

ASPECTOS HIDROLÓGICOS EN UN BOSQUE Y EN PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) AL SOL Y BAJO SOMBRA

Alvaro Jaramillo-Robledo*; Bernardo Cháves-Córdoba**

RESUMEN

JARAMILLO R., A.; CHÁVES 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.

En esta investigación se cuantificaron las diferencias que ocurren en los componentes del balance hidrológico debido al cambio de la cobertura vegetal. Se realizó en un bosque primario multiestrato y en parcelas experimentales de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones de libre exposición solar y bajo sombrío de guamo (*Inga* sp.). Se encontraron relaciones de tipo exponencial entre la lluvia incidente, en la parte externa, y los valores de lluvia efectiva, interceptación, escorrentía y percolación. Las expresiones matemáticas encontradas fueron de tipo logístico con valores máximos (asíntota) y tasas variables según la cobertura y la intensidad de la lluvia. Se observa una alta variabilidad en las cantidades de lluvia registradas en una red de pluviómetros dentro de las plantaciones. Los valores máximos de lluvia interceptada (asíntota máxima), se presentan en el bosque (53,7mm) y en cafetales bajo sombrío de guamo (60,3mm). Las diferencias entre los valores máximos de la escorrentía no son apreciables para las tres coberturas y presentan valores de 4,5mm en el bosque, 4,8mm en el cafetal bajo sombrío y 5,2mm en el cafetal a libre exposición solar. Las asíntotas máximas para la percolación varían entre 27,1mm en el cafetal bajo sombra y 34,2mm en el cafetal a libre exposición solar.

Palabras claves: Precipitación, *Coffea arabica*, sombrío, libre exposición, sol, plantaciones de café, cafetales, escorrentía, percolación.

ABSTRACT

Differences caused in components of water balance by changes in vegetation were assessed. Work was performed in a multistratum primary forest and in experimental coffee plots under full sunlight exposition and shadow by *Inga* sp. Exponential relations were found between incident rain, in the external part, and values of effective rain, interception, runoff and percolation. Mathematical expressions found were logistic with maximum values (asymptote) and variable rates according to vegetation and rain intensity. The amount of rain recorded in a net of pluviometers within plantations was highly variable. Maximum values (maximum asymptote) for intercepted rain were found in the forest (53,7 mm) and in coffee plots under *Inga* (60,3 mm). Differences between maximum runoff values are not evident for the three types of vegetation and show values of 4,5mm in forest, 4,8 mm in coffee plots under shade and 5,2 in coffee plots under sunlight. Maximum asymptotes for percolation range from 27,1 mm for coffee plots under shade to 34,2 mm for coffee plots under sunlight.

Keywords: precipitation, *Coffea arabica*, shading, full sunlight exposition, coffee plantations, runoff, percolation.

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

** Investigador Científico II. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Las modificaciones generadas por la transformación del bosque en áreas de cultivo se reflejan en la destrucción o la redistribución de los recursos genéticos, variación en el reciclaje de los nutrientes, exposición del suelo a la erosión, alteraciones en el ciclo hidrológico por cambios en los ciclos de energía y en la compactación del suelo, y aparición de plagas y enfermedades (25).

Para estudiar el ciclo del agua en un ecosistema es necesario describir todos los procesos de transferencia dentro del mismo: la cantidad de agua que ingresa al ecosistema depende del régimen de lluvias y está asociada a la posición geográfica de la región, la circulación planetaria de las masas de nubes y de aire, las temperaturas y la vegetación, entre otros factores (8).

Una parte de la lluvia que ingresa al ecosistema forestal es retenida por el follaje de la vegetación (interceptación), y regresa a la atmósfera por evaporación, la cual está en función de la radiación solar, la temperatura del aire y el viento. Otra parte del agua que incide al rodal, escurre de las hojas o a lo largo de los tallos y llega por gravedad a la superficie del suelo, y puede escurrir sobre la misma o penetrar por percolación. La retención de humedad por el suelo es función de sus características de textura y estructura, y representa la reserva de donde las plantas absorben las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y de los nutrientes; una parte del agua almacenada en los tejidos vegetales se difunde a través de las membranas celulares y pasa a la atmósfera por transpiración.

La medición y el tratamiento matemático de los diferentes componentes del ciclo hidrológico en las comunidades vegetales, como la interceptación, la lluvia efectiva, la escorrentía y la percolación, han sido estudiados en las condiciones subtropicales y tropicales por diversos autores, entre los cuales se pueden citar

a Lean y Rowntree (16), Mabberley (18), Ritchey *et al.*(22), Rutter (23), Waring y Schlesinger (30).

Clarke (3), realizó un estudio crítico sobre las medidas de la interceptación de la lluvia en los bosques tropicales, basado en información de Asia, Africa, América Central y Suramérica; éste autor encontró que los patrones no son muy consistentes y se requiere una mayor investigación sobre el tema.

Diferentes investigadores (4,12,13,15,20), han encontrado que la conversión de un bosque en un cultivo intensivo produce alteraciones en el suelo y en el microclima en los siguientes aspectos:

En el ciclo hidrológico.

- Disminución de la interceptación por la vegetación.
- Disminución en la retención y en el movimiento del agua en el suelo.
- Disminución en la toma de agua por las plantas en el subsuelo en profundidades mayores de 50cm.
- Incremento en la escorrentía.

En el microclima.

- Incremento en la amplitud de la temperatura.
- Disminución en la humedad relativa.
- Incremento en la radiación incidente en la superficie del suelo.

En el balance de energía.

- Incremento en la fluctuación de la temperatura del suelo.

- Cambio en la capacidad calórica del suelo.

En el nivel de nutrimentos.

- Disminución de la materia orgánica.
- Disminución en el nivel de bases.
- Disminución en el reciclaje de nutrimentos.

Modificaciones en la flora y en la fauna del suelo.

- Disminución de la actividad biológica (macro y microorganismos), especialmente lombrices.
- Cambios de vegetación de plantas de hoja ancha a pastos, y de plantas perennes a plantas anuales.

La interceptación de la lluvia en árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) depende del estado fenológico de la planta y de las condiciones climáticas; la interceptación en el cultivo varía entre el 13% y el 27% (9). Dickinson y Henderson-Sellers (5) consideran que el principal impacto al cambiar la selva amazónica por pastos consistiría en una disminución en la rugosidad aerodinámica de la vegetación, en la cobertura vegetal, en la sensibilidad de los estomas a la radiación visible y en la profundidad total del suelo; en segundo lugar, un incremento en la escorrentía, en el albedo de la vegetación y en la densidad relativa de raíces en la capa superior.

Trojer (28) realizó estudios en Cenicafé sobre la precipitación incidente en la parte superior de los cafetos bajo sombrío y debajo de los cafetos y los relacionó con la lluvia registrada en la estación climática, hallando diferencias en las cantidades observadas. Para Jaramillo y Chaves (11) un buen 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. Lo anterior lo explican debido a la intensidad de la lluvia y los cambios en la cobertura vegetal.

Franken *et al.* (6), en estudios realizados en la selva amazónica cerca de Manaus, Brasil, encontraron una interceptación media de 25%, transpiración de las plantas del 50% y escorrentía del 25%, como porcentaje de la lluvia incidente. Un 75% de la lluvia regresa a la atmósfera como evapotranspiración. Resultados similares encontró Salati (24) en sus estudios sobre el ciclo hidrológico de la Amazonía. Raich (21), considera que el conocimiento de los flujos de agua es definitivo para comprender cómo funcionan los ecosistemas, ya que el escurrimiento en los bosques húmedos tropicales es altamente variable tanto de aguacero a aguacero, como de punto a punto.

Una revisión de literatura completa sobre los diferentes aspectos hidrológicos en los bosques tropicales húmedos y los efectos que ocurren, la realizaron Bruijnzeel (1) y Bruijnzeel *et al.*(2); en ella se presentan aspectos sobre el ciclo hidrológico, balance de nutrimentos, impacto de la deforestación y la reforestación. En las condiciones de Colombia, Sicard y Suarez (26) y Veneklaas (29), estudiaron los efectos de bosques altos de la zona Andina y de plantaciones de eucaliptos y pinos, sobre el ciclo hidrológico y de los nutrimentos en estos ecosistemas.

Esta investigación permitió conocer en un bosque y en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío de guamo (*Inga* sp), las variaciones en los componentes del ciclo hidrológico como la lluvia efectiva, la interceptación por la vegetación, la escorrentía y la humedad en el suelo, para las condiciones de Cenicafé.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Las medidas se realizaron en la Sede Central de Cenicafé, localizada a 05° 00' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y 1.425 m de altitud, con las siguientes características anuales de clima: lluvia 2.530mm; evaporación 1300mm, temperatura media 20,0°C, temperatura máxima 26,8°C y mínima 15,8°C; brillo solar 1.830 horas y 78% de humedad relativa.(7).

Area experimental. Se utilizaron tres parcelas próximas a la sede principal de Cenicafé. Un área de reserva natural, conformada por un bosque húmedo multiestrato con intervención del hombre, una parcela de café variedad Caturra bajo sombrío de guamo (*Inga* sp), con una distancia de siembra de 2,0m entre surcos y 1,0m entre plantas, y una parcela de café variedad Colombia a libre exposición solar, con una distancia de siembra de 2,0m entre surcos y 1,0m entre plantas.

Características de los suelos. Las tres parcelas estaban ubicadas en suelos de las mismas características: un complejo de ceniza volcánica, de textura franco-arenosa y franco-arcillo-arenosa, con densidad aparente entre 0,82 y 1,1g.cm³, hasta los 40cm de profundidad.

Medidas del ciclo hidrológico. En cada una de las áreas del estudio se midió la lluvia que ingresa al ecosistema con un pluviógrafo tipo Hellman de registro diario, localizado en la estación climática próxima.

Lluvia efectiva. La cantidad de agua lluvia que pasa a través de la vegetación incidiendo en la superficie del suelo se determinó, para cada parcela experimental, mediante 20 pluviómetros de vidrio con una área de captación de 24cm² dispuestos en una malla de 4x5 pluviómetros, distanciados uno del otro 10 metros. Conocida la lluvia que ingresaba a la parte

externa y la captada por el lavado foliar, se determinó la interceptación de agua por la vegetación; el agua interceptada regresó a la atmósfera por evaporación.

Escurrimiento superficial. La escorrentía se midió en predios con un área de captación de 4,0m². Cada predio de escorrentía estaba delimitado por placas metálicas.

Humedad en el suelo. La tensión y la humedad volumétrica en el suelo se determinaron mediante tensiómetros de mercurio y la técnica de reflectometría (Time Domain Reflectometry), para las profundidades de 20 y 40cm.

Las medidas en los pluviómetros que captaban el agua de escurrimiento foliar y en los predios de escorrentía se efectuaron después de cada día lluvioso. En la estación climática próxima se registraron todos los elementos climáticos diariamente; en total se registraron 150 días de lluvia observados en los años de 1997 y 1998. Para el cálculo de las relaciones matemáticas se utilizó el procedimiento NLIN del programa SAS versión 6.12.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para Bruijnzeel (1), Clarke (3), Lloyd y Marques (17), Raich (21) y Trojer (28), 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 20m, situación explicable por factores propios de la cubierta vegetal como el índice de área foliar, la estructura y densidad de las plantas y las características de la lluvia en cuanto a cantidad e intensidad.

La variabilidad encontrada en las cantidades de lluvia registradas en los pluviómetros debajo de los árboles es alta y no existe una correlación estadística entre dos puntos de observación próximos; se observó que de la lluvia registrada dentro de las comunidades vegetales, entre el 11 y 17 % es superior a la observada en la estación climática próxima, debido a la concentración de la lluvia (11).

La interceptación es la proporción de la lluvia retenida por la parte aérea de la planta e hidrológicamente, es agua que retorna a la atmósfera por evaporación. Los valores máximos de lluvia interceptada (asíntota máxima) se presentaron en el bosque (53,7mm) y en cafetales bajo sombrío de guamo (60,3mm), explicables por presentar mayores coberturas en la parte aérea; el cafetal a libre exposición solar presenta un valor máximo de 45,1mm (Figura 1).

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 (9, 10,14). Las observaciones demuestran que no se puede considerar un porcentaje promedio fijo en la interceptación de la lluvia por la vegetación, ya que la lluvia interceptada depende de la cantidad incidente, la intensidad de la lluvia, la distribución y densidad de la parte aérea de la vegetación, condiciones que modifican las tasas de interceptación de la lluvia.

Las relaciones de tipo lineal no explican el comportamiento real de los componentes del ciclo hidrológico; una buena explicación se logra con expresiones de tipo logístico (Verhuist), las cuales representan de una manera más ajustada el proceso físico, generando un valor máximo (asíntota), un parámetro de forma y una tasa de cambio.

Las funciones que relacionan la interceptación con la precipitación incidente deben ser

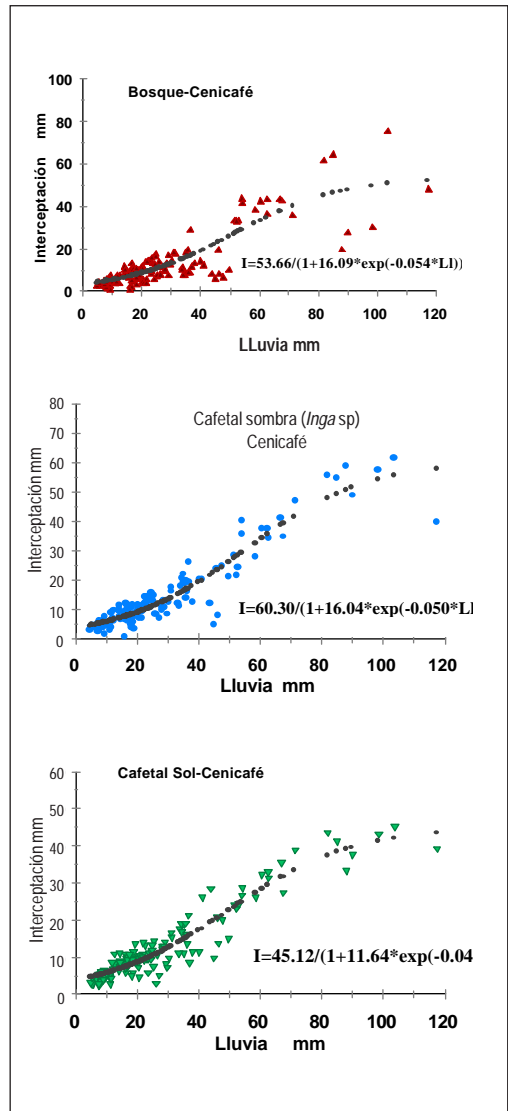


Figura 1. Relación entre la lluvia interceptada por diferentes tipos de vegetación y la lluvia externa en tres ecosistemas.

incorporadas en los cálculos del balance hídrico cuando se consideren dentro de cafetales a libre exposición solar y bajo sombra.

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.

La lluvia efectiva se refiere a la proporción de agua lluvia que ingresa a la superficie del suelo, parte de la cual se transforma en escorrentía y en percolación, en la Figura 2 se presentan las relaciones entre la lluvia efectiva y la lluvia externa que ingresa al sistema para la condición de un bosque, un cafetal bajo sombrío de guamo (*Inga sp*) y a libre exposición solar. Las relaciones son de tipo logístico con valores máximos (asíntota) y tasas variables de interceptación según la cobertura y la intensidad de la lluvia. A menor cantidad de follaje son mayores los valores de la lluvia efectiva, lo cual explicaría un mayor valor de la asíntota para cafetales a libre exposición (69,1mm); después siguen en su orden el bosque (61,0mm) y el cafetal bajo sombrío (45,1mm).

El comportamiento de las tres coberturas es similar hasta un límite próximo a 50mm de lluvia externa. A partir de este valor se visualiza la influencia de la cobertura sobre la lluvia efectiva.

La escorrentía es la proporción de la lluvia que se mueve sobre la superficie del terreno; las diferencias en su valor máximo no son apreciables para las tres coberturas y mostraron valores de 4,5mm en el bosque, 4,8mm en el cafetal bajo sombrío y 5,2mm en el cafetal a libre exposición solar (Figura 3).

La percolación es la proporción de agua lluvia que ingresa al perfil del suelo, resultando una parte retenida por el suelo y otra parte sale del sistema por infiltración (drenaje profundo). Los valores máximos de la percolación presentan diferencias entre la condición de cafetal bajo sombra de guamo (27,1mm) y el cafetal a libre exposición (34,2mm); el bosque presenta un valor de 28,9mm (Figura 4). Para las

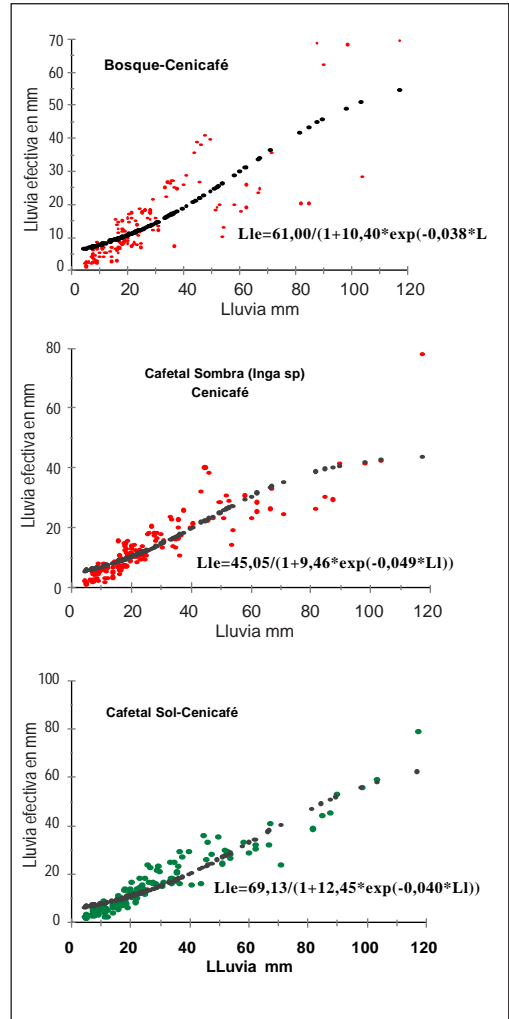


Figura 2. Relación entre la lluvia que ingresa al suelo (lluvia efectiva) y la lluvia externa, para diferentes coberturas vegetales.

condiciones de Cenicafé, Suarez de Castro y Rodríguez (27), midieron en lisímetros monolíticos la escorrentía y la percolación para suelo sin vegetación, suelo con cobertura viva de añil rastrero y suelo con cobertura muerta.

El comportamiento de la humedad volumétrica en el suelo de un cafetal a libre

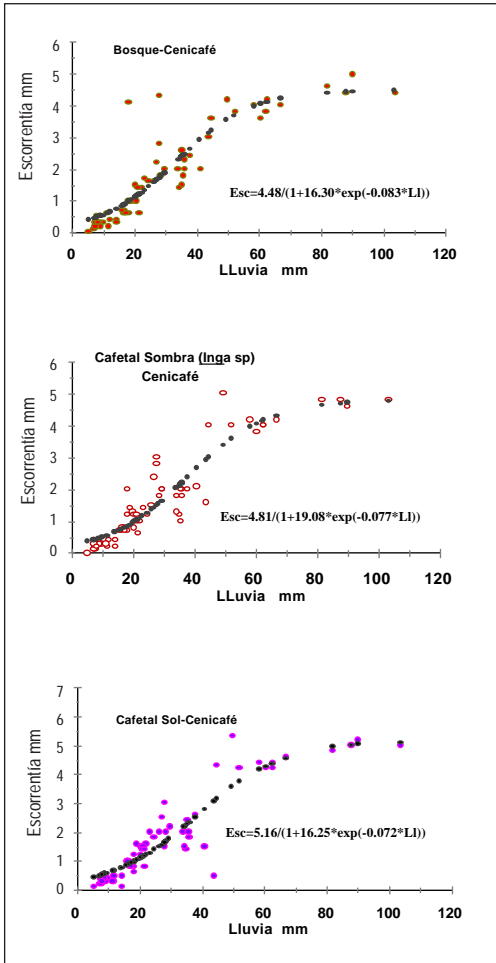


Figura 3. Relación entre la escorrentía medida en predios en diferentes coberturas vegetales y la lluvia externa.

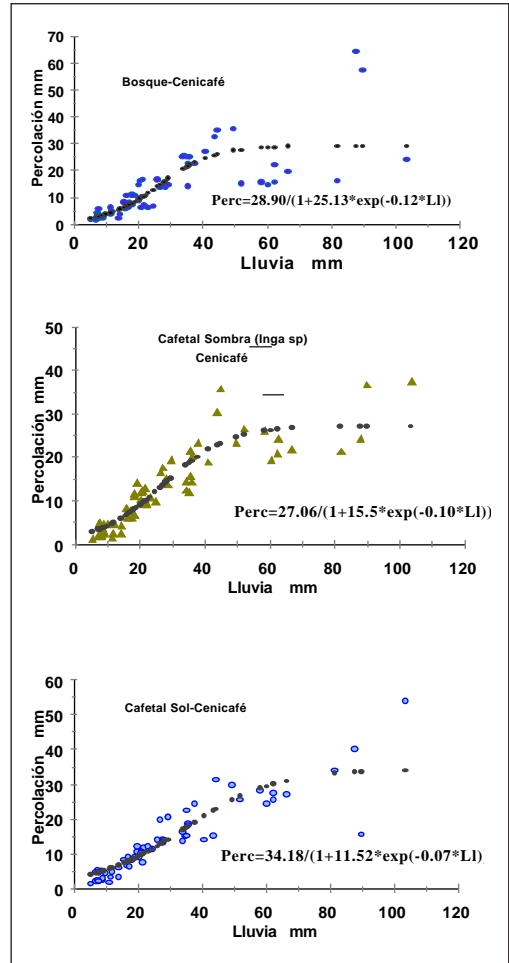


Figura 4. Relación entre la percolación y la lluvia externa para diferentes coberturas vegetales.

exposición solar y un cafetal bajo sombrío a las profundidades de 20 y 40cm se presenta en la Figura 5 y representa lo ocurrido durante el evento cálido del Pacífico 1997-98, el más fuerte de los últimos 50 años. Se observa claramente que en el suelo del cafetal bajo sombrío, con un mayor horizonte orgánico, no se presentó deficiencia de agua durante los períodos críticos de julio-agosto-septiembre de 1997 y diciembre-abril de 1998, mientras que, a las dos profundidades (20 y 40cm), ocurrieron deficiencias severas para el cafetal a libre exposi-

ción solar; este suelo presenta un horizonte orgánico muy deteriorado.

Las expresiones de cálculo presentadas en el presente estudio permiten estimar los valores de la interceptación, lluvia efectiva, escorrentía y percolación, conociendo la lluvia externa que incide sobre la vegetación. Se obtiene así una aproximación más ajustada a la realidad de la influencia que ejerce la cobertura vegetal en la redistribución del agua lluvia en los diferentes componentes del ciclo hidrológico.

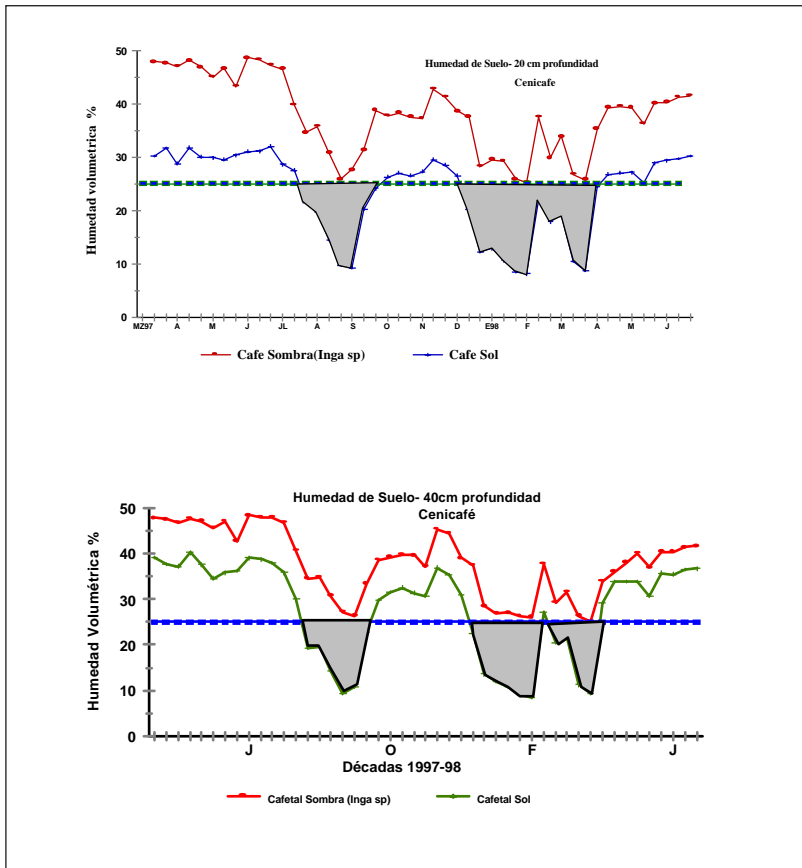


Figura 5. Comportamiento de la humedad volumétrica del suelo a 20 y 40cm de profundidad medida con Time Domain Reflectometry (TDR), en dos coberturas vegetales.

LITERATURA CITADA

- 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.; WATERLOO, M.J.; PROCTOR, J.; KUITERS, A.T.; KOTTERLINK, B. Hydrological observations in montane rain forest on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "massenerhebung" effect. *Journal of Ecology* 81 (1): 145-167. 1993.
- CLARKE, R.T. The interception process in tropical rain forests: A literature review and critique. *Acta Amazónica* 16/17: 225-238. 1986/87.
- COLMAN, E.A. Vegetation and watershed management. New York, The Ronald Press Company. 1953. 412p.
- DICKINSON, R.E.; HENDERSON-SELLERS, A. Modelling tropical deforestation: A study of GCM land-surface parametrization. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society* 114: 439-462. 1988.
- FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.S. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. *Acta Amazónica* 12: 15-22. 1992.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, CENICAFÉ. *Disciplina de Agroclimatología. Archivos de información climática 1950 a 1998.* Chinchiná, Cenicafé, 1998.

8. GRIMM, U.; FASSBENDER, H. W. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes occidentales de Venezuela.III. Ciclos hidrológicos y translocación de elementos químicos con el agua. Turrialba 31: 89-99. 1981.
9. HOPKINS, B. Vegetation of the Olokemeji forest reserve, Nigeria. III.Microclimates with special reference to their seasonal changes. Journal of Ecology 53:125-138.1965.
10. IMBACH, A.C.; FASSBENDER, H.W.; BEER, J. ; BOREL, R.; BONNEMANN, A. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica L.*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. VI. Balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos.Turrialba 39 (3): 400-414. 1989.
11. JARAMILLOR.,A.;CHAVES.,B. Interceptación de la lluvia en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabicaL.*). Cenicafé 49(2):125-139.1998.
12. JETTEN, V.G. Interception of tropical rain forest-performance of a canopy water balance model. Hydrological Processes 10(5): 671-685. 1996.
13. KITTREDGE, J. Forest influences.New York, McGraw-Hill Book Company, 1948. 349p. (The American Forestry Series)
14. KLAASSEN, W.; LANKREIJER, H.J.M.; VEEN, A.W.L. Rainfall interception near a forest edge. Journal of Hydrology 185 (1-4): 349-361.1996.
15. LAL, R. Soil degradation and conversion of tropical rainforest. *In*: BOTKIN, D.B.; CASWELL, M.F.; ESTES J.E.;ORIO, A.A. Changing the global environment, perspectives on human involvement. Boston, Academic Press. 1989. p.137-154.
16. LEAN, J.; ROWNTREE, P.R. A GCM simulation of the impact of amazonian deforestation on climate using an improved canopy representation. Quarterly Journal Royal Meteorological Society 119 (511): 509-530. 1993.
17. LLOYD, C.R.; MARQUES, A. de O. Spatial variability of throughfall and Stemflow measurements in amazonian rainforest. Agricultural and Forest Meteorology 42(1): 63-73. 1988.
18. MABBERLEY, D.J. Tropical rain forest ecology. London. Blackie Academy and Professional. 1992. 300p.
19. MIRANDA, R.A.C. Interceptacao da chuva por cacauzeiros no sudeste da Bahia. Revista Theobroma 17(4): 251-259. 1987.
20. PRICE, N.W. A comparison of water balance components in natural and plantation forest in El Salvador, Central America. Turrialba 32 (4): 399-416. 1982.
21. RAICH, J.W. Throughfall and stem flow in mature and year-old wet tropical forest. Tropical Ecology 24(2): 234-243. 1983.
22. RITCHEY, J.E.; NOBRE, C.; DESER, C. Amazonan river discharge and climate variability; 1963-1985. Science 246: 101-103. 1989.
23. RUTTER, A.J. The hydrological cycle in vegetation. *In*: MONTEITH, J.L. (Ed) Vegetation and the atmosphere. Vol I. New York, Academic Press 1975. p.111- 154.
24. SALATI, E. The forest and the hydrological cycle. *In*: DICKINSON, R.E. (Ed) The Geophysiology of Amazonia. New York. Wiley. 1987. p. 273-296.1987.
25. SHUBART, H.O.R. Ecologia e utilizacao das florestas. *In*: SALATI, E. *et al.* (Eds). Amazonia; Desenvolvimento, integracao e ecologia. CNPq - Editora Brasiliensis S.A. Sao Paulo. p.101-143. 1983.
26. SICARD L.T.;SUAREZ C, A. Efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua. Santafé de Bogotá, CONIF-BIRD-Ministerio del Medio Ambiente. 1998. 158p. (Serie Técnica No 40)
27. SUAREZ DE CASTRO, F.; RODRIGUEZ G., A. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Bogotá, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1962. 473p.
28. TROJER, H. Distribución y características de la precipitación en un cafetal bajo sombrero. Cenicafé 6(67): 256-264. 1955.
29. VENEKLAAS, E. Rainfall interception and aboveground nutrient fluxes in Colombian montane tropical rain forest. Utrecht, University of Utrecht. 1990. 105 p. (Thesis: Ph.D.).
30. WARING, R.H.; SCHLESINGER W.H. Forest ecosystems; concepts and management. San Diego. Academy Press, 1985. 340 p.