



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
FAGRO**

**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

Trabajo de Graduación

**Interceptación del agua de lluvia en sistema de café
(*Coffea arábica* L) en monocultivo y agroforestal,
CENECOOP, Masaya, Nicaragua, 2013**

AUTORES

Br. Luis Francisco Ramos Rodríguez

Br. Elvin Antonio Lagos Pineda

ASESORES

MS. c. Rodolfo Munguía Hernández

MS. c. Gerardo Murillo Malespín

Managua, Nicaragua. Abril, 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMIA FAGRO

Trabajo de Graduación

Interceptación del agua de lluvia en sistema de café (*Coffea arábica* L) en monocultivo y agroforestal, en CENECOOP, Masaya, Nicaragua, 2013

AUTORES

Br. Luis Francisco Ramos Rodríguez

Br. Elvin Antonio Lagos Pineda

ASESORES

MS. c. Rodolfo Munguía Hernández

MS. c. Gerardo Murillo Malespín

Managua, Nicaragua. Abril, 2015

INDICE GENERAL

N°	SECCION	PAGINA
	DEDICATORIA	i
	AGRADECIMIENTO	ii
	ÍNDICE DE CUADROS	iii
	ÍNDICE DE FIGURAS	iv
	ÍNDICE DE ANEXOS	v
	RESUMEN	vi
	ABSTRACT	vii
I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS	2
	2.1. Objetivo General	2
	2.2. Objetivos específicos	2
III	METODOLOGÍA APLICADA	3
	3.1. Ubicación del área de estudio	3
	3.2. Diseño muestral	3
	3.2.1. Caracterización Etnobotánica de las especies forestales utilizadas en el estudio.	4
	<i>Diámetro de copa de la especie</i>	5
	3.3. Variables evaluadas	6
	3.3.1. Método directo (IAF) para cafetos	6
	3.3.2. Método indirecto (ÍAF) fotografías hemisféricas para arboles	7
	3.3.2.1. <i>Factores a tomar en cuenta en la toma de la fotografía</i>	7
	3.3.2.2. <i>La metodología de campo en la toma de la fotografía hemisférica</i>	7
	3.3.2.3. <i>El análisis de la fotografía hemisférica se hizo con Gap Light Analyzer (GLA) para esto se siguieron cuatro pasos</i>	9
	3.3.3. Interceptación del agua de lluvia en el sistema agroforestal y café a pleno sol	9
	3.3.4. Precipitación incidente (mm)	11
	3.3.5. Flujo cortical de árboles y cafetos (mm)	11
	3.3.6. Flujo de translocación de árboles y cafetos (mm)	12
	3.3.7. Pérdidas por interceptada (mm)	14
	3.4. Análisis de datos	15
IV	RESULTADOS Y DISCUSION	16
	4.1. Condiciones climáticas de la zona de estudio	16
	4.2. Característica del sistema agroforestal y café a pleno sol	18
	4.2.1. Caracterización de los arboles	18
	4.2.1.1. <i>Densidad poblacional de la combinación (T. rosea y S. glauca)</i>	18
	4.2.1.2. <i>Altura y Diámetro basal de las especies (T. rosea y S. glauca)</i>	19
	4.2.1.3. <i>Determinación del IAF de los arboles mediante fotografía hemisféricas (método no destructivo)</i>	19

4.2.1.4.	<i>Diámetro de copa de la especies</i>	21
4.2.2.	Determinación del Índice de Área Foliar del café	21
4.2.2.1.	<i>Índice de Área Foliar (IAF) de las plantas de café a pleno sol y café bajo sombra</i>	22
4.3.	Interceptación de las gotas de lluvias	22
4.3.1.	Flujo cortical de árboles de sombra y cafetos	22
4.3.2.	Flujo de traslocación de los árboles de sombra y cafetos	24
4.3.3.	Interceptación en el agro ecosistema	27
4.4.	Relación de la Interceptación y el Índice de Área Foliar (IAF)	30
V	CONCLUSIONES	32
VI	RECOMENDACIONES	33
VII	LITERATURA CITADA	34
VIII	ANEXOS	36

DEDICATORIA

*A Dios,
Mi Madre,
A mis Abuelos,
A toda las personas que me apoyaron en la realización de esta etapa de mi formación académica.*

Luis Francisco Ramos Rodriguez

El presente trabajo lo dedico a Dios por ser el que día a día me fortalece, por mostrarme el camino correcto y no dejar que un tropiezo detenga mis sueños.

A mis padres: **Arnulfo Lagos y Rosa María Pineda** por su apoyo incondicional y con muchos sacrificios han hecho posible que logre una meta más en mi vida.

A mis tíos especialmente a **Diomer Pineda**

A mis amigos.

Quiero agradecer al **Dr. Maycol Putoy**, a la **Lic. Reina María Velásquez** responsable del Dpto. de Servicios informativos (CENIDA).

Elvin Antonio Lagos

AGRADECIMIENTO

A Dios por mantenerlos siempre firme y poder realizar nuestro sueño. A nuestros padres por estar siempre con nosotros.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), al Centro Nacional de Estudios del Cooperativismo (CENECOOP), por permitirnos realizar el ensayo en el centro.

En especial por guiarnos siempre: **al MS.c. Rodolfo Munguía Hernández**, por apoyarnos desde el inicio y siempre darle seguimiento a nuestro trabajo, **MS.c. Gerardo Murillo Malespín** por el apoyo en el análisis de datos y de la creación de la tesis.

Así mismo queremos agradecer el apoyo del **Ing. Víctor Jirón** en la fase de campo ya los señores investigadores de CATIE en CENECOOP.

A la **Universidad Nacional Agraria** por ser quien nos dio la oportunidad de formarnos como profesional.

FONTAGRO por ser los precursores de este proyecto y por su apoyo económico en el desarrollo de esta investigación.

Luis Francisco Ramos Rodríguez.
Elvin Antonio Lagos Pineda

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Cantidad de árboles y cafetos para la interceptación de agua de lluvia a pleno sol y bajo sombra, Masatepe, 2013	10
2	Cantidad de dispositivos de captación del agua de lluvia en los dos sistemas (pluviómetros y recolectores en tallos)	13
3	Categorización de los eventos de lluvia en el año 2013	17
4	Precipitación acumulada mensual, precipitación máxima, mínima y desviación estándar de los datos 2013	18
5	Densidad de árboles por hectárea (ha) por subparcelas y sistema de sombra	19
6	Determinación del crecimiento de las especies (<i>Simarouba glauca</i> y <i>Tabebuia rosea</i>) 2013	19
7	Valores de índices de área foliar (IAF) <i>T rosea</i> y <i>S glauca</i>	20
8	Diámetro de copa y Área foliar de las especies de sombra (<i>S glauca</i> y <i>T rosea</i>) Masatepe CENECOOP 2013	21
9	Valores de Índice Área Foliar (IAF) de los cafetos en los sistemas de sol y bajo sombra	21
10	Valores de flujo cortical en <i>S glauca</i> y <i>T rosea</i> así como en los cafetos a pleno sol y sombra	23
11	Valores de flujo de translocación en <i>S glauca</i> y <i>T rosea</i> así como en los cafetos a pleno sol y bajo sombra	25
12	Valores de interceptación en <i>S glauca</i> y <i>T rosea</i> así como en los cafetos a pleno sol y bajo sombra	28
13	Interceptación de las precipitaciones en relación al IAF de los árboles de sombra CENECOOP Masatepe 2013	30
14	Interceptación de las precipitaciones en relación del IAF de los cafetos a pleno sol y bajo sombra CENECOOP Masatepe 2013	31

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Localización del municipio de Masatepe, Masaya en el sitio experimental CENECOOP (Velásquez y González, 2012)	3
2	Precipitación diaria del año 2013 en CNECOOP, Masatepe, 2013	9
3	Registros de precipitación y temperatura diaria en 2013, bajo un sistema agroforestal con café	16
4	Registros de precipitación y precipitación acumulada del año 2013, en el sistema agroforestal con café, CENECOOP, Masatepe	16
5	Comportamiento del flujo cortical (mm) de <i>S. glauca</i> y <i>T. rosea</i> en función de la precipitación CENECOOP, Masatepe, 2013	22
6	Comportamiento del flujo cortical (mm) de los cafetos a pleno sol y bajo sombra en función de la precipitación CENECOOP, Masatepe, 2013	23
7	Relación de Flujo cortical entre <i>S. glauca</i> y <i>T. rose</i> en función de la precipitación CENECOOP Masatepe 2013	24
8	Comportamiento del flujo de traslocación (mm) en acetuno y roble en función de la precipitación (CENECOOP Masatepe 2013)	25
9	Comportamiento del flujo de traslocación (mm) de los cafetos a pleno sol y con sombra en función de la precipitación CENECOOP Masatepe 2013	30
10	Relación del Flujo de traslocación en <i>S.glauca</i> y <i>T.rose</i> CENECOOP Masatepe 2013	26
11	Relación entre el Flujo de traslocacion en los cafetos a pleno sol y bajo sombra CENECOOP Masatepe 2013	27
12	Comportamiento de la Interceptación en las especies <i>S. glauca</i> y <i>T. rosea</i> en función de la precipitación. CENECOOP, Masatepe, 2013	28
13	Comportamiento de la Interceptación en <i>Coffea arábica</i> L, en pleno y bajo sombra en función de la precipitación. CENECOOP, Masatepe, 2013	28
14	Relación entre la intercepción para los arbustos de café a pleno sol y bajo sombra, CENECOOP Masatepe 2013	29

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PAGINA
1	Combinación de especies forestales y descripción de los tratamientos en las parcelas principales y en las sub parcela	37
2	Precipitación acumulada en Masatepe CENECOOP 2000-2012	38
3	Determinación de la clase de humedad del suelo con lluvia acumulada 5 días antes en periodo de vegetación	38
4	Valores de flujo cortica, Flujo de traslocacion y la interceptación en función de la precipitación incidente	39
5	Vista en planta de la colocación de los pluviómetro en el sistema agroforestal con café	40
6	Vista en elevación de los dispositivos de recolección de las precipitaciones en el sistema agroforestal con café	41

Ramos R., LF.; Lagos P., EA. 2015. Interceptación del agua de lluvia en sistema de café (*Coffea arabica* L) en monocultivo y agroforestal, en CENECOOP, Masaya, Nicaragua, 2013.

RESUMEN

La interceptación de lluvia por el dosel de la vegetación es uno de los factores que intervienen en la humedad del suelo y escurrimiento, debido a que gran parte retorna a la atmosfera en forma de evaporación. El estudio tiene como propósito analizar la distribución del agua de lluvia a través del proceso de interceptación por dosel en un sistema de café agroforestal y a pleno sol. Los indicadores evaluados fueron el flujo cortical y traslocación, Índice de área foliar por el método directo en cafetos e indirecto con fotografías hemisféricas en árboles. Se instalaron un total de 76 pluviómetros a 1.80 m. de altura y 54 pluviómetros distribuidos debajo de los arbustos de café, se monitoreo el flujo cortical en árboles y cafetos, en un sistema de tres parcelas bajo sombra y una parcela a pleno sol. Un total de 36 eventos, fueron analizados, eliminando los datos de escurrimiento de fuste que rebasaron su capacidad de almacenamiento. Como resultado en los árboles de roble (*T. rosea*) presentaron mayor flujo cortical que el acetuno (*S. glauca*), debido a la arquitectura del dosel y las características de la corteza del fuste del árbol. El flujo de translocación del roble fue similar al del acetuno. Y la interceptación en Roble fue (30,5 mm), mayor al de acetuno con (28,8 mm). La interceptación en los arbustos de café fue mayor bajo sombra con (105,3 mm) a los cafetos a pleno sol con (62,47 mm). Este estudio preliminar sugiere continuar desarrollando esta metodología para obtener balances hídricos en sistemas agroforestales con café.

Palabras clave: Interceptación, Sistema Agroforestal, IAF (Índice de Área Foliar), *Simarouba glauca*, *Tabebuia rosea*, pleno sol, bajo sombra.

R. Ramos, LF .; P. Lagos , EA . 2015. Interception of rainfall system of coffee (*Coffea arabica* L) in monoculture and agroforestry in CENECOOP , Masaya, Nicaragua , 2013 .

ABSTRACT

Rainfall interception by the canopy of vegetation is one of the factors involved in soil moisture and runoff, largely because returns to the atmosphere as evaporation. The study aims to analyze the distribution of rain water through the process of interception by canopy on an agroforestry coffee system and coffee plantation condition. Indicators evaluated were cortical flow and translocation, leaf area index by direct and indirect method with hemispherical photographs in trees. A total of 76 rain gauges were installed to 1.80 m. high and 54 rain gauges distributed under the coffee bushes, cortical flow was monitoring in trees and coffee plants, from three agroforestry coffee plots and one coffee plantation plot. A total of 36 events were analyzed, eliminating runoff data shaft that exceeded its storage capacity. The result in the roble (*T. rosea*) trees had greater cortical flow than acetuno (*S. glauca*) due to canopy architecture and characteristics of stem bark of the tree. The translocation flow was similar by both roble and acetuno. Moreover, roble interception was (30.5 mm) greater than acetuno with (28.8 mm). The interception in coffee bushes was higher under shade (105.3 mm) coffee plants than in coffee plantation with (62.47 mm). This preliminary study suggests further develop this methodology for water balance in coffee agroforestry systems.

Keywords : Interception , Agroforestry System, Leaf Area Index, *Simarouba glauca*, *Tabebuia rosea*, full sun, shade.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques son reconocidos como sistemas importantes para los servicios ambientales como: almacenamiento y captura de carbono, producción de oxígeno, belleza escénica, hábitat para diversas especies de animales, etc. Sin embargo, existen sistemas agroforestales productivos, el café entre ellos, que pueden llegar a tener similar valor ecológico (Moraga *et al.*, 2011).

La interceptación hecha por los bosques, se ha estimado como una parte de la precipitación incidente, donde se realiza un cálculo de la cantidad del agua de lluvia que ingresa menos la que sale del sistema, siendo esta la diferencia del cambio de la masa en el sistema. En el caso de la interceptación, la hace el follaje, el cual está conformado por las hojas y los tallos o ramas que se encuentran en la parte aérea de la planta (Méndez, 2013).

En realidad la vegetación juega un papel importante en la evaporación de la precipitación, debido a que su follaje llega a retener una cantidad de lluvia que va del 20 al 50% de la precipitación total (Gerrits *et al.*, 2006).

La interceptación de lluvia es el proceso por el cual la lluvia incidente es interceptada por las coberturas vegetales y posteriormente es redistribuida. La lluvia que golpea la superficie de la planta es retenida temporalmente para luego ser evaporada a la atmósfera (pérdida por interceptación) o cae al suelo directamente (goteo) o fluye a través de las ramas y el tronco (flujo cortical). La lluvia que no es interceptada por la cobertura vegetal se conoce como flujo libre de translocación y junto con el goteo se conoce como flujo de translocación (David *et al.*, 2005).

La cantidad de agua disponible en la zona radicular es función de las anteriores variables, siendo determinante en los procesos de nutrición, reproducción y transpiración de la planta además, el agua sobre el follaje de la vegetación es un importante factor ecológico que condiciona los procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren sobre las superficies foliares (Jaramillo *et al.*, 2003).

En Nicaragua no se han realizado estudios sobre interceptación del agua de lluvia. La interceptación de la lluvia no ha sido cuantificada en un SAF con café *Coffea arabica* L en combinación de (*Simarouba glauca* y *Tabebuia rosea*). Por eso, se ha propuesto efectuar la presente investigación con el siguiente objetivo general:

2.1. Objetivo General

- ✓ Cuantificar la distribución del agua de lluvia a través del proceso de interceptación por el dosel, en un sistema de café bajo condición agroforestal y a pleno sol en CENECOOP, Masaya.

2.2. Objetivos específicos

1. Estimar la cantidad de agua de lluvia interceptada por los componentes (flujo cortical y de traslocación) del sistema agroforestal con café y café a pleno sol.
2. Determinar el índice de área foliar (IAF) de las especies *Tabebuia rosea* y *Simarouba glauca*, y el (IAF) de *Coffea arabica* L bajo sombra y a plena exposición solar.
3. Relacionar el índice área foliar y el agua interceptada del sistema agroforestal con café y café a pleno sol.

III. METODOLOGÍA APLICADA

3.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el Centro Nacional de Estudios del Cooperativismo (CENECOOP), ubicado en el Municipio de Masatepe, Departamento de Masaya Figura 1.

Se localiza en las coordenadas 11°54' Latitud Norte y 86°09' Longitud Oeste; de clima seco, bien marcado de 5 a 6 meses, a una altitud de 455 msnm y humedad relativa de 70 - 80 %. Los suelos son fértiles; pH de 5.7 a 6.0;

materia orgánica de 10 a 12 % y CIC de 54 a 57% (Blanco *et al.*, 2003). El tipo de suelo donde se realizó el estudio pertenece a la serie Masatepe que consiste en suelos moderadamente profundos, bien drenados, que se derivan de cenizas volcánicas, poseen una capacidad de humedad disponible moderada, con una zona radical profunda y densidad aparente baja (0,85g/cm²), es franco a franco/arcilloso (Blanco *et al.*, 2003).

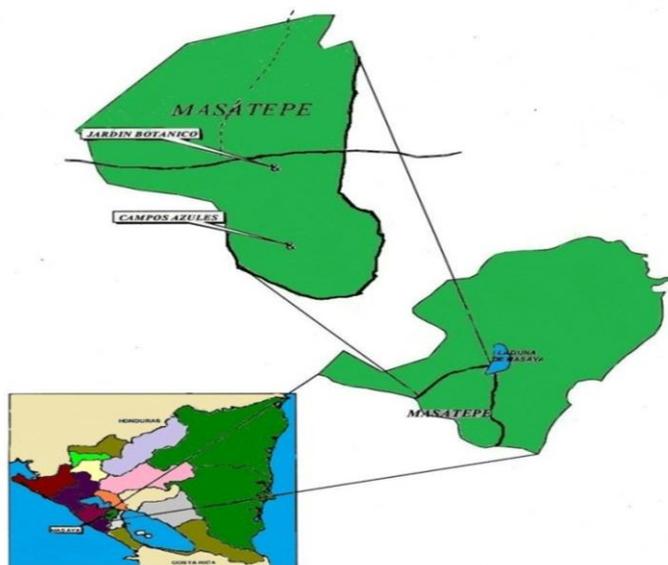


Figura 1. Localización del municipio de Masatepe, Masaya en el sitio experimental CENECOOP (Velásquez y González, 2012).

Diseño muestral

El sistema agroforestal con café planificado para un periodo de 20 años pretende estudiar las interacciones existente dentro del sistema definido y establecido en el año 2000 con dos replicas instaladas en CENECOOP y una tercera réplica en el área del Centro de Desarrollo Tecnológico Campos Azules propiedad del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA).

En cada réplica fueron distribuidos aleatoriamente 14 tratamientos estructurados en un Diseño en Parcelas Divididas, en la que combinaciones de árboles de sombra fueron establecidos en las parcelas grandes (factor A); siendo estas Genízaro + Guabillo; (*Samanea saman* + *Inga laurina*), (Guabillo + Acetuno); *I. laurina* + *Simarouba glauca*, (Genízaro + Roble) *S. saman* + *Tabebuia rosea* y (Acetuno + Roble). *S. glauca* + *T. rosea*. Mientras en las subparcelas (factor B) fueron distribuidos los niveles de insumos.

Sin embargo, el presente estudio no sigue el sistema de análisis estadístico del modelo aditivo lineal del diseño parcelas divididas, sino de acuerdo a los objetivos planteados solo se consideró la combinación de los árboles de sombra *T. rosea* + *S. glauca*. Esta decisión se basó sobre los siguientes elementos: la alta complejidad del trabajo de monitoreo de datos que requiere de más tiempo, los costos que representan la adquisición de materiales como los pluviómetros, el seguimiento que se sigue a cada uno de los árboles de sombra y los cafetos a estudiar.

Los cafetos son de la variedad Pacas establecidos a una distancia de 2 metros entre surco y 1.25 metros entre planta. En cambio el distanciamiento inicial para los árboles fue de 4 metros entre surco y 3.75 metros entre árbol. Sin embargo, en la actualidad se han realizado modificaciones relacionadas con el manejo de la sombra (raleo de árboles en el 2005, 2007, 2010) en el cafetal por lo que ha cambiado la población de las árboles por parcela.

3.1.1. Caracterización Etnobotánica de las especies forestales utilizadas en el estudio

a. Simarouba glauca (Aubl.) DC. (Aceituno, Talchocote, Negrito, Acetuna, Aceituna)

Familia: Simaroubaceae

Árbol perennifolio de crecimiento mediano a grande, alcanzando 35 m de altura. Copa en forma de sombrilla, fuste recto, cilíndrico, corteza gris amarillenta, bastante lisa, hojas imparipinadas, alternas que caen en los meses de febrero, marzo, abril. Se usa en construcciones livianas y molduras, contrachapados, cajas, juguetes, artículos deportivos, fósforos, palillos, tacones de zapatos, partes de instrumentos musicales y artesanías. Muy utilizado en sistemas agroforestales, (MARENA/INAFOR, 2002).

b. *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (Roble macuelizo, Roble sabanero, Falso roble)

Familia: Bignoniaceae

Árbol caducifolio con altura de 20 m alcanzando hasta 30 m; corteza verticalmente fisurada de color gris oscuro a negruzco; hojas compuestas digitadas, opuestas; hojuelas elípticas a oblongo - elípticas, ellas caen en los meses de marzo, abril, mayo. Muestra un buen comportamiento en plantaciones y ensayos de enriquecimiento. Se utiliza también en sistemas silvopastoriles como árboles dispersos, linderos, como sombra para Café y ornamental. Puede utilizarse en construcciones generales, producción de muebles, acabados y divisiones interiores, mangos de herramientas, implementos agrícolas, artículos deportivos, pisos, cubiertas y otras partes de botes, así como, chapas decorativas (MARENA/INAFOR, 2002).

Diámetro de copa de la especie

De acuerdo con López (2007) define el diámetro de copa como la superficie que ocupa sobre el terreno la proyección de la copa. Volumen de leñas que produce la copa. La determinación de cobertura de copa es importante porque permite calcular el grado de protección que brinda la cobertura forestal al suelo, calculando así el nivel de retención de agua, disminución del grado de erosión y escorrentía superficial.

Para el cálculo del diámetro de copa se hacen dos medidas en cruz y se halla la media aritmética con la ecuación 1.

$$\text{Diámetro de copa} = \frac{dc1+dc2}{2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

dc1: diámetro de copa 1 (m)

dc2: diámetro de copa 2 (m)

Luego se aplicó la ecuación 2, para obtener el área de copa:

$$A: \pi R^2 \quad \text{Ecuación. 2}$$

Dónde:

A: área del árbol (m²)

Π: constante numérica (3.1416)

R²: radio del árbol (m)

3.2. Variables evaluadas

3.2.1. Método directo (IAF) para cafetos

Para la medición del Área Foliar se seleccionaron 9 plantas café a pleno sol y 9 bajo sombra, a los cuales se les midió flujo cortical y de traslocación, además, estos mismos cafetos fueron evaluados en los tres periodos en estudios.

El cálculo de Área Foliar en cafetos se realizó midiendo largo y ancho de la hoja, con una regla milimetrada (Foto 1, 2), iniciando el conteo en las bandolas de abajo hacia arriba, contando cada 20 hojas hasta contabilizarlas todas, (la medición se realizó cada 20 hojas).

Los datos fueron ingresados en un formato de Excel preparado con antelación para facilitar el procesamiento de los mismos, lo cual nos daba como resultado el área foliar de las plantas en (m²). El Índice de Área Foliar de los cafetos se obtuvo al dividir el área de la planta (m²) entre el área del marco de la plantación en (m²). Se realizaron tres mediciones durante el año 2013:

- La primera de 17 de mayo al 17 de junio del 2013
- La segunda del 12 de julio al 12 de agosto del 2013
- La tercera del 13 de septiembre al 12 de octubre del 2013.



Foto 1.- Medición al largo de la hoja



Foto 2.- Medición al ancho de la hoja

3.2.2. Método indirecto (ÍAF) fotografías hemisféricas para árboles

Para obtener el área foliar por el método indirecto se utilizó una cámara fotográfica (Nikon Coolpix 4500 con un lente hemisférico (Nikon Fisheye conveter FC-E8 0.21x) que se apunta hacia arriba, al cenit, su auto nivelador con su nivel de burbuja para un mejor desempeño. La cámara con el trípode ajustado se ubicó en referencia a los cuatro puntos cardinales alrededor de cada árbol a 50 cm de distancia del tronco, estos fueron los puntos de referencias de toma fotográfica.

3.2.2.1. Factores a tomar en cuenta en la toma de la fotografía

La uniformidad de la iluminación es muy importante, y es precisamente lo más difícil de obtener. Eso quiere decir que los mejores resultados se consiguen en días donde la contraluz sea pareja (como en días bien nublados), bastante de mañana o ya caída la tarde.

El análisis de fotografías hemisféricas se realiza con programas de análisis de imágenes; algunos de ellos son genéricos y gratuitos como Scion Image, y el Image, que pueden descargarse de Internet sin costo, aunque existen también “plugins” para programas comerciales de edición de imágenes como Adobe Photoshop. Se usara el programa GAP Light Analyzer.

3.2.2.2. La metodología de campo en la toma de la fotografía hemisférica consistirá en los siguientes:

1. Se determinaron 3 áreas de muestreo en la parcela con sombra de *S. glauca* + *T. rosea* en estudio, en cada una de la áreas se seleccionaron un total de 4 árboles o sea dos por cada especie.
2. Se obtuvieron fotografías de cada uno de los árboles seleccionados por la mañana de 5:00 – 6:00 y 17:00 - 18:00 horas, con un cielo nublado para que los rayos del sol no dificulten la imagen tomada.
3. Con la ayuda de un trípode fue colocada la cámara ajustada debidamente, a una distancia del tronco del árbol a 50 cm, la altura de la cámara y el trípode fue de 1.70 m. Fueron obtenidas cuatro fotografías siendo la primera en la dirección cardinal norte, seguido del este, luego del cardinal sur y finalizando en el cardinal oeste. En

cada punto se tomaron como referencia una fotografía ya que entre cada exposición y colocación de la cámara en cada nuevo punto se deberá programa el tiempo de toma de fotografía en un lapso de 10 segundos, lo que limitaba hacer más de una foto por cada punto.



Foto 3.- Trípode para apoyo a cámara



Foto 4.- Cámara en trípode



Foto 5.- Cámara y lente



Foto 6.- Punto de toma de imagen en árbol

3.2.2.3. El análisis de la fotografía hemisférica se hizo con Gap Light Analyzer (GLA) para esto se siguieron cuatro pasos:

1. Abrir una imagen existente obtenida por la cámara fotográfica y el lente (ojo de pescado).
2. Registrar la imagen para esto se utilizaron 2 medidas de radios; el primer radio fue de 500 y se utilizó en las imágenes de *S. glauca*, por su parte en las imágenes de *T. rosea* se utilizó un radio de 340.
3. Luego se selecciona solo la copa del árbol y se clasifica con píxeles como un cielo (blanco) o no cielo (negro).
4. Por último, se ejecutan el comando de cálculo proporcionado por el programa, obteniendo los datos de IAF los cuales a su vez fueron promediados.

3.2.3. Interceptación del agua de lluvia en el sistema agroforestal y café a pleno sol

La medición del flujo cortical y de traslocación en los sistemas a pleno sol y bajo sombra se realizaron en tres periodos, durante la época de lluvia siendo estos: 12 mayo – 12 junio (inicio de las lluvias), 13 de julio –13 agosto (presencia de canícula, pocas lluvias) y 13 de septiembre –12 octubre, (presencia de abundante lluvia).Para cuantificar estos flujos se emplearon pluviómetros, bidones y botellas receptores de agua.

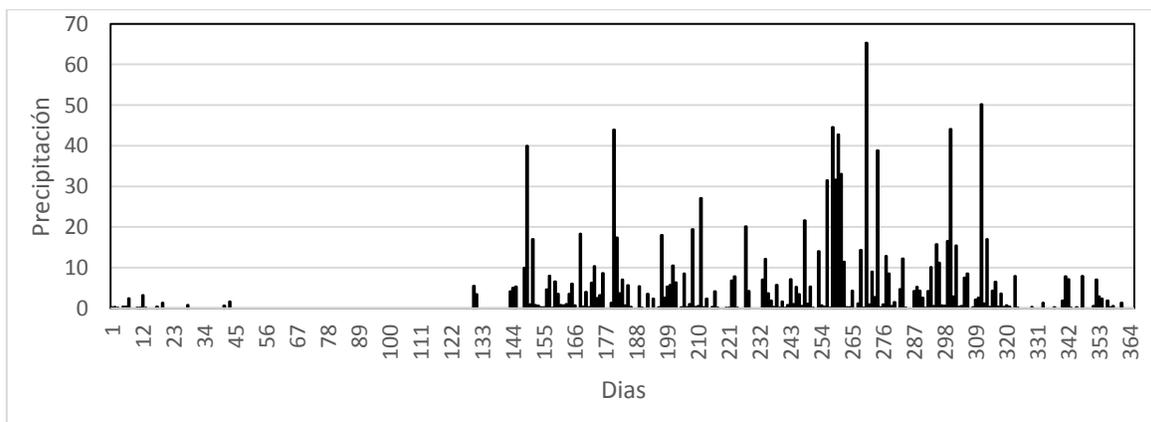


Figura 2. Precipitación diaria del año 2013 en CNECOOP, Masatepe

Se seleccionaron 9 plantas de café en ambos sistemas, tres fueron de porte pequeño, tres de porte mediano y tres de porte grande: con el propósito de analizar la heterogeneidad de las copas de los cafetos y su efecto en la interceptación de la lluvia.



Foto 7: Tamaño de las plantas de café



Foto 8: Sistema pleno sol

Se ubicaron tres áreas de muestreo, cuya composición estaba formado por dos árboles de robles y dos de acetuno, logrando formar un rombo. Del área total de la copa del árbol se tomó $\frac{1}{4}$ del área total sobre la superficie del suelo, cada ubicación fue identificada para evitar confusión al momento de los registros de la información, como la medición del flujo cortical y traslocación en los árboles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad de árboles y cafetos seleccionados para la interceptación de agua de lluvia a pleno sol y bajo sombra, Masatepe, 2013

Sistema	Área de muestreo	Cafetos	Arboles de sombra
pleno sol	1	9	-
Sombra	1	9	-
		-	4
	2	-	-
		-	4
	3	-	-
		-	4

3.2.4. Precipitación incidente (mm)

Para conocer la precipitación incidente en cada evento durante un año se estableció una estación meteorológica experimental, la cual permitió la recolecta de los datos de la precipitación en cada uno de los eventos de lluvia, instalada a 2.5 m sobre la superficie del suelo, la cual cuenta con dispositivos que registran variables climáticas, como: lamina precipitada (mm), velocidad del viento (m/s), radiación solar (m/s), humedad del aire (%), punto de rocío (%), temperatura ambiente (grado Celsius). La estación meteorológica fue programada cada 30 minutos para descargar los datos y ser almacenados en un datalogger modelo CR1000.

3.2.5. Flujo cortical de árboles y cafetos (mm)

Para la medición de este flujo, se utilizaron bidones con capacidad de 60 l y botellas de 3 l, estos se identificaron con un número o código para su ordenamiento en la medición, las mediciones se realizaron con una probeta de (1000 ml), para convertir el volumen de agua a lámina y poder trabajar de forma directa con la precipitación incidente que registro la estación meteorológica se utilizó la (Ecuación 3) (Shen *et al.*, 2012).

$$fc = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{fci}{Ac} \right)$$

Ecuacion.3

Donde:

fc: flujo cortical lamina (mm)

fci: flujo cortical en volumen (mm³)

Ac: área de copa del árbol (mm²)

n: número de arboles

El flujo cortical fue monitoreado en los 12 árboles, a cada uno de los árboles se les colocó un anillo (tapas de bidón de aceite), recolector en la base del tronco en posición espiral (ajustado el contorno del tronco y sellado con plastilina y cinta adhesiva); (Foto 7 y 8) que permitió dirigir la caída del agua; en la parte inferior del borde se colocó una manguera de

½ pulgada, dicha manguera fue colocada en el bidón de 60 litros de capacidad. Estos fueron codificados, la primera parcela (R5, AC5, AC6, R6), en la segunda (R7, R8, AC7, AC8) y en la tercera (R9, AC9, R10, AC10).



Foto 9. Recolector de flujo cortical



Foto 10. Anillo o borde ajustado al tallo

En los tallos de los cafetos seleccionados, se utilizó papel aluminio con varios dobles, ya que este papel es algo débil formando un canal con una boquilla de aluminio, esto se colocaron en forma de espiral pegados con cinta adhesiva y sellando con plastilina, las botellas recolectoras de 3 l se colocaron en un hueco hecho al pie del tallo, para que estuviesen lo mayor vertical posible.

3.2.6. Flujo de traslocación de árboles y cafetos (mm)

En la construcción de los pluviómetros, se utilizaron tubos PVC de 4 pulgadas, cortados a 9.84 pulgadas de longitud, se les colocaron tapas del mismo diámetro, a cada pluviómetro se identificó con un número o código para su ordenamiento en la medición, las mediciones se realizaron con una probeta de (1000 ml), para convertir el volumen de agua a lámina y poder trabajar de forma directa con la precipitación incidente que registro la estación meteorológica se utilizó la (Ecuación 4) (Shen *et al.*, 2012).

$$ft = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{fti}{A} \right)$$

Ecuación. 4

Donde:

ft: Flujo traslocación lamina (mm)

fti : flujo traslocación volumen (mm³)

A: área del pluviómetro (mm²)

n: número de pluviómetros

A los cafetos a pleno sol y bajo sombra se les colocó una batería de tres pluviómetros sobre el suelo, a tres distancias del tallo: a 20, 60 y 100 cm, en diagonal a otro cafeto del surco o hilera vecina para observar el grado de heterogeneidad en los datos, para un total de 27 pluviómetros en el área de muestreo.

Se colocados 76 pluviómetros sobre la copa de los cafetos, los cuales fueron puestos sobre poste de bambú una altura de 1.8 m, con una buena nivelación, haciéndole en la punta una perforación para que el pluviómetro se pudiera apoyar, sostenido con una cinta elástica para no caerse, colocados a diferente distancia tales como: 100, 250 y 550 cm del tronco de los árboles seleccionados.

Cuadro 2. Cantidad de dispositivos de captación del agua de lluvia en los dos sistemas (pluviómetros y recolectores en tallos)

Especie	Receptores	Sistema		
		Pleno Sol	Sombra	Total
<i>Coffea arábica L.</i>	Pluviómetro	27	27	54
	Botellas	9	9	18
<i>T. rosea</i>	Pluviómetro	0	37	37
	Bidones	0	6	6
<i>S. glauca</i>	Pluviómetro	0	39	39
	Bidones	0	6	6
Totales	Pluviómetros	27	103	130
	Botellas	9	9	18
	Bidones	0	12	12

3.2.7. Pérdidas por interceptación (mm)

Las pérdidas por interceptación es una variable no observable, la cual experimentalmente se estima como la diferencia entre la precipitación incidente la cual se obtuvo de la estación meteorológica y la precipitación neta, que a su vez es la suma entre el flujo de translocación y el flujo cortical (Ecuación 5) (Méndez M 2013).

$$I=PI-(Ft + Fc) \quad \text{Ecuación. 5}$$

Dónde:

I: precipitación interceptada por el follaje (mm)

PI: Precipitación Incidente (mm)

Ft: Flujo de traslocación (mm)

Fc: Flujo Cortical (mm)

3.3. Análisis de datos

A partir de las mediciones directas hechas a los cafetos a pleno sol y bajo sombra, mediciones indirectas en los árboles de sombra, además de contar con datos de (precipitación incidente, flujo cortical y traslocación), se realizaron los siguientes análisis:

- a) Se realizaron graficas en Excel 2013, en función de dos ejes, donde se insertó la precipitación, los días y los distintos componentes (flujo cortical y flujo de traslocación), con el objetivo de conocer el comportamiento en comparación de las especies de sombra y de los cafetos a pleno sol y bajo sombra.
- b) Se aplicó el modelo de regresión lineal ajustada para la determinar la correlación de (R^2) en la precipitación interceptada, el flujo de traslocación y cortical con la precipitación incidente, donde $Y=mx+b$: Y es la precipitación interceptada, flujo de traslocación o flujo cortical (mm), X es la precipitación incidente (mm).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones climáticas de la zona de estudio

El estudio fue realizado en el Centro Nacional de Enseñanza para el Cooperativismo (CENECOOP) ubicada en el municipio de Masatepe, presenta un clima de trópico seco con precipitaciones históricas que oscilan entre 800 - 1200 mm anuales y temperaturas entre 22 - 28 grados Celsius. Lo cual para el año 2013 las precipitaciones y temperaturas presentaron un comportamiento normal (Figura 3), con una precipitación anual acumulada de 1,200 mm para este mismo año (Figura 4).

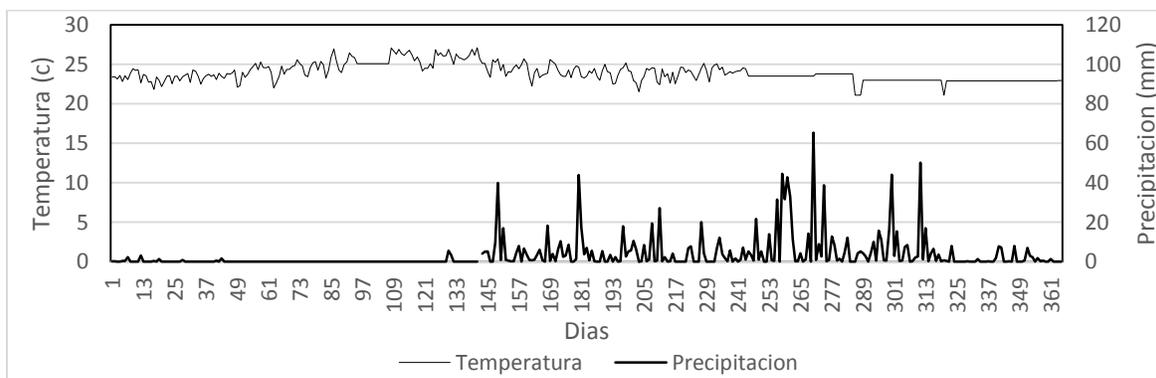


Figura 3. Registros de precipitación y temperatura diaria en 2013, bajo un sistema agroforestal con café.

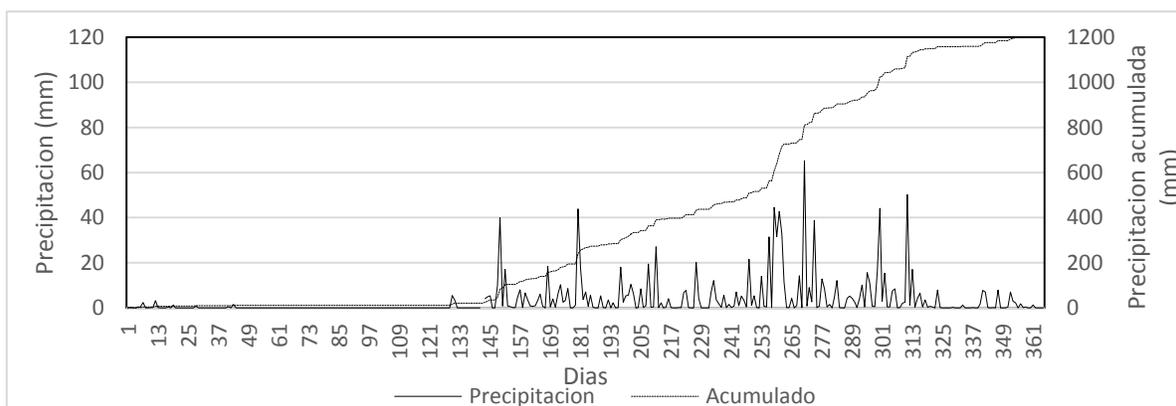


Figura 4. Registros de precipitación y precipitación acumulada del año 2013, en el sistema agroforestal con café, Masatepe CENECOOP, Masatepe

El registro de las precipitaciones, se muestran en el Cuadro 3, donde se obtuvieron 188 eventos organizados en tres categorías, en donde el 64,89 % fueron entre 0 - 5 mm, 27,66 % fueron entre 5,1 - 20 mm y el 7.45 % son mayores a los 20 mm de lluvia. Para el estudio, solamente se analizaron 36 eventos de precipitación incidente en el periodo de recolección de datos.

Cuadro 3. Categorización de los eventos de lluvia en el año 2013

Categoría, (mm)	N° Eventos
0-5	122
5,1-20	52
20,1- a mas	14
Total	188

Se contabilizaron el total de precipitaciones de cada mes, con su máximo y mínimo evento de lluvia. La mayor acumulación de las precipitaciones mensuales ocurrieron en junio, julio, septiembre a noviembre, (Cuadro 4) siendo históricamente septiembre y octubre los meses más lluviosos, mientras que los meses más secos han sido marzo y abril, presentándose una mayor distribución de la lluvia en septiembre con la mayor desviación estándar (SD) lo que significa la recurrencia de eventos con variabilidad en cuanto a la cantidad de lluvia precipitada.

Cuadro 4. Precipitación acumulada mensual, precipitación máxima, mínima y desviación estándar de los datos 2013.

Meses	Lámina (mm)				Total (mm)
	Eventos de lluvia	Mínima	Máxima	S D	
Enero	12	0,1	3,2	5,4	9,6
Febrero	2	0,6	1,6	0,7	2,2
Marzo	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mayo	9	0,9	39	37,1	91
Junio	26	0,1	43,9	55,3	136
Julio	25	0,1	27,1	62,5	151,8
Agosto	22	0,1	20,1	31,9	79,5
Septiembre	28	0,1	65,3	147,1	350,7
Octubre	28	0,1	44,1	91,8	221,6
Noviembre	21	0,1	50,2	47,4	115,9
Diciembre	15	0,1	7,9	16,8	41,8

SD: desviación estándar de la media.

4.2. Característica del sistema agroforestal y Café a pleno sol

4.2.1. Caracterización de los arboles

4.2.1.1. Densidad poblacional de la combinación (*Tabebuia rosea* y *Simarouba glauca*)

Para el 2013 se realizaron modificaciones en el manejo de sombra en todas las combinaciones, teniendo en cuenta la combinación en estudio se obtuvo que las densidades poblacionales de *T. rosea* y *S. glauca* fueron, (cuadro 5)

Cuadro 5. Densidad de árboles por hectárea (ha) por subparcelas y sistema de sombra

Combinación de Sombra	Especie	Árboles/ hectárea	Total árboles por hectárea
Sg+Tr	<i>S. glauca</i>	84,9	194,9
	<i>T. rosea</i>	110	

Sg: *S. glauca* Tr: *T. rosea*

4.2.1.2. Altura y Diámetro basal de las especies (*Tabebuia rosea* y *Simarouba glauca*)

En el trabajo de investigación presentado por Velásquez y González (2012) realizado en este mismo sitio encontraron que *S. glauca* a la edad de 9 años tenía un diámetro normal (DN) de 19,75 cm y una altura de 11,77 m; *T. rosea* tenía un DN de 19,75 cm y una altura de 9,76 m, adicionalmente, encontraron que *T. rosea* incrementa en DN 2,15 cm por año, en altura 1,09; *S. glauca* incrementa en DN 2,14 cm cada año, en altura 1,13 m anualmente.

Cuadro 6. Determinación del crecimiento de las especies (*Simarouba glauca* y *Tabebuia rosea*) 2013

Especie	DN	IMA del DN	Altura (m)	IMA de la Altura
	(cm)	(cm)	(m)	(m)
Sg	24,7	1,9	12,5	1,0
Tr	26,7	2,1	15,1	1,2

IMA; Incremento medio anual (m), DN; Diámetro normal (m),

4.2.1.3. Determinación del IAF de los arboles mediante fotografía hemisféricas (método no destructivo)

Según Cruz (2014) la especie *T. rosea*, en julio cuando empezaba a producir hojas *T. rosea* 1 obtuvo un IAF de 0,36 y *T. rosea* 2 0,66 de IAF, en cambio cuando ya estaba el total de sus hojas (noviembre) *T. rosea* 3 obtuvo un IAF de 0,70 y *T. rosea* 4 0,81 de IAF, lo cual indica una variación del IAF en diferentes épocas del año. Y para *S. glauca* los valores de IAF encontrados fueron de 0,20 y 0,29 en el mes de julio, lo cual indica que los valores

obtenidos en nuestro estudio no tienen mucha variabilidad con los de Cruz (2014) en las especies *T. rosea* y *S. glauca* con el método indirecto de fotografía hemisférica.

Obteniendo para el primer periodo en *T. rosea* 0.08, para el segundo periodo, 0.74, para el tercer periodo 0.82 y para *S. glauca* el IAF en el primer periodo obtuvo 0.20, para el segundo periodo 0.32 y para el tercer periodo obtuvo 0.34 lo cual indica que se mantuvo el cual se muestra en el (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de índices de área foliar (IAF) *T. rosea* y *S. glauca*

Especie		Mayo-Junio	Julio-Agosto	Septiembre-October
		IAF	IAF	IAF
<i>S. glauca</i>	promedio	0,20	0,32	0,34
<i>T. rosea</i>	promedio	0,08	0,74	0,82

IAF: adimensional

Para *S. glauca*, especie perennifolio al inicio poseía un porcentaje de (15-30 %) de sus hojas, en las fecha de julio-agosto aumento (30-40 %) y para el periodo de septiembre-octubre obtuvo un 40% lo que significa que la hoja alcanza su crecimiento fisiológico normal en relación al *T. rosea* debido a que esta especie es caducifolia, su crecimiento de hojas es más acelerado, al inicio de toma de las fotografías no contenía hojas, lo cual proporciono datos de índice de IAF bajos de (2 - 5 %) en cambio cuando las precipitaciones estaban presente (julio-agosto) aumentaron considerablemente 30 - 40 % llegando en septiembre –octubre a 40 - 60 % el IAF.

4.2.1.4. Diámetro de copa de la especies

Se utilizó la Ecuación 1 para calcular el área de las especies de sombra en estudio (*S. glauca* y *T. rosea*) este dato fue de mucha importancia y se utilizó en la ecuación 3, para la conversión de los ml de agua de lluvia recolectado a mm. El cuadro 8 muestra el valor promedio de diámetro de copa y el área de copa de las 6 especies de *S. glauca* y *T. rosea*, además de la SD (desviación estándar) de las mismas especies, lo cual nos muestra que la especie *T. rosea* obtuvo los arboles con mayor área y diámetro de copa a diferencia *S. glauca*.

Cuadro 8. Diámetro de copa y Área foliar de las especies de sombra (*S glauca* y *T rosea*)
Masatepe CENECOOP, 2013

Arboles		Diámetro de copa (m)	Área (m ²)
S glauca	SD	1,7	24,6
	promedio	8,4	57,9
T rosea	SD	1,1	13,5
	promedio	8,7	61,1

4.2.2. Determinación del Índice de Área Foliar del café

4.2.2.1. Índice de Área Foliar (IAF) de las plantas de café a pleno sol y café bajo sombra

El área de interceptación depende del índice de área foliar del cultivo, el cual puede expresarse como el producto del número de plantas por unidad de área de terreno, del número de hojas por planta y del área promedio de las hojas por planta. (Arcila *et al.*, 2007 b).

En el cuadro 9, presentan los valores promedio de IAF de los cafetos de distintitos tamaños para el sistema a pleno sol y sombra, cabe señalar que los valores se determinaron a principio de mayo de 2013 cuando aún no había llovido, los cafetos poseían la cantidad mínima de un 25% en hojas, con las primeras precipitaciones para el mes de julio el área aumento considerablemente llegando a un 60% y terminado el mes de octubre, ya el arbusto contaba con el 90% de sus hojas.

Cuadro 9. Valores de Índice Área Foliar (IAF) de los cafetos en los sistemas de sol y bajo sombra

Sistema	PLENO SOL			BAJO SOMBRA		
	Pequeño	Mediano	Grande	Pequeño	Mediano	Grande
Mayo-Junio	0,5	0,6	1,4	0,4	0,5	0,4
Julio-Agosto	1,1	1,8	3,4	1,2	1,5	2,7
Septiembre -Octubre	1,6	2,8	4,3	1,7	2,4	5,1

4.3. Interceptación de las gotas de lluvias

Se midieron un total de 36 eventos en el periodo de toma de datos, teniendo una lámina acumulada de 580,7 mm. Para analizar el comportamiento de la interceptación en función de los dos estratos, para las especies arbóreas como *S. glauca* y *T. rosea*, así como del café a pleno sol y bajo sombra.

El flujo cortical y de traslocación en los cafetos bajo sombra, se trabajó con el promedio acumulado del flujo de traslocación de (*S glauca* y *T rosea*), obteniendo 543,25 mm dirigida hacia los cafetos.

4.3.1. Flujo cortical de árboles de sombra y cafetos

Se ha demostrado que la escorrentía del tallo es solo una pequeña porción de la precipitación incidente total (Jiménez, 1986).

En el flujo cortical, los eventos de lluvia que sobrepasaron los 30 mm de precipitación provocaron un exceso en la capacidad comprendida para los bidones y botellas de recolección, llegando a ser un dato no confiable para el análisis, los que fueron eliminados mediante una validación de datos, con la finalidad de obtener resultados confiables.

El cuadro 10 muestra los valores del flujo cortical, siendo 2,59 % el valor más alto que corresponde a *T. rosea*, el cual presentó mucho más flujo *S. glauca*, los valores del flujo cortical en los cafetos son altos, considerando que el área que cubre en el terreno es menor con respecto a los árboles, pero el IAF de los cafetos es mayor que el de los árboles.

El comportamiento del flujo cortical está en dependencia de las precipitaciones ya que a medida que la lluvia es mínima tiende a haber poca conducción de agua por el tallo, y mientras aumenta la intensidad de la precipitación el flujo es mayor (Anexo 4).

Cuadro 10. Valores del flujo cortical en relación a la lluvia acumulada de 36 eventos en *S glauca* y *T rosea* y en los cafetos a pleno sol y sombra

Flujo cortical (mm)										
Rango (mm)	Acumulado (mm)	N° eventos	<i>S glauca</i>		<i>T Rosea</i>		Cafeto Sol		Cafeto Sombra	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
0-5	27,6	9	0,03	0,12	0,23	0,83	0,14	0,50	0,19	0,51
5,1-10	68,9	9	0,24	0,34	1,50	2,11	0,64	0,87	0,92	1,53
10,1-15	73,4	6	0,82	1,11	1,90	2,59	0,68	0,92	0,50	0,92
15,1-20	55,2	3	0,42	0,75	0,89	1,61	0,75	1,35	0,67	1,41
20,1-40	201,9	6	2,23	1,10	3,40	1,68	2,49	1,23	2,38	1,11
40,1-70	153,7	3	1,54	1,70	2,51	1,62	0,97	0,63	0,75	0,50
Total	580,7	36	5,3		10,42		5,63		5,41	

La Figura 5, muestra el comportamiento del flujo cortical en ambas especies en función de la precipitación, donde el 90 % de los eventos muestreados indican que *T. Rosea* mostró mejor conducción del agua a través del flujo cortical que *S. glauca*.

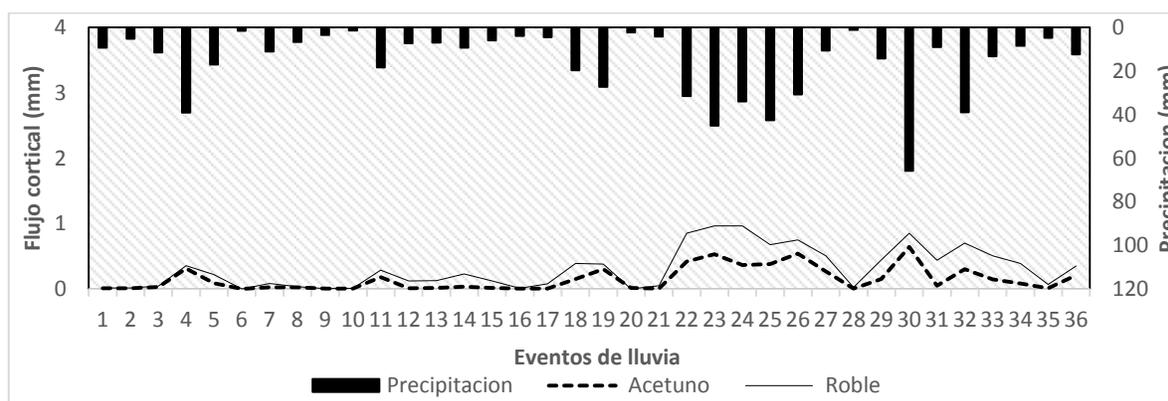


Figura 5. Comportamiento del flujo cortical (mm) de *S. glauca* y *T. rosea* en función de la precipitación CENECOOP, Masatepe, 2013

El flujo cortical en los cafetos bajo sombra y a pleno sol mostró un comportamiento similar figura 6, siendo ligeramente mayor en sol, aun cuando la cantidad de agua de lluvia que entro en café bajo sombra fue menor.

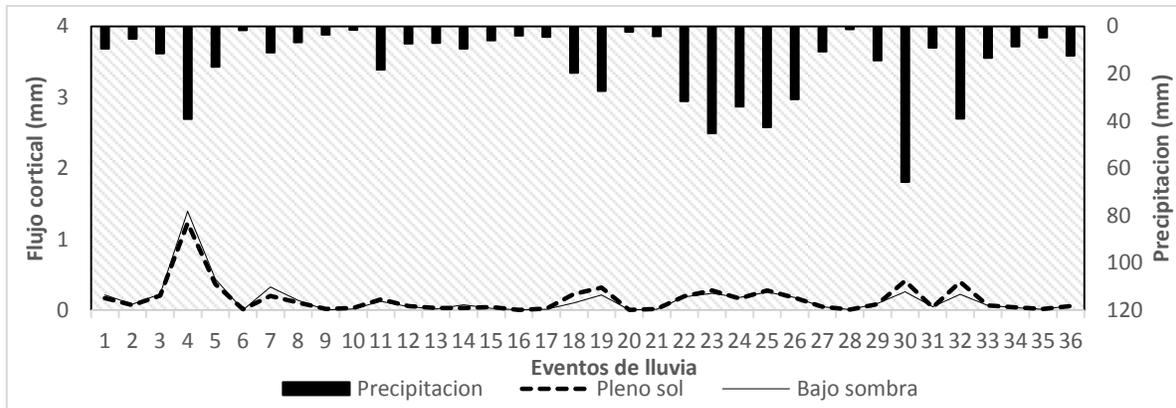


Figura 6. Comportamiento del flujo cortical (mm) de los cafetos a pleno sol y bajo sombra en función de la precipitación CENECOOP, Masatepe, 2013

La Figura 7, muestra que *T. rosea* obtuvo una correlación menor que *S. glauca* entre la precipitación incidente y el flujo cortical; debido a que hubo una mayor variabilidad en la dispersión de los datos, presentando mayor flujo cortical *T. rosea* en función de altas precipitaciones.

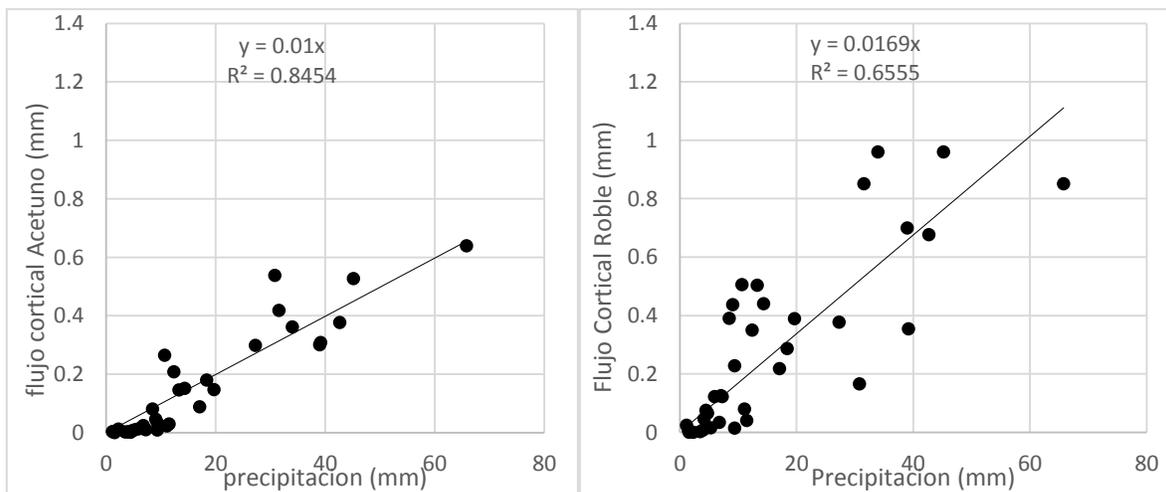


Figura 7. Relación de Flujo cortical entre *S. glauca* y *T. rosea* en función de la precipitación CENECOOP Masatepe 2013

4.3.2. Flujo de traslocación de los árboles de sombra y cafetos

Téllez (2003), sugiere que entre mayor es el aguacero, menor es la capacidad de retención de agua por la vegetación y mayor es el flujo por traslocación. Otra anotación de esta investigación es respecto el área de la copa del árbol, ya que los resultados obtenidos en su

experimento sugieren que con áreas de coronas grandes no se conduce el agua hacia el centro para su posterior drenaje, sino que por el contrario el agua participa más en el proceso de goteo, reduciendo los valores de Fc (Flujo cortical) (Méndez, 2013 d).

Se realizó validación de los datos para cada evento de lluvia, donde se sustrajo un rango promedio en el flujo de traslocación y así no contar con datos que provocaran alteración por agua acumulada y dirigida por ramas, durante fuertes lluvias que cayeran sobre algunos de los pluviómetros puestos sobre los cafetos. A partir de la eliminación de valores extremos (máximos y mínimos) hasta lograr tener una desviación estándar de menor distribución que permite obtener un intervalo de confianza a un 95 %.

El flujo de traslocación tuvo un comportamiento similar entre las especies, los eventos de precipitación con mayor acumulación de agua provocaron menor retención por la vegetación y mayor flujo de traslocación, siendo *S. glauca* el que muestra ligeramente mayor flujo acumulado (546,7 mm) en los 36 eventos que *T. rosea* con (539,8 mm).

El sistema de café a pleno sol mostro mayor cantidad de agua acumulada en el flujo de traslocación que en café bajo sombra, con una diferencia del 12.45%, probablemente porque la cantidad de agua que entro en café bajo sombra fue menor, siendo el producto del flujo de traslocación que se dio en las especies de sombra *S. glauca* y *T. rosea*.

Cuadro 11. Valores de flujo de traslocación en *S. glauca* y *T. rosea* así como en los cafetos a pleno sol y bajo sombra.

			Flujo de traslocación (mm)							
Rango (mm)	Acumulado (mm)	N° eventos	<i>S. glauca</i>		<i>T. rosea</i>		Pleno Sol		Sombra	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
0-5	27,6	9	21,6	78,3	21,4	77,5	22,2	80,4	18,1	78,6
5,1-10	68,9	9	61,6	89,4	58,2	84,5	56,6	82,1	49,3	83,0
10,1-15	73,4	6	67,5	91,9	66,2	90,2	63,1	85,9	46,7	81,0
15,1-20	55,2	3	52,9	95,8	51,4	93,1	48,5	87,8	38,3	73,8
20,1-40	201,9	6	195,5	96,8	194,1	96,1	181,3	89,8	155,4	80,0
40,1-70	153,7	3	147,6	96,0	148,5	96,6	138,1	89,9	119,7	81,3
Total	580,7	36	546,7		539,8		509,8		437,5	

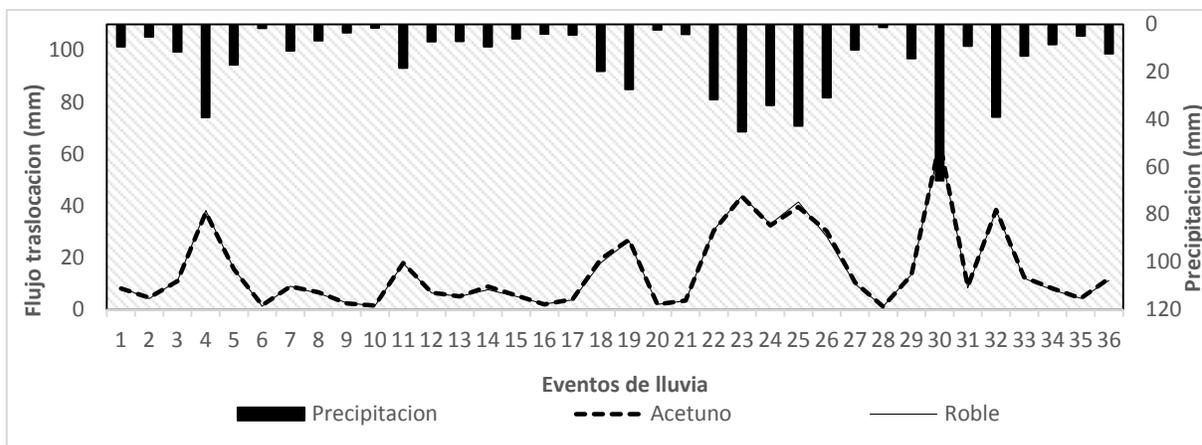


Figura 8. Comportamiento del flujo de traslocación (mm) en *S. glauca* y *T. rosea* en función de la precipitación (CENECOOP Masatepe 2013)

El flujo de traslocación en ambas especies arbóreas muestra un comportamiento similar (Figura 8), siendo ligeramente mayor 1.2 %, en *S. glauca* que *T. rosea*; posiblemente debido a que *T. rosea* posee hojas más grandes llegando a interceptar y retener más agua (Anexo 4)

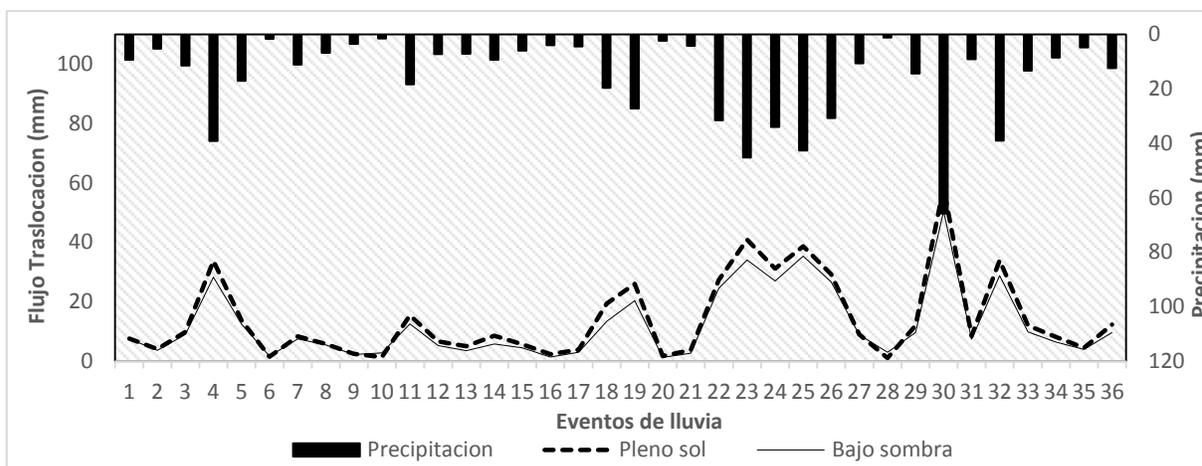


Figura 9. Comportamiento del flujo de traslocación (mm) en los cafetos a pleno sol y bajo sombra en función de la precipitación CENECOOP Masatepe 2013.

Las figura 10 y 11, muestran que hay alta correlación entre la precipitación incidente y el flujo de traslocación en las especies *T. rosea*, *S. glauca* y en *Coffea arabica* L, es ligeramente mayor en café a pleno sol.

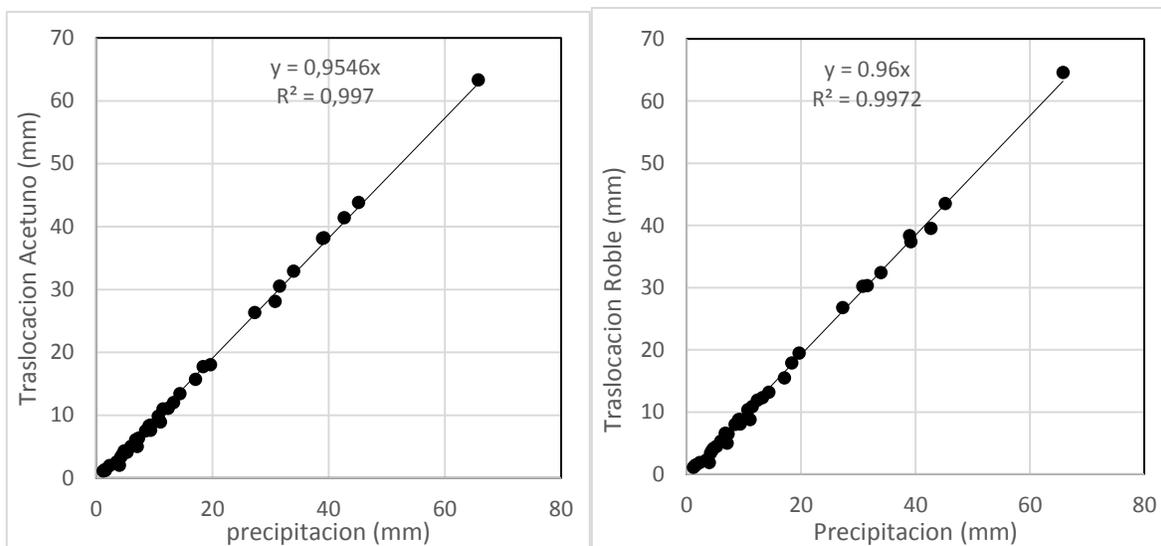


Figura 10. Relación del Flujo de traslocación en *S glauca* y *T rose* CENECOOP Masatepe 2013

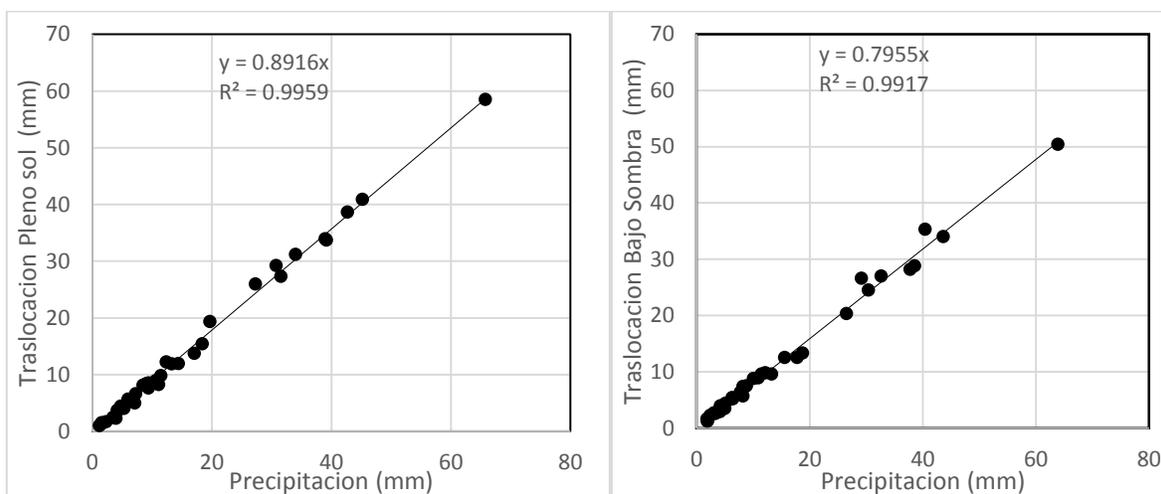


Figura 11. Relación entre el Flujo de traslocación en los cafetos a pleno sol y bajo sombra CENECOOP, Masatepe, 2013

4.3.3. Interceptación en el agro ecosistema

Antes de calcular la interceptación a través de la Ecuación 3, con fines de análisis, se hizo una validación de los datos. Tanto los datos obtenidos del flujo cortical y de traslocación para los 36 eventos muestreados, se procedió a analizar cada evento de lluvia para lo cual se tomó la decisión de eliminar de la base de datos aquellos que fueran valores muy altos o muy bajos.

Cuadro 12. Valores de interceptación en *S. glauca* y *T. rosea* así como en los cafetos a pleno sol y bajo sombra

Rango (mm)	Acumulado (mm)	N° eventos	Interceptación de la precipitación							
			<i>S. glauca</i>		<i>T. rosea</i>		Pleno Sol		Sombra	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
0-5	27,6	9	5,9	21,6	5,9	21,7	5,3	19,2	7,5	20,9
5,1-10	68,9	9	7,1	10,2	9,2	13,3	8,7	12,6	9,2	15,6
10,1-15	73,4	6	5,1	6,9	5,3	7,2	9,7	13,1	10,8	18,1
15,1-20	55,2	3	1,9	3,4	2,9	5,2	5,9	10,7	13,1	24,9
20,1-40	201,9	6	4,2	2,1	4,4	2,2	18,2	8,9	37,3	18,8
40,1-70	153,7	3	4,5	2,9	2,7	1,8	14,7	9,6	27,6	18,2
Total	580,7	36	28,8		30,5		62,47		105,3	

En el Cuadro 12 se puede observar poca variabilidad en la cantidad de agua interceptada en *S. glauca* y *T. rosea*. Mientras que en los cafetos bajo sombra la interceptación es mayor que en café a pleno sol en un 7.38 %, esto posiblemente porque el agua llega primero a la copa de los árboles de sombra y permite que a los cafetos llegue con menos fuerza y se distribuye con mayor lentitud.

Las Figuras 12 y 13, muestran el comportamiento del agua lluvia interceptada por el dosel de *S. glauca*, *T. rosea* y *Coffea arabica* L, a pleno y bajo sombra.

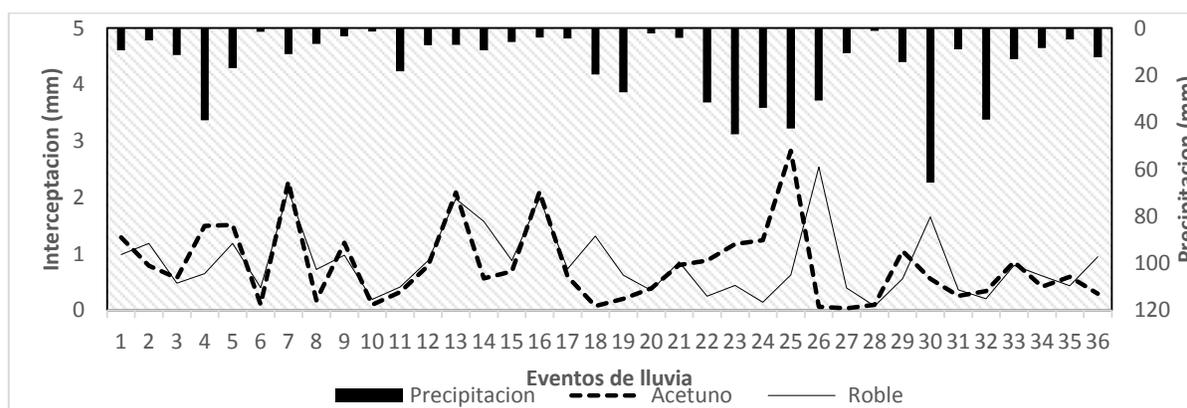


Figura 12. Comportamiento de la Interceptación en las especies *S. glauca* y *T. rosea* en función de la precipitación. CENECOOP, Masatepe, 2013

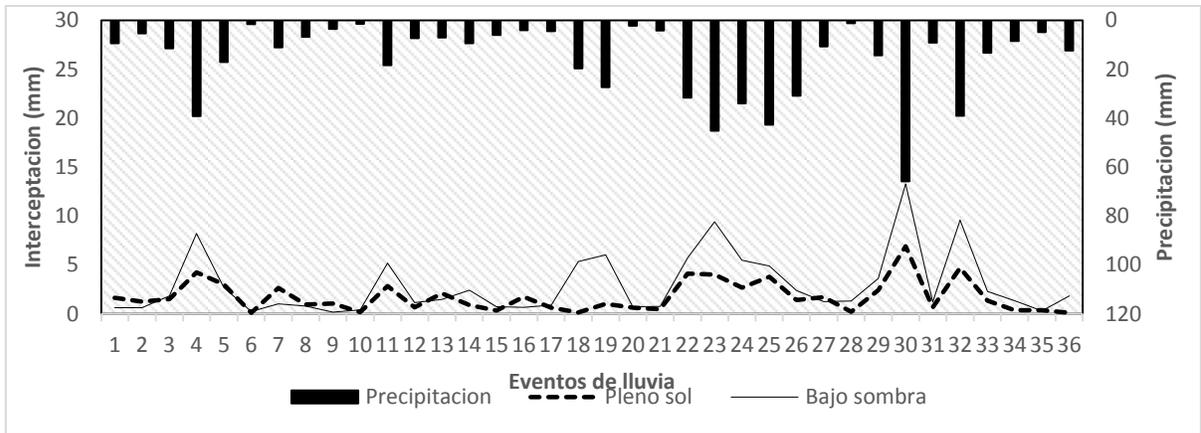


Figura 13. Comportamiento de la Intercepción en *Coffea arabica* L, en pleno y bajo sombra en función de la precipitación. CENECOOP, Masatepe, 2013

Los resultados del análisis de regresión lineal realizado, muestran una correlación baja entre la intercepción y la precipitación incidente en las especies *T. rosea* y *S. glauca*. Mientras que en los arbustos de café la correlación es alta

La Figura 14, muestran la correlación entre la precipitación incidente y el agua interceptada en café a pleno sol y café bajo sombra, mostrando mayor variabilidad en los datos en pleno sol, posiblemente porque tiene mayor influencia por los fenómenos mostrados en el sistema.

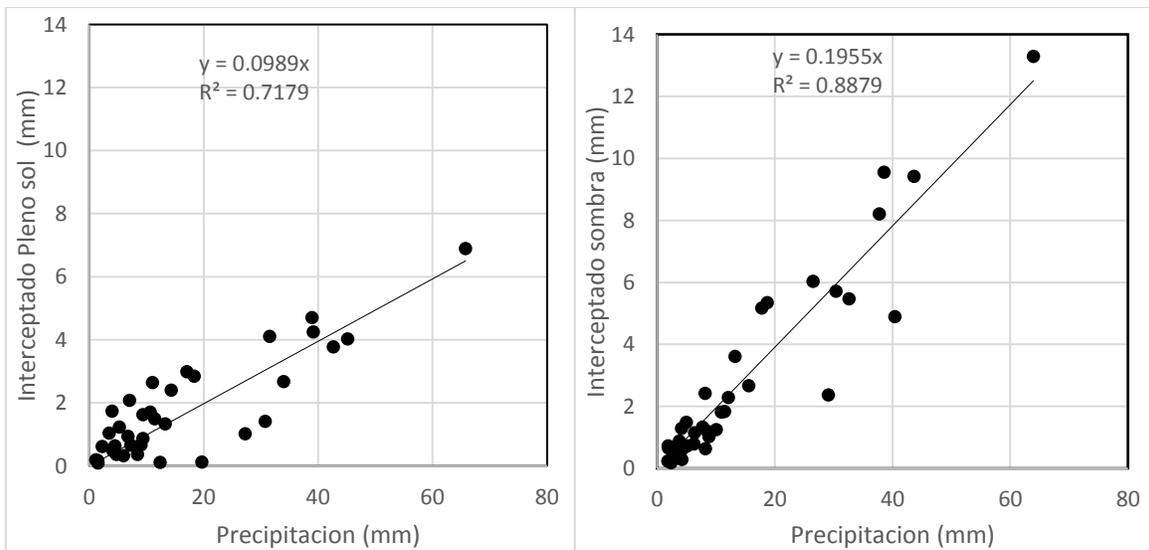


Figura 14. Relación entre la intercepción para los arbustos de café a pleno sol y bajo sombra, CENECOOP, Masatepe, 2013

4.4. Relación de la Interceptación y el Índice de Área Foliar (IAF)

El Índice de Área Foliar (IAF) es un factor importante en la interceptación de la radiación solar y especialmente de las precipitaciones, ayuda a mitigar la erosión por el golpeo de la lluvia, disminuir la energía cinética de las gotas de lluvia la cual esta es redirigida hacia el suelo por distintos procesos, cuando es interceptada y una parte es evaporada, además de crear un micro clima apto para los cultivos con protección arbórea, los Cuadro 13 y 14 muestran la interceptación de las precipitaciones según el IAF de las especies de árboles en estudio o de los cafetos a pleno sol y con sombra, esto se realizó por cada periodo en estudio por el de que el IAF estaba en constante cambio.

El Cuadro 13, muestra el comportamiento del crecimiento del IAF, cantidad de agua interceptada por especies de sombra en cada periodo, lo cual nos indica que la interceptación no es constante, presentando mucha variación en los resultados.

Sin embargo la especie *S glauca* no tuvo mucho aumento de la interceptación ni de IAF, a diferencia de *T rosea*, a medida que pasaban los meses contemplados para el estudio su IAF aumentaba al igual que la interceptación, para septiembre- octubre cuando las intensidades de las precipitaciones aumentaron lo interceptado fue menor que julio-agosto.

Cuadro 13. Interceptación de las precipitaciones en relación del IAF de los árboles de sombra CENECOOP Masatepe 2013

Especie	Mayo-junio			Julio-Agosto			Septiembre-octubre		
	Pp (mm)	IAF	I (mm)	Pp (mm)	IAF	I (mm)	Pp (mm)	IAF	I (mm)
<i>S glauca</i>	107	0,20	8,7	110	0,32	9,9	363,6	0,34	12
<i>T rosea</i>	107	0,08	1,8	110	0,74	12,9	363,5	0,82	19

Pp: Precipitación Incidente, IAF: Índice de Área Foliar, I: Interceptación.

Los arbustos de café a pleno sol y bajo sombra mostraron un comportamiento diferente a la de los árboles, el cuadro 15 muestra el comportamiento del crecimiento del IAF de los cafetos y el porcentaje de interceptación para estos, según los datos mostrados en el cuadro

nos indica que hay variabilidad en la interceptación de la precipitaciones por los diferentes arbustos en los diferentes tamaños por sistema,

Cuadro 14. Interceptación de las precipitaciones en relación del IAF de los cafetos a pleno sol y bajo sombra CENECOOP Masatepe 2013

Sistema	Tamaño	Mayo-junio			Julio-Agosto			Septiembre-octubre		
		PP (mm)	IAF	I (mm)	PP (mm)	IAF	I (mm)	PP (mm)	IAF	I (mm)
Pleno sol	Pequeño	107	0,5	8,7	110	1,1	12,5	363,5	1,6	24,8
	Mediano	107	0,5	14,6	110	1,8	10,1	363,5	2,8	46,5
	Grande	107	1,4	18,6	110	3,4	4,3	363,5	4,3	31,3
Bajo sombra	Pequeño	99,5	0,4	17,0	98,9	1,2	18,7	350,6	1,7	20,3
	Mediano	99,5	0,5	7,6	98,9	1,5	12,9	350,6	2,4	34,8
	Grande	99,5	0,7	7,2	98,9	2,7	16,2	350,6	5,1	78,6

Pp: Precipitación Incidente, IAF: Índice de Área Foliar, I: Interceptación.

Los datos de interceptación es variable en los cafetos a pleno sol y bajo sombra, los arbustos de cafetos a pleno sol en el periodo mayo-junio contenían un poco más de IAF lo cual interceptaron más agua de lluvia en los eventos de ese periodo, esto fue cambiando a media que los arbustos de cafetos bajo sombra desarrollaban su IAF ya que se pudo observar que fue mayor para el siguiente periodo, distintos factores como el IAF de los árboles y las fuertes precipitaciones, hacen que lo interceptado por los cafetos bajo sombra sea mayor.

V. CONCLUSIONES

El efecto de la precipitación incidente sobre el flujo cortical en cafetos a pleno sol y bajo sombra mostró valores bajos en la relación, mientras que en los arboles de sombra el flujo cortical fue ligeramente mayor en *T. rosea*.

El sistema de café a pleno sol mostró mayor flujo de traslocación que en café bajo sombra con una diferencia del 12.45 %, a nivel de especies arbóreas, el flujo de traslocación fue ligeramente mayor (1,2 %), en *S. glauca* con respecto *T. rosea*.

El efecto de la cantidad de lluvia en un evento, sobre el flujo cortical y de traslocación se relacionan, dado que la cantidad de lluvia es proporcional al flujo, estos flujos se puede ver incrementado por el contenido de humedad en el ambiente.

Eventos de lluvias menores a 13 mm y de larga duración en condiciones de baja humedad tienen poca influencia en el flujo cortical y de translocación. Ambos flujos son afectados por la estructura de la corteza y forma de las hojas, siendo ligeramente mayor en acetuno.

La relación que muestra la interceptación de agua de lluvia con respecto al IAF muestra que a medida que el IAF aumenta la interceptación es mayor, según las especies en estudio *Tabebuia rosea* interceptó más agua de lluvia que *Simarouba glauca*.

La interceptación del agua de lluvia fue mayor en los cafetos bajo sombra con un 7.38 % y en las especies arbóreas fue ligeramente mayor en *T.rosea* con 0.29 %.

VI. RECOMENDACIONES

Replicar el trabajo de interceptación bajo las mismas condiciones agroforestales ampliando el periodo de recolecta de agua de los pluviómetros durante dure la época de lluvias para la zona de estudio.

Mejorar la metodología de trabajo en el tema de interceptación utilizando toda el área de proyección de la copa como área de estudio, implica colocar una mayor cantidad de pluviómetros para medir el flujo de traslocación.

Colocar pluviómetros de medición manual a campo abierto, para garantizar un mejor dato de precipitación por algún problema que pueda ocurrir con la estación meteorológica debido a falla de energía.

Evaluar la cantidad de agua que es retenida e interceptada por la hojarasca y cuantificar el agua de las precipitaciones que llega al suelo, para obtener un balance hídrico que ocurre en el sistema agroforestal.

VII. LITERATURA CITADA

- Arcila P., J.; Farfán V., F.; Moreno B., A.M.; Salasar G., L.F.; Hincapié G., E. 2007.** Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Colombia. Cenicafe, Co. 309 p.
- Blanco, M; Hagggar, J; Moraga, P; Madriz, JC; Pavón, G. 2003.** Morfología del café (*Coffea arábica* L.), en lotes comerciales, Nicaragua. Agronomía Mesoamericana 14(1):97-103.
- Cruz, J., 2014.** Determinación del índice de área foliar, radiación solar no interceptada por especies forestales y concentración de magnesio en hojas de Café (*Coffea arábica* L.) en sistemas agroforestales, localizado en Masaya, Nicaragua. UNA Managua Nicaragua. 44p.
- David, J., Valente, F., & Gash, J. (2005).** Evaporation of intercepted rainfall (Vol. Chapter 43). In: Anderson, M. (Ed.), Encyclopedia of Hydrological Sciences. John Wiley and Sons. Ltd.
- Gash J., Morton A., 1978.** “An Application of the Rutter Model to the Estimation of the Interception Loss from the Thetford Forest”. J. Hydrol., 48: 89–105.
- Gerrits, A. M. J. et al. 2006.** “Measuring forest floor interception in a beech forest in Luxembuourg”. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 3, 2323 – 2341.
- Á Jaramillo–Robledo - 2003.** La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. (Cenicafe). 54(2):134-144. 1998.
- JARAMILLO R., A.; CHÁVES C., B. 1998.** Interceptación de la lluvia en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arábica* l) al sol y bajo sombra (Cenicafe). 49(2):129-135.
- Jiménez, O., 1986.** Balance hídrico con énfasis en percolación en dos sistemas agroforestal café-poro y café laurel en Turrialba Costa Rica. Tesis. P 104
- López Peña, C. 2007.** Morfología dasométrica del árbol (diapositivas). Honduras. 92 diapositivas, color.
- Llorens, P. & Gallart, F. 2000.** “A simplified method for forest water storage capacity measurement”. J. Hydrol., 240, 131 – 144.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, NI)/POSAF (Programa Socio ambiental y de Desarrollo Forestal, NI). 2006.** Establecimiento y manejo de sistemas de café agroforestal. Managua, NI. 80 p.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, NI)/INAFOR (Instituto Nacional Forestal, NI). 2002.** Guía de especies forestales de Nicaragua. Managua, NI. 304 p.

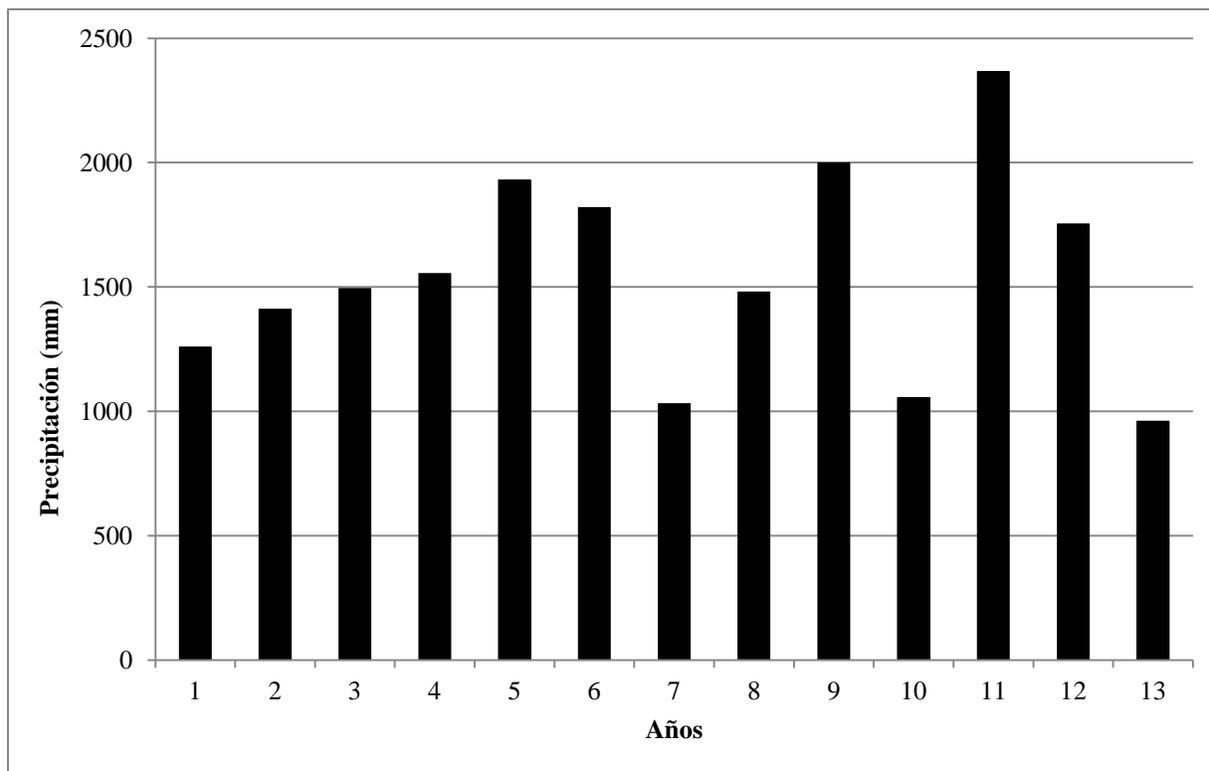
- Méndez, 2013.** Metodología para la medición de variables hidrometeorológicas que faciliten la implementación de modelos dinámicos de interceptación de lluvia en el contexto Colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Tesis. Bogotá D.C, 154 p.
- Moraga, P; Bolaños, R; Pilz, M; Munguía, R; Jürgen, H; Barios, M; Haggar, J; Gamboa, W.** 2011. Árboles de sombra e intensidad del cultivo afectan el rendimiento de Café (*Coffea arábica L.*) y la valoración ecológica en Masatepe, Nicaragua. La Calera 11(17):41-47.
- Promis, A; Cruz, G. 2009.** Fotografías hemisféricas: un método para estimar estructuras del dosel arbóreo e iluminación en el interior del bosque. Bosque Nativo no.44:12-15.
- Silvano Ltda., CO. 2004.** Estudio de la cobertura del dosel con fotografía hemisférica (en línea). Colombia. Consultado 08 mar. 2012. Disponible en http://www.silvanoforestal.com/Files/Cobertura_dosel.PDF
- SFU (Simón Fraser University, CA). 1999.** Gap light Analyzer (en línea). Canadá. Consultado 05 abr. 2012. Disponible en <http://www.ecostudies.org/gla/>
- Shen, S; et al., 2012;** Application of Gash analytical model and parameterized fan model to estimate canopy interception of a Chinese red pine forest the Japanese forest society and springer 2012. 18; 355 – 344
- Téllez, P. (2003).** Simulación del ciclo hidrológico en tres tipos de uso del suelo de la Amazonía colombiana. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Velásquez Vásquez, SE; González Matey, JI. 2012.** Crecimiento de los árboles de sombra y su contribución a una producción agroecológica en sistemas cafetaleros del departamento de Masaya, Nicaragua. Tesis. Ing. forestal. Managua, NI. UNA. 59 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Combinación de especies forestales y descripción de los tratamientos en las parcelas principales y en las sub parcela.

Parcela principal		Sub parcela	
Especie de sombra	Descripción	Nivel de insumo	Descripción
IL SG	<i>Inga laurina</i> y <i>Simarouba glauca</i> (Guabillo y acetuno)	CM	Convencional Moderado
		OI	Orgánico Intensivo
SS TR	<i>Samanea saman</i> y <i>Tabebuia rosea</i> (Genízaro y Roble)	CM	Convencional Moderado
		OI	Orgánico Intensivo
SSIL	<i>Samanea saman e Inga laurina</i> (Genízaro y Guabillo)	CI	Convencional Intensivo
		OI	Orgánico Intensivo
		CM	Convencional Moderado
		OM	Orgánico moderado
SG TR	<i>Simarouba glauca</i> y <i>Tabebuia rosea</i> (Acetuno y Roble)	CI	Convencional Intensivo
		OI	Orgánico Intensivo
		CM	Convencional Moderado
		OM	Orgánico moderado
Pleno sol	Pleno sol	CI	Convencional Intensivo
		CM	Convencional Moderado

Anexo 2. Precipitación acumulada en Masatepe CENECOOP 2000-2012.



Anexo 3. Determinación de la clase de humedad del suelo con lluvia acumulada 5 días antes en periodo de vegetación.

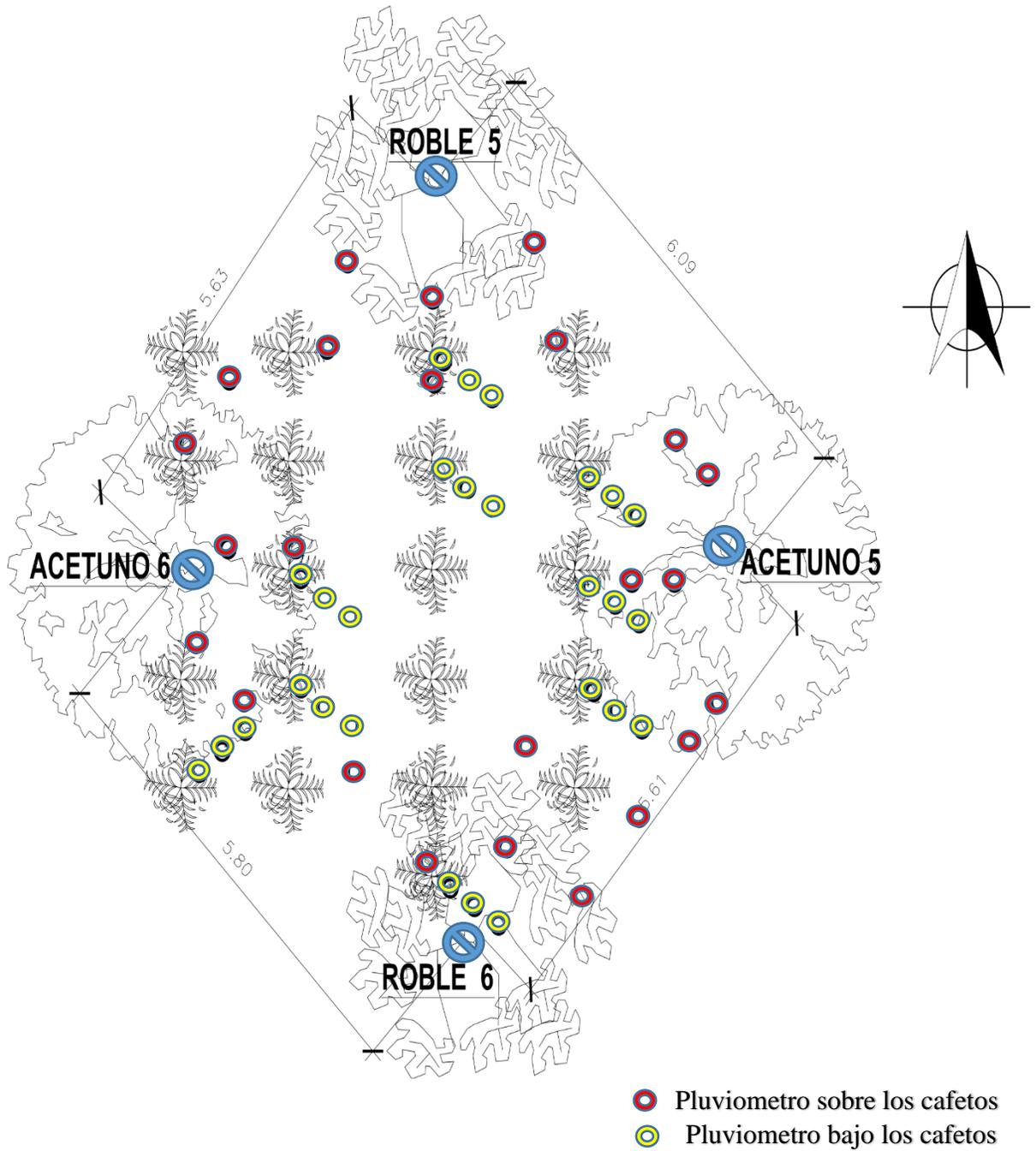
Clases de humedad del suelo	Lluvia acumulada 5 días antes	
	Humedad en la vegetación	Tiempo restante
I	< 30	< 15
II	30-50	15-30
II	> 50	> 30

Anexo 4. Valores de flujo cortical, flujo de traslocación y la interceptación en función de la precipitación incidente

Fecha	Pp	<i>Simarouba glauca</i>			<i>Tabebuia rosea</i>			Café pleno sol			Café bajo sombra		
		%			%			%			%		
		Fc	Ft	I	Fc	Ft	I	Fc	Fc	I	Fc	Ft	I
24-05-13	9,4	0,1	86,2	13,7	0,1	89,4	10,5	1,8	80,9	17,3	2,6	89,7	7,7
26-05-13	5,3	0,2	84,9	14,9	0,3	77,4	22,4	1,4	75,5	23,1	1,9	83,7	14,3
29-05-13	11,5	0,3	94,8	5,0	0,4	95,5	4,2	1,8	85,2	12,9	2,1	81,4	16,5
30-05-13	39,2	0,8	95,4	3,8	0,9	97,4	1,6	3,1	86,0	10,8	3,7	74,6	21,7
01-06-13	17,1	0,5	90,6	8,8	1,3	91,8	6,9	2,1	80,4	17,4	2,8	80,1	17,1
03-06-13	1,6	0,0	93,8	6,3	0,0	75,0	25,0	0,7	93,8	5,5	0,2	87,4	12,4
06-06-13	11,1	0,2	79,3	20,5	0,7	80,2	19,1	1,8	74,4	23,8	3,7	84,7	11,5
09-06-13	6,8	0,4	97,1	2,6	0,5	88,9	10,6	1,6	84,7	13,7	2,2	85,4	12,4
10-06-13	3,5	0,1	65,7	34,2	0,1	72,1	27,8	0,6	69,8	29,6	0,3	92,1	7,6
13-06-13	1,5	0,3	93,3	6,4	0,4	86,7	12,9	2,1	86,7	11,2	0,6	86,8	12,5
18-07-13	18,4	1,0	97,3	1,7	2,7	96,2	1,1	0,8	83,7	15,5	0,7	70,2	29,1
19-07-13	7,3	0,1	89,0	10,8	1,7	86,3	12,0	0,8	90,3	8,9	0,8	81,3	18,0
21-07-13	7,1	0,2	70,4	29,4	1,8	70,4	27,8	0,4	70,3	29,2	0,4	70,0	29,6
22-07-13	9,4	0,4	93,6	6,0	4,3	80,9	14,9	0,3	90,4	9,2	0,9	69,5	29,6
23-07-13	6	0,2	88,3	11,5	2,0	83,3	14,6	0,7	94,0	5,3	0,5	85,4	14,1
25-07-13	4	0,0	47,5	52,5	0,2	50,3	49,5	0,2	56,5	43,3	0,3	66,5	33,3
26-07-13	4,5	0,0	86,7	13,3	1,7	82,0	16,3	0,5	85,4	14,1	0,4	76,4	23,2
29-07-13	19,7	0,7	98,9	0,4	2,0	91,4	6,7	1,2	98,2	0,6	0,5	71,0	28,5
01-08-13	27,3	1,1	98,2	0,7	1,4	96,3	2,3	1,2	95,1	3,7	0,8	76,5	22,7
03-08-13	2,3	0,5	82,6	16,9	0,0	84,8	15,2	0,2	73,0	26,8	0,2	62,3	37,5
06-08-13	4,2	0,0	81,0	19,0	1,1	78,6	20,3	0,4	88,3	11,3	0,4	77,6	22,0
15-09-13	31,6	1,3	95,9	2,8	2,7	96,5	0,8	0,6	86,4	13,0	0,6	80,6	18,8
17-09-13	45,2	1,2	96,2	2,6	2,1	96,9	1,0	0,6	90,5	8,9	0,5	77,9	21,6
18-09-13	34	1,1	95,3	3,6	2,8	96,8	0,4	0,5	91,6	7,9	0,5	82,7	16,8
19-09-13	42,7	0,9	92,5	6,6	1,6	97,0	1,5	0,7	90,5	8,8	0,6	87,3	12,1
20-09-13	30,8	1,7	98,1	0,2	1,6	91,2	7,1	0,6	94,8	4,6	0,6	91,3	8,1
21-09-13	10,7	2,5	97,2	0,3	4,7	91,6	3,7	0,5	83,6	15,9	0,5	87,1	12,4
26-09-13	1,2	0,3	91,7	8,1	2,1	91,7	6,3	0,8	83,3	15,9	0,2	69,0	30,7
27-09-13	14,4	1,1	91,7	7,3	3,1	93,1	3,9	0,6	82,7	16,7	0,7	72,2	27,1
29-09-13	65,8	1,0	98,2	0,9	1,3	96,2	2,5	0,6	88,9	10,5	0,4	78,8	20,8
01-10-13	9,1	0,5	96,7	2,8	4,8	91,2	4,0	0,4	92,3	7,3	0,6	85,4	14,0
03-10-13	39	0,8	98,4	0,9	1,8	97,7	0,5	1,0	86,9	12,1	0,6	74,7	24,8
06-10-13	13,3	1,1	92,5	6,4	3,8	90,2	6,0	0,5	89,5	10,0	0,6	80,7	18,8
07-10-13	8,5	1,0	94,1	4,9	4,6	88,2	7,2	0,5	95,3	4,2	0,5	82,3	17,2
11-10-13	4,8	0,1	87,5	12,4	1,4	89,6	9,1	0,3	92,1	7,5	0,3	92,9	6,7
12-10-13	12,4	1,7	96,0	2,4	2,8	89,5	7,7	0,5	98,7	0,9	0,5	83,5	16,0

Pp: Precipitación, Fc: Flujo cortical, Ft: Flujo traslocacion, I: Interceptación

Anexo 5. Vista en planta de la colocación de los pluviómetro en el sistema agroforestal con café



Anexo 6. Vista en elevación de los dispositivos de recolección de las precipitaciones en el sistema agroforestal con café.

