

INTERCEPTACIÓN DE LA LLUVIA EN UN BOSQUE Y EN PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica L*)

Alvaro Jaramillo Robledo y Bernardo Chaves Córdoba
Centro Nacional de Investigaciones de Café-CENICAFE
Chinchiná-Caldas-Colombia

RESUMEN

La formación vegetal de bosque húmedo fue modificada por el hombre para establecer sus asentamientos y utilizar la tierra con diversos cultivos como el café (*Coffea arabica L*), inicialmente con un manejo bajo sombrero y posteriormente a libre exposición solar; estas transformaciones generan cambios en los componentes de los balances de radiación, de energía, de agua y de nutrimento, entre otros. El trabajo experimental se realizó en un bosque primario multiestrato y en parcelas experimentales de café con condiciones de libre exposición solar y con sombrero de guamo (*Inga sp*). El mejor ajuste entre la interceptación de la lluvia por la vegetación y la precipitación que ingresa al ecosistema se obtuvo con la función de Verhuist de tipo logístico observándose diferencias en todos los parámetros de la ecuación, especialmente en la asíntota o valor máximo y en la tasa máxima de interceptación. Los valores de interceptación encontrados para las diferentes condiciones de cubrimiento vegetativo están dentro de los rangos hallados en otros estudios de las zonas tropicales. La variabilidad encontrada en las cantidades de lluvia observada en los pluviómetros debajo de los árboles es alta y no existe una correlación estadística entre dos puntos de observación próximos. Este estudio presenta las modificaciones en los componentes del balance hidrológico que ocurren por el cambio de cobertura vegetal y demuestra que no se puede considerar un porcentaje promedio fijo en la interceptación de la lluvia por la vegetación.

ABSTRACT

The humid forest vegetable formation was modified by men in order to establish their livings and utilize the soils for diverse cultivations as coffee (*Coffea arabica L*), which was initially cultivated by handling a somber vegetation, and subsequently leaving it to free solar exposition; these transformations generate changes in the radiation, energy, water and nutriment balance components. The experimental work was carried out in a multistrata primary forest as well as in experimental parcels of coffee under free solar exposition conditions and also under guamo (*Inga sp*) somber. The better adjustment between rain interception by vegetation and the input precipitation to the ecosystem was obtained by means of a logistic type of the Verhuist function in which differences in all the parameters of the equation, especially in the asintota or maximum interception value as well as the maximum interception rate, accountable for the change in the vegetable cover, were observed. The observed interception rate values for different vegetable cover are within the ranges of the corresponding values found in other studies of tropical zones. It was observed a high variability in the amount of rain measured by the rainmeters located under the trees and a statistical correlation between an observation point and its neighbor was not found.

1. INTRODUCCIÓN

El medio natural inicial del área de influencia cafetera fue una formación vegetal de bosque húmedo, el cual fue transformado por el hombre para el establecimiento de asentamientos humanos y la utilización de la tierra en diversos cultivos, entre ellos el café, inicialmente con un manejo bajo sombra y posteriormente a libre exposición solar. Aunque muchos estudios en diferentes partes del mundo (1) han demostrado que estas transformaciones no modifican las cantidades de lluvia que ingresan al ecosistema, sí conllevan a cambios en los componentes de los ciclos de energía y de agua, que no han sido evaluados y cuantificados para las condiciones de la zona cafetera.

Dentro de los componentes del ciclo hidrológico, la cantidad de agua lluvia que ingresa al ecosistema y es retenida en la parte aérea de la planta se denomina agua interceptada o interceptación; el agua que llega a la superficie del suelo después de pasar por el follaje se llama comúnmente agua de lavado foliar (LF) con implicaciones importantes en el transporte de los nutrientes desde la parte aérea de la planta hasta la superficie del suelo.

En la década del cuarenta Kittredge (10), publicó aspectos detallados sobre la influencia de los bosques en diferentes componentes del ciclo hidrológico, entre ellos, la interceptación que representa una pérdida para el bosque por ser un agua que no llega a la superficie del suelo; este autor llega a la conclusión que el agua interceptada es una función de la capacidad de almacenamiento del follaje, de la evaporación durante la lluvia y de la cantidad del aguacero.

Aunque la presencia del bosque no afecta las cantidades de lluvia incidente, su influencia es notoria en la cantidad y distribución espacial en la superficie del suelo (4).

La mayoría de los estudios de interceptación reportados en la literatura se refieren a medidas hechas en bosques de las regiones templadas y en la zona tropical (1, 5, 9, 11, 16, 17) y son pocas las medidas que se han publicado para cultivos perennes.

Miranda (14), para las condiciones de Bahía-Brasil, midió la interceptación de la lluvia en plantaciones de cacao (*Theobroma-cacao*) y encontró valores que fluctúan entre el 13% y 27% del total de la lluvia; estos porcentajes están en función del estado fenológico de la planta y de las características de la lluvia.

En observaciones hidrológicas realizadas en la selva amazónica por Franken et al. (7), se encontraron valores como una interceptación media de 25%, una transpiración del 50% y una escorrentía del 25%.

Estudios realizados por Clarke (3), en condiciones de bosque húmedo tropical, han demostrado que la lluvia interceptada varía entre valores inferiores a un 3% en Nigeria y valores máximos hasta un 63% en Tailandia; esta variación refleja diferentes condiciones climáticas, distintas intensidades de la lluvia y la gran diversidad de estructura del bosque. La mayoría de estos estudios no han tenido en cuenta la alta variabilidad espacial que se presenta dentro del bosque.

Otros autores han encontrado que las proporciones del agua del lavado foliar están entre 97%, para un bosque decíduo en Nigeria (8) y 30%, para un bosque de Nueva Guinea, en la estación seca (5). La cantidad de lluvia que escurre por los tallos es inferior al 1% ó 2% del total de la lluvia y este valor puede ser ignorado en los cálculos del balance hídrico dentro de las plantaciones (5, 7, 20).

Para Klaassen et al. (11), el concepto de capacidad de almacenamiento de agua constante por la vegetación es cuestionable;

sugieren observaciones directas y además concluyen que la interceptación de la lluvia es independiente del tamaño de las parcelas, aunque advierten que los bordes se secan más rápido y la transpiración comienza tan pronto como la lluvia ha cesado.

Lloyd y Marques (13), hacen énfasis en la gran variabilidad de la lluvia dentro de las superficies vegetales y sugieren que una reducción en el error de medida se logra relocalizando los pluviómetros en línea dentro del bosque; los valores de interceptación hallados para la selva amazónica son del 91%. Para Raich (16), la alta variabilidad encontrada dentro de las plantaciones, es explicable por la variación en la intensidad de las lluvias y por la diversidad de la vegetación.

De acuerdo con Pereira, citado por Salas (18), la interceptación de la lluvia por la vegetación es función de la intensidad de la lluvia; las lluvias leves con tamaños de gota pequeños se interceptan totalmente, mientras que las lluvias intensas saturan rápidamente el follaje y transmiten la mayor parte de la lluvia a los estratos inferiores. Se ha comprobado que las diferentes coberturas vegetales producen una curva de tendencia hiperbólica cuando se comparan la cantidad de lluvia y el porcentaje interceptado.

Trojer (19), para las condiciones de Cenicafé, estudió la distribución y características de la lluvia en un cafetal bajo sombrero de Guamo (*Inga sp*) y concluyó que las lluvias mayores de 10 mm causan grandes diferencias en la distribución de las cantidades captadas dentro del cultivo, debido a la formación de goteras, llegando a presentar cantidades que doblan la lluvia externa.

Veneklaas (20), en observaciones realizadas en Colombia para dos altitudes en un bosque montano, encontró interceptaciones de la

lluvia entre el 12% y 18%, atribuidas a la presencia de epífitas que modifican las condiciones de almacenamiento en la parte aérea de la planta y a las características de la lluvia.

Knops et al. (12), resaltan la acción que ejercen las epífitas en la interceptación del agua por parte del bosque y en el papel que juegan éstas en la dinámica de los nutrimentos dentro del ecosistema.

El presente estudio se realizó para conocer las características de la interceptación de la lluvia por un bosque y por cafetales bajo sombrero y a libre exposición solar bajo las condiciones de Cenicafé.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

Las medidas se realizaron en la sede principal del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé- localizada a 05° 00' latitud norte, 75° 36' longitud oeste y 1420 m de altitud. Las condiciones de clima anual son las siguientes: precipitación 2530 mm, evaporación 1300 mm, temperatura media 20.0°C, temperatura máxima 26.8°C, temperatura mínima 15.8°C, brillo solar 1830 horas y 78% de humedad relativa (6).

2.2. Area experimental

Como áreas experimentales se utilizaron parcelas próximas a Cenicafé con las siguientes características:

- Un área de reserva natural, conformada por un bosque primario multiestrato con intervención humana.
- Una parcela de café (*Coffea arabica L*) de variedad caturra bajo sombrero de guamo (*Inga sp*), con una distancia de siembra de

los cafetos de 2.0 m entre los surcos y 1.0 m entre plantas. Los guamos están a una distancia de siembra de 8 m x 15 m

- Una parcela de café (*Coffea arabica L*), variedad Colombia a libre exposición solar, con una distancia de siembra de 2.0 m entre surcos y 1.0 m entre plantas. La proporción del cubrimiento del terreno por el cultivo se estimó en un 55%.

2.3. Distribución de los pluviómetros

En cada parcela experimental se colocaron un total de 20 pluviómetros distribuidos en una red de 4 x 5. Las distancias entre los pluviómetros fue de 3 m x 4 m en el bosque, 4 m x 5 m en el cafetal bajo sombrero y 2 m x 5 m en el cafetal a libre exposición solar. El área de captación de cada pluviómetro es de 24 cm².

Los muestreos se realizaron después de cada día lluvioso; cada muestreo consideró el acumulado de uno o varios aguaceros. El número de observaciones de lavado foliar fue de 1101 para el bosque y de 1081 en cada una de las parcelas, en los cafetales bajo sombrero y a libre exposición solar.

Los valores de interceptación de la lluvia (I) se calcularon como la diferencia entre la precipitación total incidente (P) y la cantidad de agua captada en la superficie del suelo debajo de la vegetación (LF), $I = P - LF$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Lavado foliar

El agua captada en los pluviómetros dentro de las plantaciones se denomina Lavado Foliar, y tiene implicaciones importantes en la dinámica del agua en el suelo y en el arrastre de nutrientes desde la parte aérea de la planta hasta la superficie del suelo.

Al analizar las frecuencias del agua interceptada con relación al agua lluvia registrada en la parte externa (Tabla 1), se encuentra que para una muestra de 1821 observaciones, un 17% de los datos recolectados en el bosque y en el cafetal bajo sombrero presentaron valores superiores a los observados en la parte externa; para las condiciones de cafetal a libre exposición solar, un 26% de los datos son superiores. Los resultados anteriores son explicables por un efecto de concentración de la lluvia que ejercen los árboles, aumentando la cantidad y el tamaño de las gotas; resultados similares se reportan en la literatura por Bruijnzeel (1), Clarke (3), Lloyd y Marques (13).

Bruijnzeel (1), manifiesta que las mayores cantidades de agua observadas en puntos determinados dentro de las plantaciones sugieren un mayor incremento en el tamaño de las gotas con relación a las registradas en la parte externa; la variabilidad encontrada es mayor en los bosques de follaje heterogéneo que en el bosque de vegetación uniforme.

Nair (15), reporta que en bosques de teca (*Tectona grandis*) en Indonesia se presentan altos niveles de erosión por la formación de grandes gotas de agua lluvia formadas por coalescencia en la superficie foliar, que presentan alta energía cinética cuando hacen su impacto en la superficie del suelo.

3.2. Interceptación de la lluvia

El mejor ajuste entre la interceptación de la vegetación (I) y la precipitación que ingresa al ecosistema (P), se obtuvo con la función de Verhuist de tipo logístico de la forma:

$$I = a \left[1 + b e^{-cP} \right]^{-1}$$

Donde I es la interceptación de la lluvia por la superficie vegetal [mm]; a es la asíntota máxima, [mm]; b es un parámetro de escala;

c es la tasa relativa promedio y P es la precipitación externa a la superficie vegetal, [mm]

En la Tabla 2 y Figura 1, se presentan los resultados obtenidos en un bosque y en cafetales a libre exposición y bajo sombrero

TABLA 1. Porcentaje de agua de Lavado Foliar interceptada en la superficie del suelo de diferentes coberturas vegetales. 100% representa el agua captada por el pluviógrafo de la estación climática. Cenicafé. 1997.

Cobertura Vegetal	Menor o igual a 100	Mayor que 100	n
Bosque	83	17	1821
Cafetal Sombra	83	17	1801
Cafetal Sol	74	26	1801

TABLA 2. Parámetros estimados de la función de Verhuist de la relación entre la interceptación (I) y la precipitación externa (P), para las condiciones de bosque, cafetal bajo sombrero y cafetal a libre exposición solar (n = 90). Cenicafé. 1997.

Cobertura	a	B	c	CMe	tmi
Bosque	50.70	16.52	0.057	35.1	0.85
Cafetal Sombra	53.27	14.51	0.055	16.5	0.74
Cafetal Sol	43.83	11.74	0.052	9.6	0.52

Donde a: asíntota o valor máximo, mm

b: parámetro de escala

c: tasa relativa promedio

CMe: cuadrado medio del error

tmi: tasa máxima de interceptación.

En la Tabla 2, se observan diferencias en todos los parámetros de la ecuación debidas a las modificaciones en las coberturas vegetales, especialmente en la asíntota o valor máximo (a) y en la tasa máxima de interceptación. La máxima interceptación encontrada (o valor máximo) no se debe

confundir con la capacidad máxima de almacenamiento en la parte aérea de la planta la cual solamente puede ser estimada a partir de aguaceros individuales.

En la Figura 2, se presentan las tasas de interceptación máxima (unidad de agua interceptada por unidad de lluvia incidente). Las tasas en el bosque y en el cafetal bajo sombra son semejantes y superiores a las registradas en el cafetal a libre exposición solar. Los valores anteriores dan una idea de la magnitud de las modificaciones inducidas por el cambio en la cobertura vegetal.

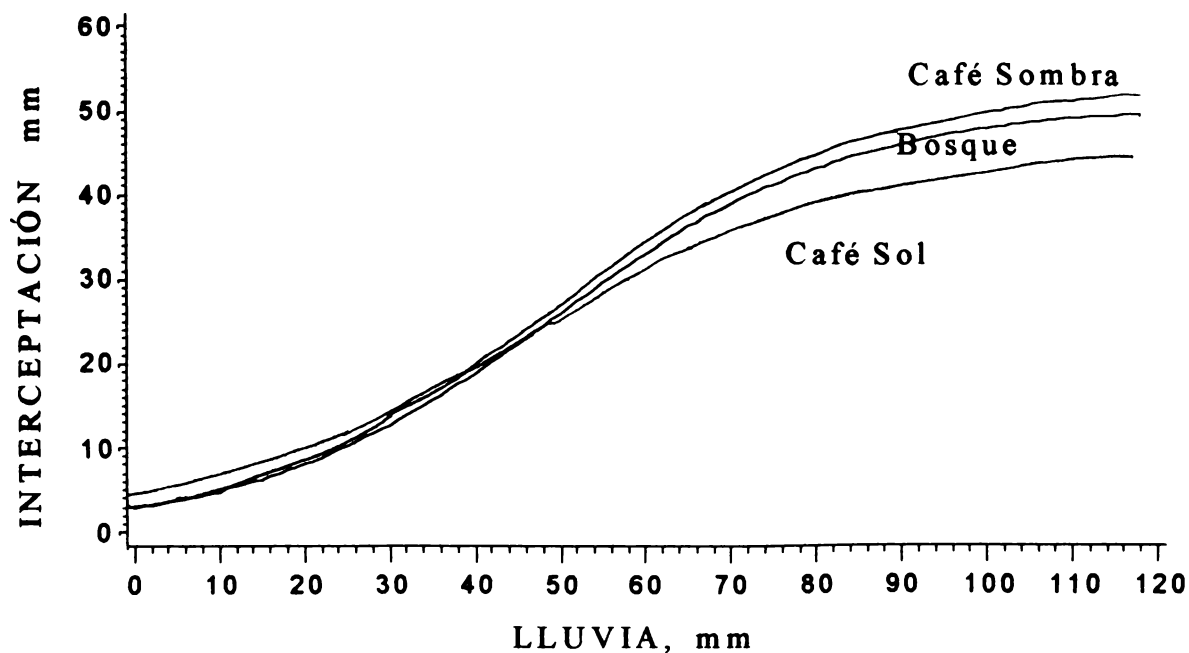


FIGURA 1. Cantidad de agua lluvia interceptada por las superficies vegetales. Cenicafé. ACL0404.1997.

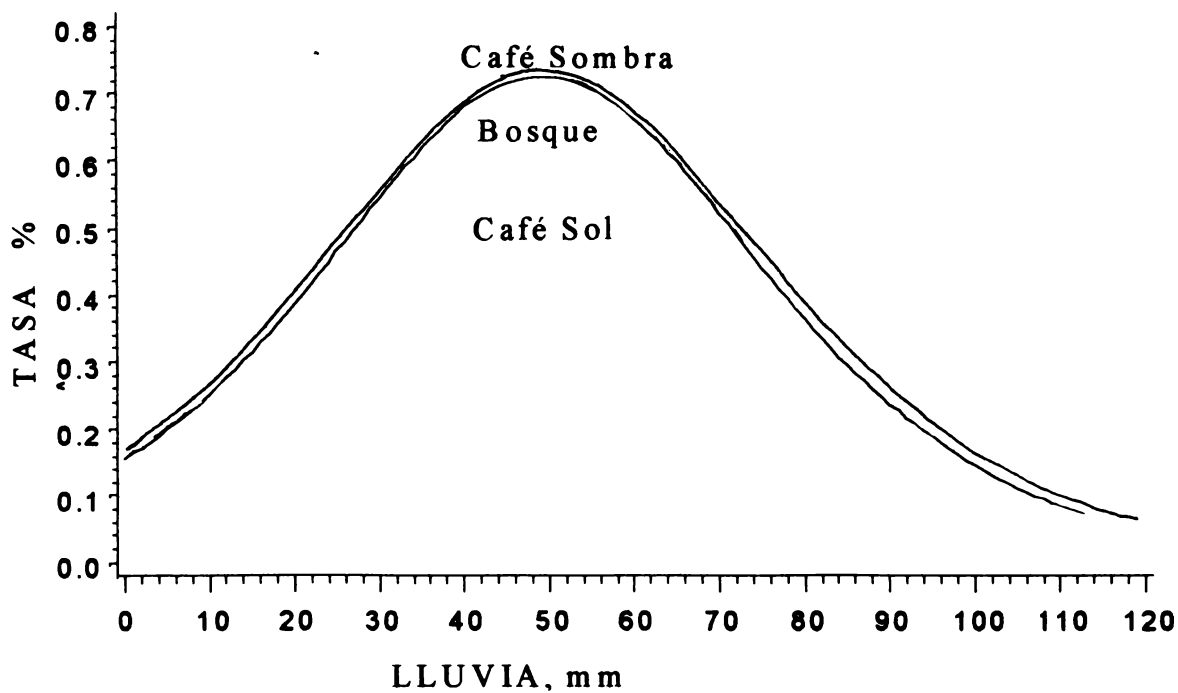


FIGURA 2. Tasas de interceptación de la lluvia por diferentes superficies vegetales. Cenicafé. ACL0404.1997.

Los valores de interceptación encontrados para las diferentes condiciones de cubrimiento vegetativo están dentro de los rangos hallados en otros estudios de las zonas tropicales.

Las modificaciones en las proporciones de agua interceptada por la vegetación originan cambios en las relaciones en el balance hídrico, especialmente en los volúmenes del agua de escorrentía, de infiltración y en la cantidad almacenada en el suelo. Un drenaje lento desde el follaje favorece la infiltración y reduce la escorrentía.

El presente estudio muestra que no se puede considerar un porcentaje promedio fijo en la interceptación de la lluvia por la vegetación como lo sugieren algunos autores (3, 5, 6, 7, 12), ya que la lluvia interceptada depende de la cantidad incidente y de las tasas de interceptación, debido a su comportamiento de tipo sigmoidal.

Las funciones que relacionan la interceptación con la precipitación incidente, estimadas en el presente estudio, deben ser incorporadas en los cálculos del balance hídrico cuando se consideren situaciones de cafetales a libre exposición solar y bajo sombra. El valor de la interceptación se suma a los valores de evapotranspiración.

Como lo referencian Bruijnzeel (1), Clarke (3), Lloyd y Marques (13), Raich (16), y Trojer (19), uno de los aspectos que más se destacan en las medidas del agua del lavado foliar es la gran variabilidad que se observa dentro de las formaciones vegetales. Una situación similar se observó durante el ensayo con los muestreos en las redes de pluviómetros muy próximos, separados por distancias no superiores a 20 m, situación explicable por factores propios de la cubierta vegetal, como son el índice de área foliar, la estructura y densidad de las plantas y debido

a las características de la lluvia en cuanto a cantidad e intensidad.

La variabilidad encontrada en las cantidades de lluvia observada en los pluviómetros debajo de los árboles es alta y no existe una correlación estadística entre dos puntos de observación próximos (Figuras 3, 4 y 5).

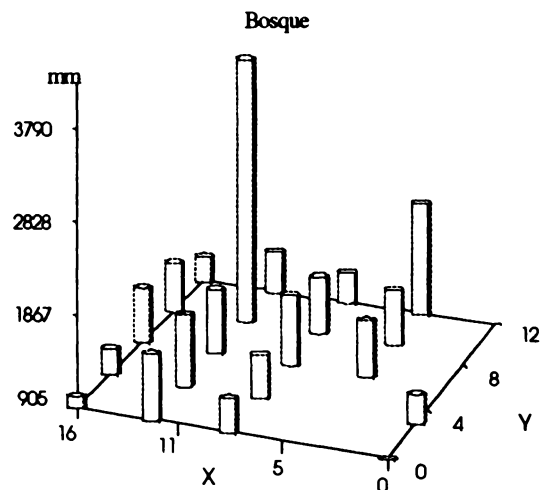


FIGURA 3. Cantidad de agua de Lavado Foliar observada dentro de un bosque en una red de 20 pluviómetros. Cenicafé. ACL0404.1997.

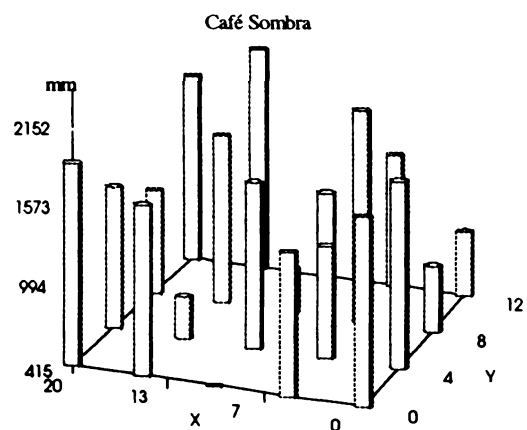


FIGURA 4. Cantidad de agua de Lavado Foliar observada en un cafetal bajo sombra de guamo (*Inga sp*) en una red de 20 pluviómetros. Cenicafé. ACL0404.1997

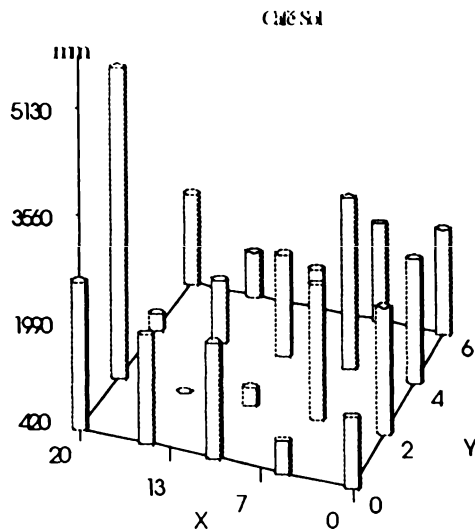


FIGURA 5. Cantidad de agua de Lavado Foliar observada en un cafetal a libre exposición solar en una red de 20 pluviómetros. Cenicafé. ACL0404.1997.

REFERENCIAS

- BRUIJNZEEL, L.A.** Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion, a state of knowledge review. Amsterdam: UNESCO International Hydrological Programme - Free University, 1990. 224 p.
- BRUIJNZEEL, L.A....[et al.].** Hydrological observations in montane rain forest on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "massenerhebung" effect. En: J. of Ecology 81 (1), 1993. p. 145-167.
- CLARKE, R.T.** The interception process in tropical rain forest, A literature review critique. En: Acta Amazónica 16 (17), 1987. p. 225-238.
- COLMAN, E.A.** Vegetation and Watershed management. New York: The Ronald Press Company, 1953. 412 p.
- EDWARDS, P.J.** Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. V, Rates of cycling in throughfall and litter fall. En: Journal of Ecology, 1982. p. 807-827.
- CENICAFÉ, CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ,** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Archivos de información meteorológica 1950-1994. Chinchiná: CENICAFÉ, 1994.
- FRANKEN, W., et al.** Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. En: Acta Amazónica No. 12, 1992. p. 15-22.
- HOPKINS, B.** Vegetation of the Olokemeji forest reserve, Nigeria, III. Microclimates with special reference to their seasonal changes. En: J. of Ecology n 53, 1965. p. 125-138.
- JETTEN, V.G.** Interception of tropical rain forest, performance of a canopy water balance model. En: Hydrological Processes 10 (5), 1996. p. 671-685.
- KITTREDGE, J.** Forest influences. The American Forestry Series. New York: McGraw-Hill, Book Company, 1948. 349 p.
- KLAASSEN, W., LANKREIJER, H.J.M., VEEN, A.W.L.** Rainfall interception near a forest edge. En: Journal of Hydrology 185 (1-4), 1996. p. 349-361.
- KNOPS, J.M.H., NASH, T.H., SCHLESINGER, W.H.** The influence of epiphytic lichens on the nutrient cycling of an oak woodland. En: Ecological Monographs 66 (2), 1996. p. 159-179.

13. **LLOYD, C.R., MARQUES, A. de O.** Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in amazonian rainforest. En: *Agricultural and Forest Meteorology* 42 (1), 1988. p. 63-73.
14. **MIRANDA, R.A.C.DE.** Interceptacao da chuva por cacauzeiros no sudeste da Bahia. En: *Revista Theobroma* 17 (4), 1987. p. 252-259.
15. **NAIR, P.K.R.** An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 499 p.
16. **RAICH, J.W.** Throughfall and stemflow in mature and year-old wet tropical forest. En: *Tropical Ecology* 24 (2), 1983. p. 234-243.
17. **RUTTER, A.J.** The hydrological cycle in vegetation and the atmosphere. Vol. I Principles. New York: Academic Press, 1975. p. 11-154.
18. **SALAS, G. DE LAS.** Suelos y ecosistemas forestales, con énfasis en América Tropical. Turrialba: IICA, 1987. 450 p.
19. **TROJER, H.** Distribución y características de la precipitación en un cafetal bajo sombrío. En: *Cenicafé* 6 (27), 1955. p. 256-264.
20. **VENEKLAAS, E.** Rainfall interception and aboveground nutrient fluxes in Colombian, montane tropical rain forest. Utrecht: University of Utrecht, 1990. 105 p.

