

REDISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN DIFERENTES COBERTURAS VEGETALES DE LA ZONA CAFETERA CENTRAL DE COLOMBIA¹

Susana Velásquez-Franco* ; Alvaro Jaramillo-Robledo**

RESUMEN

VELÁSQUEZ F., S.; JARAMILLO R., A. Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia. *Revista Cenicafé* 60 (2): 148-160. 2009.

Para las coberturas cafetal var. Tabi a libre exposición solar, cafetal var. Tabi bajo sombrío de guamo (*Inga densiflora*), pastizal y bosque, se midieron los siguientes componentes hidrológicos: interceptación de la lluvia por la parte aérea de la vegetación, lluvia neta, cantidad de agua interceptada por la vegetación y el mantillo, percolación y tensión de la humedad en el suelo. Al relacionar los componentes hidrológicos con la lluvia externa, se encontró que los valores de interceptación variaron entre 14,3% en el cafetal var. Tabi con sombrío de guamo y 3,3% en el pastizal; la escorrentía varió entre 6,3% en el pastizal y 2,7% en el cafetal a libre exposición solar. Del total de la lluvia externa una gran proporción es interceptada por la vegetación y el mantillo de la zona superficial, con valores entre 45,5% en el pastizal y 44,6% en el cafetal a libre exposición solar. De las proporciones de agua de percolación, los mayores valores se presentan en el cafetal bajo sombrío de guamo con 47,4% y en el bosque con 45,7%. En general, para los diferentes ecosistemas estudiados se cuantificó una doble interceptación de la lluvia, una menor proporción debida a la parte aérea de la vegetación y la otra por el estrato rasante superficial, en el cual se retiene una alta proporción del agua, que indica el gran cuidado que se debe tener con el mantenimiento de la cobertura superficial y del mantillo depositado sobre el suelo para la conservación del agua. Se encontró que el agua de percolación es el otro componente de gran proporción dentro de la redistribución de la lluvia.

Palabras clave: Interceptación, lluvia neta, escorrentía, percolación, humedad de suelo.

ABSTRACT

For the covers of the Tabi coffee variety at free sun exposure shade, coffee plantation Tabi variety with shade of guamo (*Inga densiflora*), pasture and forest, the different hydrologic components were measured: rainfall interception by the aerial part of the vegetation, net rainfall, amount of water intercepted by the vegetation and the upper zone, soil humidity percolation and tension. When the hydrologic components were related to the external rainfall, the interception values were 14,3% in the coffee plantation Tabi variety with shade of guamo and 3,3% in the pasture; the runoff varied between 6,3% in the pasture and 2,7% in the coffee plantation at free sun exposure. A great proportion of all the external rainfall is intercepted by the vegetation and the mulch of the upper zone with values between 45,5% in the pasture and 44,6% in the coffee plantation at free exposure. Most of the percolation water proportions occur in the coffee plantations under guamo shade with 47,4% and in the forest with 45,7%. In general, for the different studied ecosystems these factors were quantified: a double rainfall interception, a smaller proportion due to the vegetation aerial part and the other by the superficial pasture layer in which a high water proportion is retained, which indicates the great care that must be taken into account with the maintenance of the superficial cover and mulch deposited on the ground for water conservation. Percolation water was found to be the other component of great proportion within rainfall redistribution.

Keywords: Interception, net rainfall, runoff, percolation, soil moisture.

¹ Fragmento de la tesis "Redistribución de la lluvia y nutrientes en cuatro coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia (Chinchiná, Caldas)", presentada a la Universidad de Caldas, para optar al título de Bióloga.

* Bióloga, Universidad de Caldas.

** Investigador Científico III. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná. Caldas. Colombia.

La distribución de la lluvia en Colombia está determinada por el movimiento meridional de la Zona de Confluencia Intertropical. Las cantidades de lluvia se modifican por la ocurrencia de El Niño - La Niña - Enso y otros componentes de la variabilidad climática de la región tropical ecuatorial y por la presencia de la cordillera de los Andes, la cual genera lluvias orográfico - convectivas, por efecto de la altitud y la orientación de las montañas (14).

Una variable hidrológica que es considerada en forma aislada no determina el patrón de la distribución de la lluvia dentro de las coberturas vegetales, debido a las diversas características geomorfológicas, edáficas, sucesionales y climáticas, por lo que es necesario ampliar el conocimiento de estas relaciones en los ecosistemas. Por lo tanto, se plantea que las investigaciones en torno a los componentes suelo, hojarasca, flujos hídricos, ciclos biogeoquímicos y factores que los pueden afectar, son necesarias para la comprensión del funcionamiento y estructura de los sistemas naturales (9, 13, 20, 22).

El tipo de cobertura de la superficie del suelo es determinante en la magnitud de cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. La vegetación tiene la propiedad de actuar como barrera capaz de interceptar las precipitaciones, variando su efecto y distribución bajo el área de cobertura (15). El almacenamiento de la lluvia por la parte aérea de la vegetación está relacionado con las características morfológicas y estructurales de la cobertura vegetal y la intensidad de la lluvia (1, 8, 23, 30).

En términos generales, las modificaciones en la cobertura vegetal originan cambios en las relaciones en el balance hídrico, especialmente en los volúmenes del agua de escorrentía, del agua de infiltración y en la

cantidad de agua almacenada en el suelo (17). Bruijnzeel (4) y Kimmins (18) afirman que la remoción de la cobertura vegetal original para establecer otras plantaciones nuevas, reduce temporalmente la evapotranspiración y aumenta la escorrentía en las cuencas.

En los sistemas de producción de café con sombra se observa que ésta modifica los balances de radiación, de energía y los componentes del balance hidrológico, y además contribuye a mantener la fertilidad del suelo, a reducir la erosión, a reciclar los nutrientes y aportar gran cantidad de materia orgánica. Los cultivos de café bajo sombra regulan las pérdidas hídricas por la hojarasca producida por los árboles, la cual retiene una parte del agua, que de otra manera se perdería como escorrentía o percolación (10, 12, 22).

El presente trabajo se realizó con el fin de cuantificar la redistribución de la lluvia en cuatro coberturas vegetales (bosque, café con sombrero, café a libre exposición solar y pastizal), en la zona cafetera central colombiana y desarrollar modelos simples de distribución de la lluvia para las coberturas analizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Central Naranjal - La Romelia, localizada a 04° 58' latitud Norte, 75° 39' longitud Oeste y una altitud de 1.381m, perteneciente al Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

Como características climáticas anuales presenta una temperatura media de 21,8°C, lluvia de 2.660 mm, evaporación de 1.210 mm y brillo solar de 1.820 horas.

La tendencia general de la lluvia en la región se caracteriza por la ocurrencia de dos períodos húmedos y dos períodos de menor lluvia (14).

Los suelos de Naranjal - La Romelia se ubican sobre la unidad cartográfica Chinchiná, de origen volcánico, material parental cenizas volcánicas y unidad taxonómica: Acrudoxic Melanudans (24).

La matriz del paisaje en Naranjal – La Romelia está constituido por un mosaico de agroecosistemas dominado por lotes para la producción de semillas de diversas variedades de café (*Coffea* sp.), potreros y guaduales.

Se evaluaron las siguientes coberturas vegetales

Bosque: Un relicto de bosque secundario que inició su proceso de regeneración natural hace cincuenta años aproximadamente. Durante este estudio en esta cobertura se registraron plantas de cinco hábitos diferentes pertenecientes a 15 familias.

Cafetal con sombrío: *Coffea arabica* variedad Tabi, de tres años, con sombrío de guamo (*Inga densiflora*) de 14 años. El café está sembrado a 1,6 m x 2,0 m (3.100 plantas/ha) y el guamo a 9,0 m x 9,0 m.

Cafetal a libre exposición solar: *Coffea arabica* variedad Tabi de 3 años, a una distancia de 1,5 m x 2,5 m (2.666 plantas/ha).

Pastizal: Pastos estrella (*Cynodon plectostachyus*) y braquiaria (*Brachiaria decumbens*), establecidos hace 50 años, aproximadamente; desde hace dos años no se están utilizando para su explotación pecuaria. Durante este estudio, el pasto se podó con guadaña a una altura de 10 cm, cada cuarenta días.

Variables evaluadas

Variables hidrológicas

En cada cobertura vegetal se instalaron tres parcelas hidrológicas, cada una de 4 m x 4 m. Se efectuaron los registros durante el período comprendido entre octubre de 2007 y junio de 2008.

- **Lluvia externa (Llex):** La cantidad de lluvia diaria acumulada que ingresó a cada tipo de cobertura se midió por medio de cuatro pluviómetros de plástico, ubicados en la parte externa de las parcelas, fuera de la influencia de la vegetación. Se tuvieron en cuenta los registros pluviográficos de las estaciones climáticas de Naranjal y Romelia de la red meteorológica de Cenicafé –FNC.

- **Lluvia neta (Lln):** La cantidad de lluvia que pasó a través de la vegetación incidente en la superficie del suelo se midió en cada parcela hidrológica con dos pluviómetros, para un total de seis pluviómetros por tipo de cobertura.

- **Escorrentía (E):** Esta variable se midió en predios con un área de captación de 6 m², uno por cada parcela hidrológica, para un total de tres predios por cobertura. El agua captada se recolectó en recipientes plásticos.

- **Percolación (P):** La cantidad de lluvia que ingresó al perfil del suelo se midió colectando el agua con una bandeja plástica (área de captación de 715 cm²), con una malla en su parte superior, cubierta por el material vegetal (hojarasca en los casos de bosque, café con sombrío y café a libre exposición; para el pastizal se consideraron los rizomas, plántulas y hojas en descomposición).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Agua retenida por la capa superficial:** Se definió la capa superficial como el conjunto de la vegetación con una altura menor a 40 cm (estrato rasante) más el mantillo. El agua interceptada por esta capa superficial se calculó así: lluvia neta (L_{ln}) menos la escorrentía (E) menos la percolación (P).
- **Tensión de humedad del suelo (H):** Se midió con tensiómetros de mercurio, instalados a 15 y 30 cm de profundidad, dos por cada parcela hidrológica.

Porcentaje de cobertura vegetal. La estimación del porcentaje de cobertura aérea de vegetación se realizó mediante análisis de fotografías digitales en cada uno de los lotes. Éstas fueron procesadas para obtener el Índice de Área de Vegetación (IAV, definido como metro cuadrado (m²) de área vegetal por metro cuadrado de área del suelo) y el porcentaje de cobertura (11). En el bosque y en los cafetales con sombrío y sin sombrío se tomaron fotografías digitales a 25 cm sobre el suelo y bajo condiciones de radiación difusa.

Análisis de datos. Para los datos obtenidos de los componentes del ciclo hidrológico analizados en cada tipo de cobertura vegetal, se aplicó estadística descriptiva y modelos de regresión simple que describen el comportamiento de la lluvia neta (L_{ln}), escorrentía (E) y percolación (P), con relación a la lluvia externa (L_{lex}). Para relacionar estas variables se utilizaron regresiones lineales simples con intercepto cero ($Y = bX$), en donde Y es la variable dependiente (lluvia neta, escorrentía, percolación), X es lluvia externa, y b el coeficiente de regresión.

Balance hídrico. Se observaron excesos hídricos durante la mayor parte del período evaluado, exceptuando algunas décadas en los meses de enero y marzo, cuando hubo deficiencias hídricas (Figura 1). La mayor cantidad de lluvia acumulada en 10 días, se registró en octubre del 2007, con valores mayores a los 140 mm. El presente estudio se realizó bajo la influencia del Fenómeno de la Niña 2007/2008, caracterizado por excesos de lluvia en la región Andina de Colombia. De acuerdo con los registros de la estación meteorológica Naranjal, durante este período las lluvias estuvieron 42% por encima de los promedios históricos.

Frecuencia de la cantidad de lluvia. El 45,6% de las lluvias diarias de La Romelia y el 43,0% de las lluvias en Naranjal se sitúan entre los 11 a 20 mm diarios (Figura 2); para las lluvias entre los 0,1 a 10 mm, las frecuencias están entre el 22,6% y 21,0% para los dos sitios, respectivamente. La ocurrencia de lluvias con valores por encima de los 80 mm fueron menores al 1% en La Romelia y no se presentaron en Naranjal.

Índice de Área Vegetal (IAV) y porcentaje de cobertura de los ecosistemas. En promedio, para las tres parcelas de observación hidrológica, el bosque tiene una cobertura vegetal aérea del 78,5% y el café a libre exposición de 67,5% (Tabla 1). La mayor cobertura vegetal se registró en el café con sombrío de guamo 80,7%. El pastizal presenta una cobertura rasante, menor a los 40 cm de altura, por lo que no fue cuantificada.

Relación entre la lluvia neta y la lluvia externa. En la Tabla 2 se presenta el número

Figura 1. Balance hídrico para la Estación Central Naranjal - La Romelia para el período octubre de 2007 - junio de 2008. ETo: evapotranspiración de referencia.

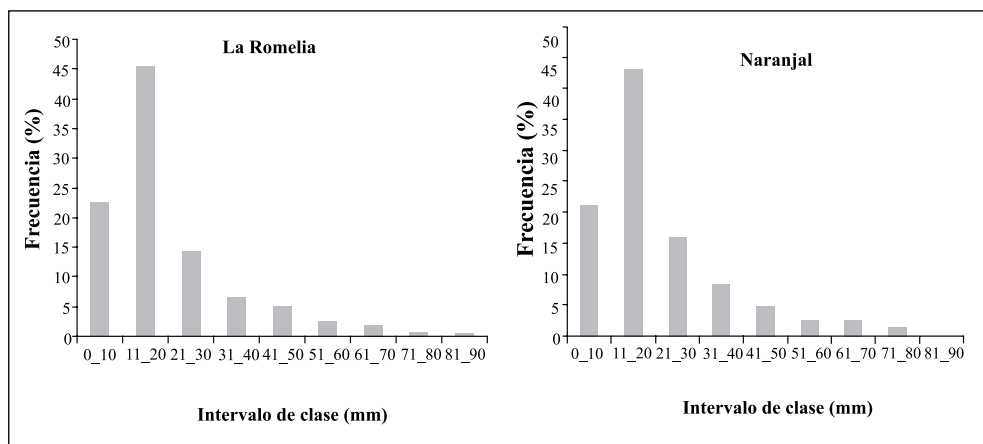
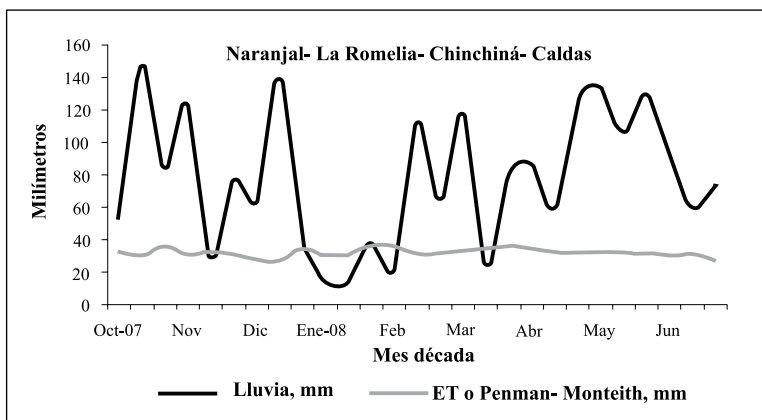


Figura 2. Frecuencia de las lluvias diarias en La Romelia y Naranjal (Chinchiná, Caldas), durante el período octubre de 2007 a junio de 2008.

Tabla 1. Índice de área vegetal (IAV) y porcentaje de cobertura vegetal en cada ecosistema.

Sistema	IAV	Cobertura %
Bosque	5,15	78,5
Café con sombrío de guamo	5,61	80,7
Café libre exposición solar	4,13	67,5
Pastizal	---	---

Tabla 2. Número de eventos lluviosos con cantidades de lluvia neta mayor a la lluvia externa.

	Bosque	Café con sombrío	Café libre exposición solar	Pastizal
Lluvia neta > Lluvia externa	203	134	254	108
Total	402	408	426	414
Frecuencia (%)	50,5	32,8	59,6	26,1

y la frecuencia de aguaceros que presentan cantidades de lluvia neta superiores a la lluvia externa. Esta situación es más frecuente en el café a libre exposición (59,6%) y menos frecuente en el pastizal (26,1%).

La ocurrencia de valores de lluvia neta superiores a la lluvia externa se observó en los cuatro tipos de cobertura, a lo largo del período en el que se hicieron las observaciones, con diferentes intensidades de lluvia externa y diversas condiciones previas (días secos y lluviosos al evento); esta diferencia puede atribuirse al efecto de la forma y tipo de vegetación, por la acumulación de agua en las hojas, que después se descarga a la superficie del suelo. También deben tenerse en cuenta características como la intensidad, la

duración y la frecuencia de las lluvias. Para Crockford y Richardson (8), es muy difícil obtener la medida precisa de la lluvia neta y la ocurrencia de valores por encima de la lluvia externa son comunes para diferentes coberturas vegetales y climas. Además, es de anotar que la cantidad de lluvia externa registrada a campo abierto presenta una gran variabilidad espacial, del orden de 13,5%, para un mismo aguacero (15).

Para establecer las relaciones lineales de la lluvia neta con la lluvia externa, se consideró que el valor de lluvia neta observada debe ser igual o menor a la lluvia externa. Aquellas lecturas de lluvia neta con valores por encima de la media de la lluvia externa, se igualaron a la lluvia externa, pero si los

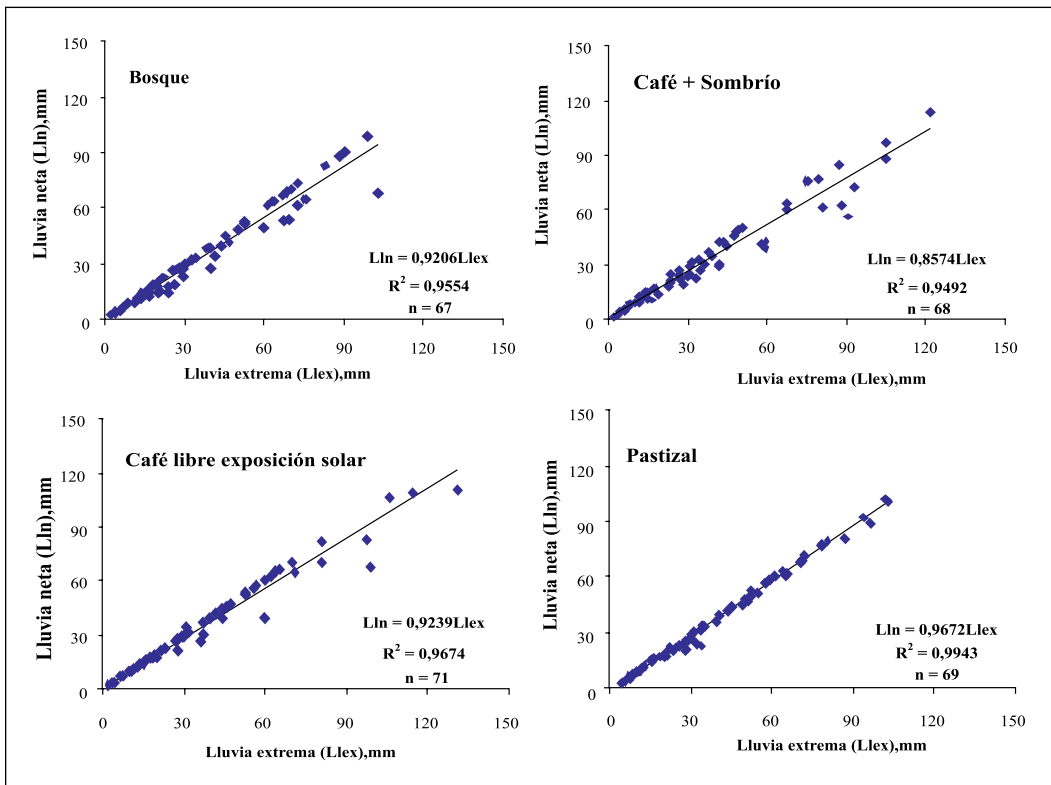


Figura 3. Relaciones lineales entre lluvia neta (Lln) y lluvia externa (Llex) en cada cobertura vegetal.

valores de lluvia neta observados estaban por debajo de la lluvia externa, conservaban su valor.

Las relaciones lineales estimadas entre la lluvia neta y la lluvia externa en las cuatro coberturas vegetales se observan en la Figura 3.

De acuerdo con los coeficientes de regresión lineal estimados en la Figura 3, del total de la lluvia externa, las proporciones de lluvia neta que llega a la superficie en los diferentes ecosistemas fueron las siguientes: 85,7% en el café con sombrío, 92,1% en el bosque, 92,4% café libre exposición solar y 96,7% en el pastizal. Ramírez y Jaramillo (19) reportan valores de lluvia neta correspondientes al 61% y 85% para un cafetal a libre exposición y un pastizal, respectivamente.

Jaramillo (15), en condiciones de cafetales con diferentes sombríos en alta densidad de siembra, encontró proporciones de lluvia neta con valores medios de 48% y valores extremos de 40% para cafetal con sombrío de *Cordia alliodora* (nogal cafetero) y 59% para cafetal con sombrío de *Inga* sp. a una distancia de siembra de 6 m x 6 m. En este estudio se encontraron relaciones con valores para café a libre exposición solar del 92,4% y café con sombrío de *Inga densiflora* de 85,7%, lo cual puede explicarse por las diferencias en las densidades del sombrío, por el exceso hídrico durante el período de este estudio y por la altura sobre el suelo a la que se dispusieron los pluviómetros (altura del pluviómetro sobre el suelo, 25 cm), de este modo se incluyó en la medición la interceptación del agua por hierbas terrestres de la zona superficial.

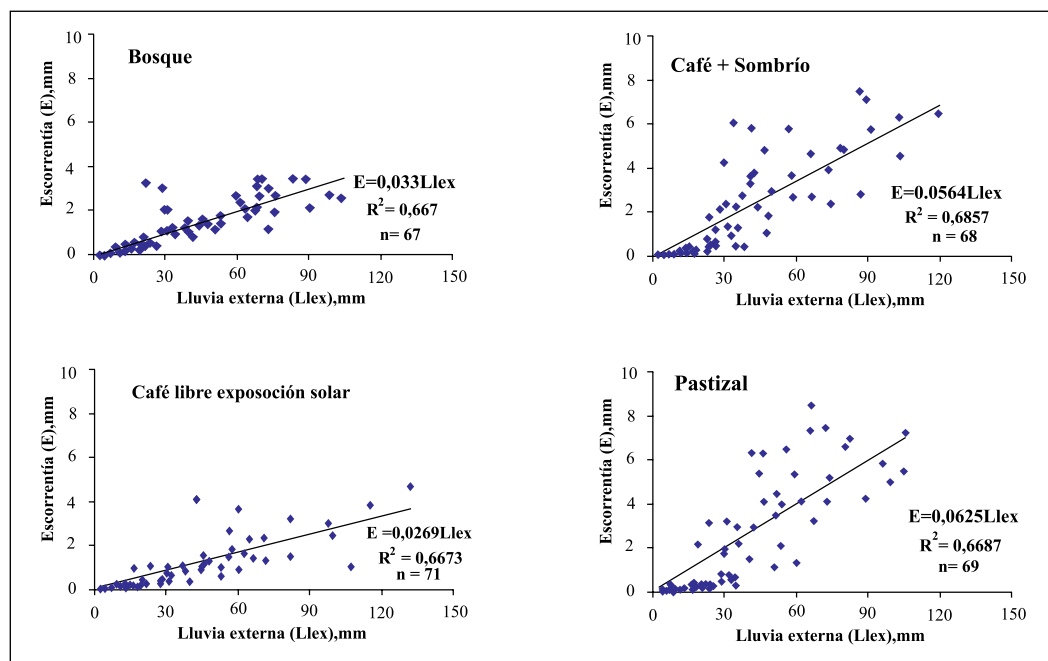


Figura 4. Relación entre la escorrentía (E) y la lluvia externa (Llex) en las cuatro coberturas vegetales.

La relación entre la lluvia neta y la lluvia externa en el pastizal es difícil de cuantificar debido a que el pasto no superó los 40 cm de altura, por los cortes realizados durante el estudio. Las otras coberturas vegetales (bosque, café con sombrío y café libre exposición solar) cuentan con una mayor biomasa aérea, de acuerdo con los valores de IAV y mayor porcentaje de cobertura aérea (Tabla 1), que influyen en la redistribución de la lluvia. Debido a la gran variabilidad espacial de la lluvia neta e importancia en la dinámica del crecimiento de los ecosistemas, esta relación es uno de los componentes del ciclo hidrológico que ha tenido mayor atención (4, 5, 8, 23).

Para las condiciones de Cenicafé, Trojer (27) estudió la distribución y características de la lluvia en un cafetal bajo sombrío de guamo (*Inga* sp.), y concluyó que las lluvias mayores de 10 mm ocasionan grandes diferencias en la distribución de las cantidades captadas dentro del agrosistema, debido a la formación de gotas más grandes, llegando a presentar cantidades que superan la lluvia externa.

Para bosques tropicales localizados en las regiones bajas y en zonas altas de la región andina, las proporciones de lluvia neta respecto de la lluvia externa presentan valores mayores al 80% (6, 7, 25, 26, 28), los cuales concuerdan con los encontrados en este estudio.

Al considerar la interceptación de la lluvia por la parte aérea, obtenida de la diferencia de la lluvia externa menos la lluvia neta, se observa que el porcentaje de interceptación en el café con sombrío es mayor que en el bosque (bosque 8,0% y café con sombrío 14,3%), lo que puede explicarse por una mayor continuidad en la cobertura vegetal (80,7% de cobertura aérea) lo que generaría una mayor interceptación de lluvia externa, lo cual concuerda con Ataroff (1), quien

encontró que el agua interceptada depende en gran proporción de las características de la cobertura vegetal, es decir, si se comparan diferentes tipos de vegetación, se esperaría que aumente la interceptación a medida que aumenta la cobertura vegetal.

Las proporciones de interceptación aérea de la lluvia fueron 3,3% en el pastizal, 7,6% en el cafetal a libre exposición, 8,0% en el bosque y 14,3% en el cafetal con sombrío. Los altos porcentajes en el cafetal con sombrío de guamo se explican por el efecto de la densidad de los cafetos sumada al efecto de los árboles del sombrío. Los valores de interceptación de este estudio están dentro de los rangos reportados por otros autores en bosques húmedos para condiciones tropicales de Brasil, Colombia, Indonesia, Malasia, Nigeria, Tailandia, Puerto Rico y Venezuela, que varían entre 3% y 63% (2, 4, 5, 6, 7, 8, 29). Esta variabilidad en la interceptación se explicaría, según Crockford y Richardson (8), por diversas características de la vegetación como el tamaño de la corona, forma y orientación de las hojas, ángulo de las ramas, proporción de espacios ocupados por la parte aérea, tipo de corteza y de hojas; y de la lluvia, entre las que están la continuidad de los días secos y húmedos, intensidad, duración, frecuencia y ángulo de incidencia de la lluvia.

Relación entre la escorrentía y la lluvia externa. Las proporciones de escorrentía que ingresan al sistema son bajas, menores al 6,3%, siendo mayores en el pastizal y en el café con sombrío (6,3% y 5,6%, respectivamente) y menores en el bosque y cafetal a libre exposición solar.

En el bosque se presentó la menor proporción de escorrentía (3,3 %) explicable por el efecto conjunto de la alta percolación (45,7%), más la interceptación y almacenamiento de la zona superficial más el mantillo que representa el 43% del total de la lluvia que ingresa al

sistema. El mantillo disminuye el impacto de las gotas de agua sobre el suelo y la velocidad del escurrimiento (6). La mayor proporción de escorrentía se encontró en el pastizal (6,3%). Las relaciones de escorrentía encontradas en este estudio en general son iguales o menores a las halladas por Giraldo y Jaramillo (12), quienes encontraron para esta misma localidad, en sistemas de café con sombrío de guamo, porcentajes de escorrentía entre el 6 y el 12%.

En este estudio se observó que con el incremento de la cobertura arbórea disminuye la escorrentía, resultado que concuerda con Ríos *et al.* (21), quienes concluyen que para sistemas silvopastoriles, en Nicaragua y Costa Rica, la escorrentía está relacionada negativamente con la cobertura vegetal, esto es, en zonas con un gran porcentaje de área descubierta, se observa que la escorrentía es mayor que en los sistemas con componente arbóreo. Jaramillo (15), para diferentes sistemas, presenta valores de escorrentía de 15,6% para café a libre exposición solar, 6,0% para café con guamo y 5,6% para bosque. Ríos *et al.* (21) registraron para pastizales sobrepastoreados valores entre el 28% y el 48%. En los bosques neotropicales la escorrentía presenta porcentajes de lluvia externa mayores, alrededor de 41,6%, con valores extremos de 57,6% y 19,3%, en estudios al nivel de microcuenca (6).

Relación entre la percolación y la lluvia externa. Para las cuatro coberturas, el agua de percolación representó aproximadamente la mitad de la lluvia externa, lo cual coincide con las estimaciones efectuadas por otros autores para condiciones neotropicales, en agroecosistemas de café (13) y bosque lluvioso (6). Giraldo y Jaramillo (12) describieron los fenómenos de redistribución de la lluvia en los componentes del ciclo hidrológico en cafetales bajo diferentes densidades de sombrío, encontrando relaciones lineales entre la lluvia neta y la percolación con respecto a la lluvia externa. Así mismo, afirman que la percolación calculada se puede sobrestimar, ya que no se considera la interceptación y almacenamiento de humedad por la hojarasca de la superficie del suelo. Es importante resaltar que en este estudio se realizaron mediciones directas de agua percolada, teniendo en cuenta la interceptación de esta capa superficial para cuatro coberturas vegetales, en condiciones de la zona cafetera central de Colombia.

Un resumen de la redistribución de la lluvia en los diferentes ecosistemas se presenta en la Tabla 4, en donde se destacan los altos porcentajes de lluvia interceptada por la capa superficial del suelo y los altos valores de percolación de agua en el suelo.

Tabla 4. Redistribución de la lluvia (%) dentro de los diferentes ecosistemas. (El 100%, corresponde a la lluvia externa).

Ecosistema	Interceptación aérea (%)	Lluvia neta (%)	Interceptación superficial (%)	Escorrentía (%)	Percolación (%)
Bosque	8,0	92,0	43,0	3,3	45,7
Cafetal con sombrío	14,3	85,7	32,7	5,6	47,4
Cafetal a libre exposición	7,6	92,4	44,6	2,7	45,1
Pastizal	3,3	96,7	45,5	6,3	44,9

Retención de agua en la capa superficial.

El nivel de saturación de la capa superficial se puede obtener ajustando para las diferentes coberturas vegetales, la percolación y la lluvia externa mediante una relación logarítmica (Figura 5); es así como se observa la ocurrencia de un cambio de pendiente en la curva, que sería explicable por el proceso de la retención del agua en la capa superficial. Los valores para el cambio de pendiente variaron entre 10,4 mm en el cafetal con sombrío de guamo y 9,27 mm en el pastizal, con un valor medio de 10,1 mm para el conjunto de las cuatro coberturas. Esto sugiere, como valor general, que en la zona superficial de los diferentes ecosistemas se alcanzó la saturación a 10 mm de lluvia externa.

Para el mantillo, Xioyan *et al.* (31) reportan 11,5% en promedio de interceptación durante eventos individuales, en regiones semiáridas de China; estas tasas de interceptación reportadas disminuyen con el aumento de la

cantidad e intensidad de las lluvias (mayores de 10 mm). En bosques de zona templada de pino y eucalipto se han realizado algunas mediciones (8), observándose que el suelo del bosque realiza interceptaciones del 16,5% para eucalipto y 12,7% para pino. Putuhena y Cordery, citados por Crockford y Richardson (8), para las condiciones de Australia, en una plantación de pino (*Pinus radiata*), determinaron que la capacidad de almacenamiento de la capa superficial (mantillo) es de 2,8 mm; es de anotar que estos estudios se realizan en el laboratorio, mientras que en esta investigación la información se obtuvo directamente en el campo, lo que daría unos resultados más confiables y ajustados a la realidad, ya que el mantillo está expuesto a las diferentes condiciones ambientales de la localidad.

Los resultados de este estudio confirman lo expresado por diversos autores (10, 25, 26, 28), quienes han resaltado la función

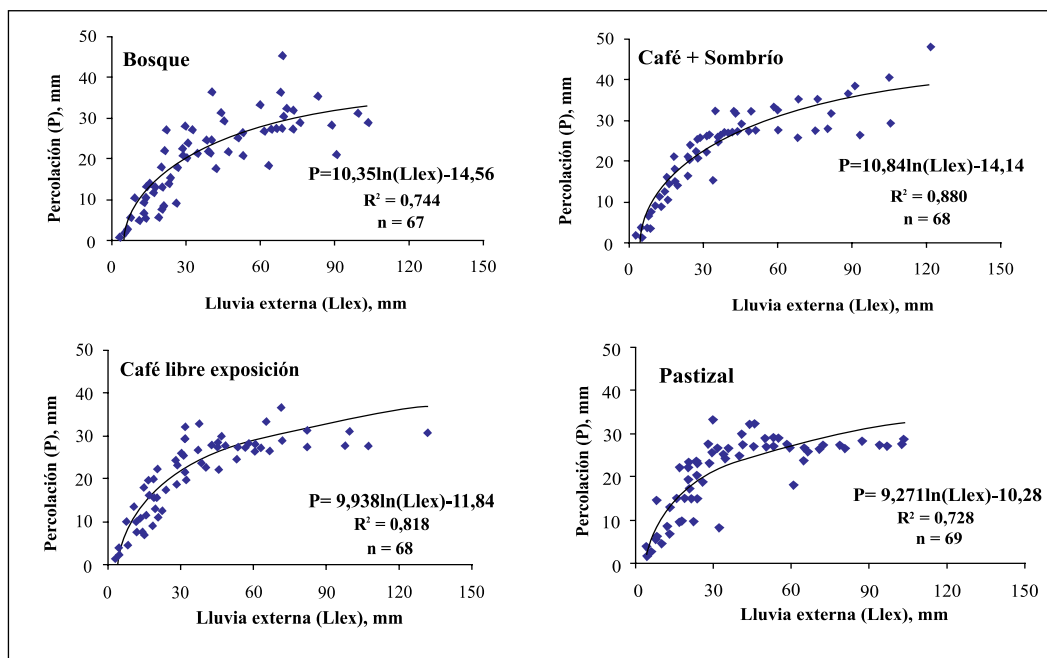


Figura 5. Relación logarítmica entre percolación (P) y lluvia externa (Llex) en cada cobertura vegetal.

del mantillo en el ciclo hidrológico en los ecosistemas, debido a que influye en la humedad del suelo, intercepta parte de la lluvia efectiva, interviene en la escorrentía, protege el suelo de procesos erosivos y contribuye a la estabilidad de las características físicas y químicas del suelo.

Tensión de humedad del suelo. En general, se observa que durante el período de las observaciones la tensión de humedad se mantuvo en los niveles bajos en las cuatro coberturas vegetales, debido a los excesos de lluvia ocurridos durante el evento de La Niña 2007/2008 (Figura 6).

Una de las variables en las que mejor se integran los efectos de la deforestación sobre el balance hídrico es el contenido de agua del suelo. Para una misma condición climática, las diferencias en el contenido de agua del suelo de un bosque y un pastizal se pueden explicar en función de las diferencias estructurales y funcionales de los dos tipos de vegetación (1, 2, 3). Jaramillo y Cháves (16, 17), cuantificaron las diferencias que ocurren en los componentes del balance hidrológico debidas al cambio de la cobertura vegetal en sistemas agroforestales de café, encontrando

diferencias significativas en los valores de percolación y en el comportamiento de la humedad volumétrica del suelo durante un período de gran deficiencia de lluvia, ocurrido durante el evento Cálido del Pacífico (El Niño 1997 – 1998), presentándose la mayor deficiencia de agua en el suelo del cafetal a libre exposición, el cual tenía un horizonte orgánico deteriorado, contrario a lo ocurrido en el suelo del cafetal bajo sombrío, con un horizonte orgánico mayor.

En general, para los diferentes ecosistemas estudiados se destaca la doble interceptación de la lluvia, una menor proporción por la parte aérea de la vegetación y la otra por el estrato rasante superficial, en el cual se retiene una alta proporción del agua, y que indica el gran cuidado que se debe tener con el mantenimiento de la cobertura superficial y del mantillo depositado sobre el suelo para la conservación del agua. Se encontró que el agua de percolación es el otro componente de gran proporción dentro de la redistribución de la lluvia, muy alta en los suelos de origen volcánico, y la cual se debe tener muy presente en el manejo del cultivo y en la movilidad de fertilizantes o contaminantes hacia el perfil del suelo.

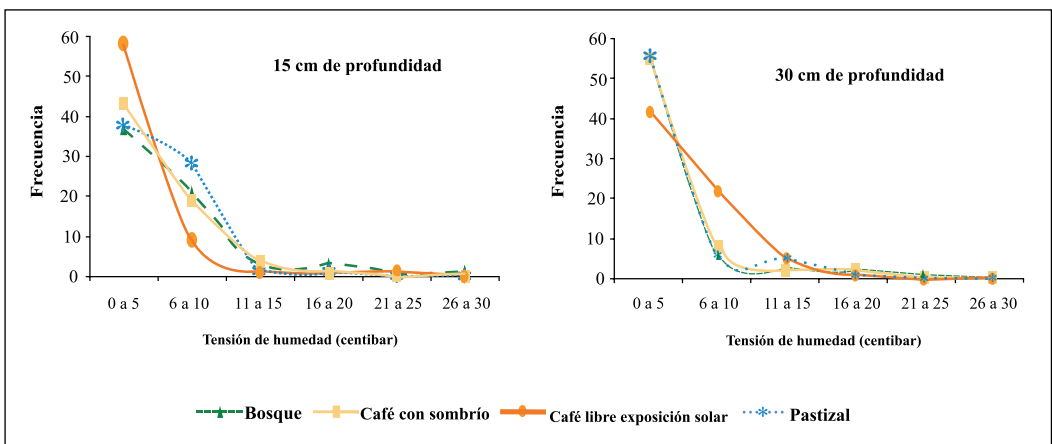


Figura 6. Distribución de frecuencia de la humedad media del suelo a dos profundidades (15 cm y 30 cm) en cada cobertura vegetal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo y la colaboración de los Ingenieros Agrónomos Juan Carlos García, Guiovanny Cuesta, Raúl Rendón y al señor Robeiro Cano, de la Estación Central Naranjal-La Romelia, y al personal de la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé.

También agradecen la asesoría y los comentarios de los docentes de la Universidad de Caldas: David Sanín, Beatriz Toro Restrepo, Juan Alejandro Morales y al Ingeniero Agrónomo José Fernando Giraldo, de Smurfit Kappa artón de Colombia S.A.

LITERATURA CITADA

1. ATAROFF S., M. Precipitación e interceptación en ecosistemas boscosos de los Andes venezolanos. *Ecotrópicos* 15(2):195-202. 2002.
2. ATAROFF S., M.; SÁNCHEZ, L. A. 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. 2000.
3. BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55:3-23. 1982.
4. BRUIJNZEEL, L. A. Hidrología de las plantaciones forestales en los trópicos. En: SADANANDAN, N. E. K.; BROWN, G. A. *Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests*. Canberra: ACIAR: CSIRO: CIFOR, 1997. 571 p.
5. ----- Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Amsterdam: UNESCO: University of Amsterdam, 1990. 224 p.
6. CAVELIER, J.; VARGAS, G. Procesos hidrológicos. En: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica: LUR, 2002. p. 145-466
7. CLARKE, R. T. The interception process in tropical rain forest: A literature review and critique. *Acta Amazónica* 16/17:225-238. 1987.
8. CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: Effect of forest type and ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14:2903-2920. 2000.
9. FARFÁN, F.; URREGO, J. B. Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del Café. *Cenicafé* 55(4):317-329. 2004.
10. FASSBENDER, H. W. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba: CATIE, 1987. 475 p.
11. FASSNACHT, K. S.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; MACMURTRIE, R. E. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 71:183-207. 1994.
12. GIRALDO J., J. F.; JARAMILLO R., A. Ciclo hidrológico y transporte de nutrimentos en cafetales bajo diferentes densidades de sombrío de guamo. *Cenicafé* 55(1):52-68. 2004.
13. IMBACH, A. C.; FASSBENDER, H. W.; BEER, J.; BOREL, R.; BONNEMANN, A. Sistemas agroforestales de Café (*Coffea arabica*) con Laurel (*Cordia alliodora*) y Café con Poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica: Balances hídricos e ingreso con lluvia lixiviación de elementos nutritivos. *Turrialba* 39(3):400-415. 1989.
14. JARAMILLO R., A. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná: Cenicafé, 2005. 192 p.
15. ----- La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 29(112):371-382. 2005.
16. JARAMILLO R., A.; CHAVES, C. B. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de Café (*Coffea arabica* L.) al sol y bajo sombra. *Cenicafé* 50(2):97-105. 1999.
17. ----- Interceptación de la lluvia en un bosque y en plantaciones de *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 49(2):129-135. 1998.

18. KIMMINS, J. P. Forest ecology: A foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry. New Jersey: Prentice Hall, 2003. 609 p.
19. RAMÍREZ B., V. H.; JARAMILLO R., A. Distribución de la lluvia en cuatro coberturas vegetales de la zona andina colombiana. *Investigaciones de Unisarc* 5(1):19-33. 2007.
20. RANGER, J.; MARQUES, R.; JUSSY, J. H. Forest soil dynamic during stand development assessed by lisimeter and centrifuge solutions. *Forest Ecology and Management* 144:129-145. 2001.
21. RÍOS, N.; CÁRDENAS, A.; ANDRADE, H. J.; IBRAHIM, M.; JIMÉNEZ, F.; SANCHO, F.; RAMÍREZ, E.; REYES B.; WOO, A. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66-71. 2007.
22. SCOTT, D. F.; BRUIJNZEEL L. A.; MACKENSEN, J. The hydrological and soil impacts of the forestation in the tropics. En: BONELL, M.; BRUIJNZEEL, L. A. *Forest, water and people in the humid tropics: Past, present, and future hydrological research for integrated land and water management*. Cambridge: University press, 2005. p. 622-651
23. STOUTJESDIJK, P.; BARKMAN, J. J. Microclimate, vegetation and fauna. *Knivsta [Suecia]: Opulus press*, 1987. 216 p.
24. SUÁREZ V., S.; ALVAREZ, O.J.; BALDIÓN R., J.V. Estudio detallado de suelos y clima en la Estación Central Naranjal. Chinchiná: Cenicafé, 1994. 154 p.
25. TOBÓN, C.; BOUTEN W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology* 237:40-57. 2000.
26. TOBÓN, M. C. Monitoring and modelling hydrological fluxes in support of nutrient cycling studies in amazonian rain forest ecosystem. Wageningen [Netherlands]: The Tropenbos Foundation, 1999. 169 p.
27. TROJER, H. Distribución y características de la precipitación en un cafetal bajo sombrero. *Cenicafé* 67(6):256-264. 1955.
28. VENEKLAAS, E. Rainfall interception and aboveground nutrient fluxes in colombian montane tropical rain forest. Utrecht: University of Utrecht, 1990. 110 p.
29. VIS, M. Interception, drop size distribution and rainfall kinetic energy in four colombian forest ecosystems. *Earth Surface Processes and Land Forms* 11:591-603. 1986.
30. WARD, R. C.; ROBINSON, M. *Principles of hydrology*. Londres: McGraw Hill, 1990. 365 p.
31. XIOYAN, L.; JIODANG, G.; QUANZHAO, G.; XINGHU, W. Rainfall interception loss by pebble mulch in the semiarid region of China. *Journal of Hydrology* 228:165-173. 2000.