
<b>N</b>	0,35 ± 0,16	0,02 ± 0,01	0,45 ± 0,02	0,26 ± 0,06
<b>D</b>	0,54 ± 0,16	0,02 ± 0,01	0,54 ± 0,07	0,18 ± 0,05
<b>E</b>	0,27 ± 0,08	0,13 ± 0,01	0,35 ± 0,07	0,25 ± 0,04
<b>F</b>	0,73 ± 0,53	0,08 ± 0,01	0,59 ± 0,16	0,86 ± 0,06
<b>M</b>			0,82 ± 0,13	0,25 ± 0,08
<b>A</b>			0,66 ± 0,31	0,18 ± 0,07
<b>Total</b>	<b>8,87 ± 3,85</b>	<b>4,72 ± 0,19</b>	<b>7,95 ± 0,97</b>	<b>4,65 ± 0,56</b>