

LA LLUVIA Y EL TRANSPORTE DE NUTRIMENTOS DENTRO DE ECOSISTEMAS DE BOSQUE Y CAFETALES

Álvaro Jaramillo-Robledo*

RESUMEN

Se presentan la redistribución de la lluvia y el transporte de nutrientes en un bosque y en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío de guamo (*Inga* sp), nogal (*Cordia alliodora*), pino (*Pinus oocarpa*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Se encontró que los niveles de interceptación varían entre el 46 y el 59%, con un valor medio del 54% que son altos cuando se comparan con otros reportados en la literatura. La cantidad de agua que llega a la superficie del suelo registró un valor medio del 46% con valores que varían entre el 41 y 54%. Los niveles de percolación son del orden del 40% (varió entre el 36 y el 48%) del total de la lluvia, siendo un valor alto y de tener en cuenta en el lavado de nutrientes y de contaminantes a través del perfil del suelo. La escorrentía varía entre el 4% y 8% con un valor medio del 6% del total de la lluvia. Las cantidades de agua almacenada en la parte aérea de los diferentes ecosistemas varían entre 0,33 y 1,07 mm. El potasio es el elemento que en mayor cantidad ingresa al suelo en el agua de lavado foliar, siguiendo en orden descendente el calcio y el magnesio. Las cantidades de nutrientes que se mueven en el agua de escorrentía son comparativamente bajas debido a que esta componente solo representa alrededor del 6% de la lluvia total.

Palabras claves: Balance hídrico, *Coffea arabica*, *Inga* sp, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus grandis*, interceptación, escorrentía, percolación, nutrientes.

ABSTRACT

For the localities of Cenicafé-Chinchiná and Paraguaicito-Quindío, Colombia the different components of the hydrological cycle and the transport of nutrients in a forest and coffee plantations from sunlight coffee and shade coffee from guamo (*Inga* sp), nogal (*Cordia alliodora*), pine (*Pinus oocarpa*) and eucalyptus (*Eucalyptus grandis*). The interception levels vary between the 46 and 59%, with an average value of 54% these values are high when they are compared with reported others in literature. The amount of water that arrives at the surface of the ground registered an average value of 46% with values that vary between 41 and 54%. The percolation levels are of the order of 40% (it varied between the 36 and 48%) of the total of rain, being a high value and of considering in the washing of nutrients and polluting agents through the profile of the ground. The run-off varies between 4% and 8% with an average value of 6% of the total of rain. The amounts of water stored in the aerial part of the different ecosystems, they vary between 0,33 and 1,07 mm. The potassium is the element that in greater amount enters the ground in the, following in descendent order calcium and magnesium. The amounts of nutrients that move in the run-off water are comparativly low because this single component represents the 6% of total rain.

Key words: Hydrological cycle, *Coffea arabica*, *Inga* sp, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus grandis*, interception, run-off, percolation, nutrients.

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

Los cambios en la cobertura vegetal conducen a modificaciones en los componentes de los balances de radiación solar y de energía, hídrico y de nutrientes (2). En los ecosistemas terrestres y especialmente los situados en las regiones húmedas los flujos de nutrientes (potasio, calcio, magnesio, entre otros) y su reciclaje, están íntimamente ligados a la redistribución de la lluvia dentro de ellos (23).

Las interrelaciones entre la lluvia y los agroecosistemas se inician en el momento que la lluvia alcanza la superficie vegetal. Al analizar el ciclo hidrológico dentro de una comunidad vegetal, la cantidad de lluvia que es retenida en la parte aérea de la planta se denomina agua interceptada o interceptación. Ésta, se evapora y no llega al suelo; el agua que llega a la superficie del suelo después de pasar por el follaje se conoce como agua de lavado foliar con implicaciones importantes en el transporte de los nutrientes desde la parte aérea de la planta hasta la superficie del suelo; del agua incidente en el suelo se fracciona en agua de escorrentía, percolación y agua retenida por el suelo; diferentes autores (10, 13, 17, 29) presentan medidas de estos componentes en distintas condiciones del bosque húmedo tropical.

De acuerdo con Pereira, citado por Salas (30), la interceptación de la lluvia por la vegetación es función de la intensidad de la lluvia; las lluvias leves con tamaño de gota pequeña 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.

La interceptación en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*) presenta valores que

fluctúan entre el 13 y 27% del total de la lluvia, porcentajes que están en función del estado fenológico de la planta y de las características de la lluvia (26). En observaciones hidrológicas realizadas en la selva amazónica por Franken *et al.*, (10), se encontró una interceptación media de 25%, una transpiración del 50% y una escorrentía del 25%.

Al estudiar la lluvia en la selva amazónica, Lloyd y Marques (24), encontraron una gran variabilidad dentro del ecosistema y sugieren que una disminución en el error de la medida se logra localizando los pluviómetros en línea y en sitios diferentes dentro del bosque; los valores de interceptación hallados representan el 91% de la lluvia total. Los valores de interceptación en los bosques tropicales de Malasia varían entre el 25% y el 80% (30).

Knops *et al.* (20), resaltan la acción que ejercen las epífitas en la interceptación del agua por parte del bosque y en el papel que tienen éstas en la dinámica de los nutrientes dentro del ecosistema. Veneklaas (35), en observaciones realizadas en Colombia, dentro de bosques localizados en dos altitudes (2.250m y 3.370m), encontró que los valores de interceptación variaron entre el 12% y 18%, que se explican por la presencia de epífitas que modifican las condiciones de almacenamiento en la parte aérea de la planta y a las características de la lluvia.

El agua retenida por la parte aérea de la planta está influenciada por la variabilidad de la vegetación, forma e inserción de las hojas, la duración de las lluvias (cantidad de lluvia, pérdida por evaporación de las hojas) y en menor proporción, por la turbulencia atmosférica. La estructura de una plantación perenne puede ser descrita en términos de la capacidad de almacenamiento de agua por el dosel, la cual es definida mediante un coeficiente de almacenamiento del dosel que

expresa la cantidad de agua foliar en este sin que ocurra evaporación, y cuando los aportes de lluvia efectiva se han detenido (19).

La cantidad de lluvia que escurre por los tallos es inferior al 1 ó 2% del total de la lluvia; este valor en la mayoría de los estudios es ignorado en los cálculos del balance hídrico de las plantaciones (3, 6, 18, 23).

Trojer (34), 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 10mm causan grandes diferencias en la distribución de las cantidades captadas dentro del cultivo debido a la formación de gotas, llegando a presentar cantidades que superan la lluvia externa.

Los ciclos de nutrientes en los bosques y en general, las áreas con vegetación incluyen un conjunto complejo de mecanismos de retroalimentación directos entre el suelo y las plantas. La superficie vegetal constituye un sistema abierto donde entran y salen elementos químicos de manera continua, ciclos que comúnmente se denominan biogeoquímicos (2, 23, 25).

Los nutrientes son transferidos inicialmente de las hojas y otras partes de la planta, y caen al suelo como hojarasca, donde son posteriormente lixiviados por la percolación del agua y descompuestos por los organismos. Una cantidad significativa de nutrientes es también movilizada desde las diferentes partes de la planta al suelo, con el paso de la precipitación a través del dosel del bosque. Mediante la hojarasca se transfieren elementos adicionales directamente a la reserva de nutrientes aprovechables sin la intervención de algún proceso de descomposición en el piso del bosque (7, 23).

Los nutrientes pueden lixiviarse de la hoja al interior del agua interceptada y

depositarse como sales en la superficie de éstas por la evaporación. Aunque casi siempre hay un incremento neto en la concentración de nutrientes en el lavado foliar, con relación a la precipitación original, aparentemente estos nutrientes pueden ser absorbidos por las hojas ó ser tomados por la microbiota presente en la superficie vegetal (7).

Para Mecklenburg y Tukey en 1964 y Attiwill en 1966, citados por Eaton *et al.*, (7), la concentración de elementos químicos lixiviados es mayor para lluvias de baja cantidad. Ésto, aparentemente, está en función del tiempo de permanencia del agua en la superficie de la hoja. Para un mismo período se observa una correlación negativa entre la cantidad de precipitación y la concentración de cada elemento en el agua del lavado foliar de dicho período.

Tukey, Mecklenburg y Morgan, citados por Eaton *et al.*, (7) indican que los nutrientes, en los tejidos jóvenes son, en su mayor parte, rápidamente metabolizados dentro de las células dificultando la lixiviación. Sin embargo, en tejidos viejos los nutrientes están en formas intercambiables y son lixiviados más fácilmente. Las hojas muy jóvenes, las cuales aparentemente son delicadas y frágiles, son menos susceptibles a la lixiviación que las hojas viejas. Hay mayor lixiviación de calcio para hojas amarillas, senescentes, que para las hojas verdes, resultado del incremento de la permeabilidad de la hoja.

Una dificultad en la cuantificación de la lixiviación para el dosel del bosque es la presencia de agentes contaminantes secos de la atmósfera. Algunos autores reconocen la posibilidad de que los aerosoles y el polvo puedan adherirse a las hojas, ramas y tallos, y de este modo añadir significativamente a la concentración química del lavado foliar y el escurrimiento por el tallo (7, 22).

La concentración de los diversos elementos es generalmente alta en las muestras del escurrimiento por el tallo, normalmente dependiente de la composición química de la lluvia y del lavado foliar. La lixiviación de la corteza de los árboles es un proceso complejo, que a menudo involucra grandes poblaciones de musgos, líquenes y microflora. El intercambio entre el escurrimiento por el tallo y estos organismos puede enmascarar las características de la lixiviación de la corteza (7).

Para Steinhart y Fassbender (32), que analizaron las características y la composición química de la lluvia en los Andes de Venezuela, el agua lluvia desempeña un papel importante de la transferencia de los elementos químicos de la biosfera.

Cavalier *et al.*, (4), cuantificaron el balance de agua y el ingreso de nutrimentos en el agua lluvia en un bosque tropical a 1.200m de altitud en Panamá; el estudio encontró una interceptación del 37,2% del total de la lluvia y además cuantifica pH, conductividad, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, sulfatos, calcio, cloro, magnesio, potasio, manganeso, hierro y silicio.

Veneklass (35), en un bosque tropical de montaña de Colombia (Santa Rosa de Cabal, Risaralda), estudió los flujos de nutrimentos de la lluvia y del escurrimiento foliar y observó que la composición de nutrimentos del agua lluvia es muy similar en dos altitudes, pero la concentración de los elementos (N, P, K, Na, Ca, Mg y S), fue mayor en el agua escurrida desde la vegetación; se observó absorción neta del fósforo por la superficie vegetal.

Parker, citado por Li *et al.*, (22) registra una disminución de las concentraciones de amonio y nitratos en el lavado foliar del dosel, comparado con la precipitación incidente; esto

se explica por la absorción de los nutrimentos por el follaje.

Imbach *et al.*, (14), estudiaron en cafetales asociados con nogal (*Cordia alliodora*) y poró (*Erythrina poeppigiana*), los balances hídricos y la lixiviación de los nutrimentos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; en los dos sistemas forestales se encontraron diferencias en las proporciones del agua interceptada y en las concentraciones de los elementos químicos.

En Cenicafé, Suárez de Castro y Rodríguez (33), estudiaron el balance hídrico utilizando lisímetros monolíticos con diferentes coberturas (cobertura muerta, cobertura viva con añil rastrero y sin cobertura), encontrando que las pérdidas de agua por percolación fueron mayores en el suelo sin cobertura. Estos autores también analizaron para el agua de escorrentía las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

En el presente estudio se obtuvo la cuantificación de los diferentes componentes del ciclo hidrológico y de nutrimentos transportados por el agua lluvia dentro de un bosque y en plantaciones de café a libre exposición solar y bajo diferentes sombríos: Guamo (*Inga* sp), nogal (*Cordia alliodora*), pino (*Pinus oocarpa*) y eucalipto (*Eucaliptus grandis*). Los resultados de éste estudio buscan contribuir al conocimiento de criterios técnicos para guiar al agricultor en el manejo del sombrío en cafetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización - condiciones de clima. Las medidas se realizaron en la sede principal del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Caldas y en la subestación de experimentación Paraguaicito, en el departamento del Quindío.

Cenicafé está localizado a 05° 01' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y 1.310m de altitud, con las siguientes características anuales de clima: lluvia 2.530mm; evaporación 1.300mm, temperatura media 20,0°C, temperatura máxima 26,8°C y temperatura mínima 15,8°C; brillo solar 1.830 horas y 78% de humedad relativa (9).

La subestación Paraguaicito en Quindío, está situada a 04°-23' latitud Norte, 75°-44' longitud Oeste y 1.250m de altitud; con valores anuales de lluvia de 2.100mm, evaporación de 1.324mm, temperatura media 21,3°C, temperatura máxima de 28,1°C, temperatura mínima 16,8° C, brillo solar de 1.720 horas y humedad relativa del 77% (9).

Condiciones de suelo. En la Tabla 1, se presentan algunas de las características físicas y químicas de los suelos donde se realizó el ensayo; son suelos de origen volcánico, clasificados taxonómicamente como Typic Melanudands.

Área experimental. Para Cenicafé las evaluaciones se realizaron en:

- Un área de reserva natural anexa a la sede principal de Cenicafé la cual comprende un bosque multiestrato, rastrojos y guaduales con intervención humana.
- Una parcela de café variedad Caturra a una distancia de siembra de 2,0m entre surcos 1,0m entre plantas y con sombrío de guamo (*Inga sp.*), a una distancia de siembra de 12,0 m x 12,0 m.

- 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. Las observaciones se realizaron entre agosto de 1996 y marzo de 2000.

- En Paraguaicito las parcelas experimentales utilizadas fueron:

- Una plantación de café variedad Colombia, a libre exposición solar con cafetos sembrados a 1,5m x 1,5m.

- Tres plantaciones de café de la variedad Colombia con sombríos de pino, nogal y eucalipto; el café sembrado a 1,5m x 1,5m y los árboles de sombrío a 6,0m x 6,0m . El período de observación estuvo comprendido entre marzo de 1998 y diciembre de 2001.

Aspectos hidrológicos. La metodología empleada para la medida de los componentes del ciclo hidrológico se describió en estudios anteriores realizados en Cenicafé (3, 15, 16).

En cada una de las parcelas de estudio, se cuantificó:

- La lluvia que ingresa al ecosistema, con un pluviógrafo, tipo Hellman de registro diario, localizado en la estación climática situada a una distancia inferior a los 300 metros de las parcelas experimentales.
- La cantidad de agua lluvia que pasa a través de la vegetación e incide en la superficie del suelo, se determinó mediante 20

Tabla 1. Características físicas y químicas de los suelos de Cenicafé y Paraguaicito

	Textura	D a g.cm ⁻³	pH	MO %	K	Ca cmol _c kg ⁻¹	Mg
Cenicafé	Franco-Arenoso	0,84	5,5	8,3	0,31	4,00	1,10
Sub. Paraguaicito	Franco-Arenoso	0,75	5,6	d2	1,10	3,46	0,73

pluviómetros de vidrio con un área de captación de 24cm², situados en cada una de las parcelas y colocados debajo de los árboles dispuestos en un malla de 4 x 5 pluviómetros, distanciados 3 metros uno del otro.

- La interceptación o cantidad de agua que se retiene en la parte aérea del cultivo se estimó por la diferencia entre la lluvia que incide en la parte externa y la captada en la superficie del suelo debajo de los árboles. El agua interceptada regresa a la atmósfera por evaporación.

- La escorrentía se midió por medio de un predios de escorrentía colocado en cada parcela, con un área de captación de 4,0m². Cada predio fue delimitado por placas metálicas.

- La percolación o agua que ingresa al perfil del suelo se estima por la diferencia entre la lluvia que incide en el suelo del cultivo y la cantidad de agua de escorrentía.

- La capacidad de almacenamiento de agua por la parte aérea o cantidad de agua que se requiere para humedecer todo el dosel antes de que el agua empiece a escurrir a la superficie del suelo, se estimó para cada parcela conociendo el intercepto de la ecuación de

regresión lineal cuando se relaciona la cantidad de lluvia interceptada con la lluvia externa para aguaceros individuales.

Análisis químico. Para los análisis químicos del agua lluvia, lavado foliar y escorrentía, se emplearon los siguientes instrumentos y metodologías: pH que se determinó por el método potenciométrico. El potasio, calcio, magnesio por espectrofotometría de absorción atómica y los nitratos por el método HACH, con espectrofotómetro.

La cantidad de nutrimentos que entran al agroecosistema se calcula multiplicando el total de la lluvia caída en un período dado por las correspondientes concentraciones de cada nutrimento.

Los muestreos de agua para el análisis químico se realizaron cada mes después de un día de lluvia. Los muestreos/parcela fueron 32 para Cenicafé y 16 en Paraguaicito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspectos hidrológicos. La distribución de la lluvia dentro de los cafetales expresada en porcentaje se presenta en la Tabla 2. Estos

Tabla 2. Componentes del ciclo hidrológico (%) para cafetales a libre exposición solar y bajo diferentes árboles de sombrío.

Cobertura	Interceptación	Lluvia efectiva	Escorrentía	Percolación*
Café sol -CEN-	46	54	6	48
Café sol -PAR-	49	51	6	46
Café + guamo	58	42	4	38
Café + nogal	56	44	8	36
Café + pino	52	48	7	41
Café+ eucalipto	51	49	8	41
Bosque	59	41	5	36
Media	53	47	6	41

*Percolación=Lluvia efectiva - Escorrentía

porcentajes se estimaron calculando los coeficientes de regresión lineal al relacionar cada componente hidrológico (interceptación, lluvia efectiva, percolación y escorrentía), con la lluvia incidente en la parte externa (100%). Para Cenicafé y Paraguaicito se consideraron un total de 218 y 100 días de lluvia, respectivamente.

En general, se observa que para los cafetales bajo sombrío la mayor proporción de la lluvia externa se retiene en la parte aérea del cultivo con un valor medio de 53%. El mayor porcentaje de lluvia interceptada ocurre en las plantaciones de café con sombrío de guamo y nogal con valores de 58 y 56%, respectivamente. Una menor proporción se observa en los cafetales con pino y eucalipto.

Del total de la lluvia externa solamente un 47% llega a la superficie del suelo (lluvia efectiva o precipitación neta) de la cual 6% es agua de escorrentía y 41% ingresa al perfil del suelo.

Los altos valores de la interceptación de la lluvia encontrados se explicarían por la alta densidad de siembra de los cafetos, sumada a la asociación con los árboles de sombrío. En el caso de los cafetales bajo sombra la interceptación se debe a la suma de la lluvia retenida por la sombra y la captada por los cafetos. Los valores encontrados en este estudio están dentro de los rangos hallados en estudios anteriores (2, 5, 27, 31) en bosques húmedos para las condiciones tropicales de Brasil, Nigeria, Tailandia y Puerto Rico, en los cuales los valores de interceptación varían entre 3% y 63%, respectivamente. Las variaciones anteriores reflejan diferentes condiciones climáticas, distintas intensidades de la lluvia y la gran diversidad de estructura del bosque.

Los valores de interceptación se deben considerar en el manejo de las distancias de

siembra de los árboles de sombrío y de los cafetos, especialmente en regiones secas o en zonas con distribución de lluvia inadecuada, donde ocurren períodos de deficiencia de agua prolongados, ya que una cobertura densa del sombrío o del cafetal podría disminuir el agua disponible en el suelo para el desarrollo del cultivo; igualmente la gran proporción de agua que se infiltra puede ser significativa en regiones muy húmedas por el lavado de nutrientes o contaminantes a través del perfil del suelo.

En relación con las medidas de lluvia realizadas debajo de los árboles (lluvia efectiva, lluvia interna), se observó una gran variabilidad. Una proporción de las medidas presenta cantidades de lluvia superiores a las registradas en la parte externa a las parcelas con un valor promedio del 19,7%, con valores extremos que están entre un 11,8% en el bosque y un 26,5% en cafetales con eucalipto; la situación anterior estaría indicando la proporción de la lluvia que es concentrada por la parte aérea de cada agroecosistema (Tabla 3). Autores como Bruijnzeel (2), Clarke (5), Lloyd y Marques (24), Raich (28) y Trojer (34), encontraron una situación semejante en sus estudios.

La percolación presentó un valor medio de 41% de la lluvia externa; en regiones húmedas los volúmenes de agua de percolación representan una cantidad importante de agua que sale del sistema.

La escorrentía es la componente dentro del balance hídrico con menor proporción, con un valor promedio del 6%, con valores extremos del 8% en cafetales con sombríos de nogal y de eucalipto y 4% en cafetales con sombrío de guamo, comportamiento que podría ser explicado por las tasas altas de la infiltración de agua en el perfil del suelo y por presentar pendientes inferiores al 10% tanto en Cenicafé como en Paraguaicito.

La capacidad de almacenamiento de agua por la parte aérea en cada una de las parcelas experimentales se presenta en la Tabla 4.

Para las condiciones del ensayo, los valores de almacenamiento de agua por la parte aérea de la planta presentan diferencias entre un cafetal a libre exposición solar ($C=0,3$ mm) y los cafetales bajo sombrío. C varía entre 0,4mm para sombrío de pino y 2,2mm en el bosque. Los valores encontrados en el presente estudio están dentro de los valores publicados por otros autores, entre los cuales se pueden citar a Landsberg y Gower (21), para los cuales el almacenamiento de agua por el follaje es inferior a 1,0mm, con un rango de variación de 0,3 y 2,5mm. Estos autores citan algunos valores: bosque amazónico con $C= 0,74$ mm, *Pinus caribea* $C= 0,8$ mm, *Eucalyptus maculata* $C= 0,3$ mm. Para Rutter(29), los valores de almacenamiento del follaje normalmente varían entre 0,4 y 2,0mm, sin que se presente una diferenciación clara entre árboles y plantas

herbáceas. Lloyd *et al.*, (24), para bosques deciduos presentan un valor de almacenamiento del dosel de 0,80.

Aspectos químicos. Las cantidades de nutrimentos en $kg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, contenidos en el agua de lavado foliar y de escorrentía para las condiciones del ensayo se presentan en las Tablas 5 y 6. El número de muestras consideradas para Cenicafé fueron 32 y para Paraguaicito 18.

Las cantidades de nutrimentos que en promedio ingresan al suelo en el agua de lavado foliar (Tabla 5), en los ecosistemas analizados, presentan los siguientes valores ($kg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$): Potasio 85,4; calcio 41,1; magnesio 12,0; nitratos 21,9. El potasio es un elemento que incrementó su cantidad al pasar por la parte aérea en todos los ecosistemas analizados (anotados con +); las cantidades de potasio, calcio y magnesio son superiores a las observadas en las entradas de agua lluvia en los ecosistemas de bosque y del cafetal

Tabla 3. Proporción de lluvia efectiva con cantidades superiores a las registradas en la parte externa.

Cobertura	Porcentaje	Número observaciones
Cafetal + nogal	19,5	2.820
Cafetal + eucalipto	26,5	2.840
Cafetal + pino	26,2	2.840
Cafetal Sol	21,7	2.840
Cafetal + guamo	12,2	4.440
Bosque	11,8	4.440

Tabla 4. Capacidad de almacenamiento de agua por el dosel (C) en cafetales a libre exposición y cafetales con diferentes sombríos.

Agroecosistema	C(mm)	Observaciones
Bosque	2,2	218
Café Sol	0,3	218
Café + Guamo	0,9	218
Café + Pino	0,4	100
Café + Eucalipto	0,6	100
Café + Nogal	1,1	100

Tabla 5. Cantidades de nutrimentos en kg.ha⁻¹.año⁻¹, en el agua de lavado foliar en cafetales a libre exposición solar y bajo diferentes árboles de sombrero.

Cobertura	Potasio		Calcio		Magnesio		Nitratos		pH	
Café sol - CENICAFÉ	70,4	+	63,8	-	16,1	-	13,3	-	6,6	-
Café sol - PARAGUAICITO	70,2	+	15,8	-	5,9	-	27,5	-	6,5	-
Café + guamo	120,0	+	71,4	-	15,4	-	14,7	-	6,8	+
Café + nogal	99,1	+	28,0	+	11,3	+	39,4	+	6,6	-
Café + pino	49,4	+	8,7	-	2,9	-	25,9	-	6,4	-
Café + eucalipto	49,4	+	14,1	-	5,2	-	14,3	-	6,3	-
Bosque	127,4	+	85,8	+	27,0	+	18,1	-	6,8	+
Media	85,4		41,1		12,0 21,9				6,6	
Lluvia-PARAGUAICITO	9,9		27,9		8,6	36,0			6,7	
Lluvia-CENICAFÉ	13,3		75,0		19,5	32,5			6,7	

(+)(-) Cantidad del nutrimento, mayor o menor a la registrada en el agua lluvia que ingresa al ecosistema.

Tabla 6. Cantidades de nutrimentos en kg.ha⁻¹.año⁻¹, en el agua de escorrentía en cafetales a libre exposición solar y bajo diferentes árboles de sombrero.

Cobertura	Potasio	Calcio	Magnesio	Nitratos	pH
Café sol - CENICAFÉ	8,0	9,8	2,4	1,9	6,8
Café sol - PARAGUAICITO	7,5	2,7	0,6	3,3	6,1
Café + guamo	15,1	13,0	2,6	4,0	6,7
Café + nogal	13,5	7,6	2,7	3,9	6,7
Café + pino	7,3	2,8	0,5	4,0	6,1
Café + eucalipto	8,1	2,3	0,5	2,2	6,1
Bosque	17,4	5,4	8,5	3,5	6,8
Media	11,0	6,2	2,5	3,3	6,6

con sombrero de nogal. Las cantidades de nutrimentos en el agua de lavado foliar son comparables con las citadas por Veneklaas (35), en bosques tropicales de Puerto Rico, Jamaica, Nueva Guinea, Venezuela y dos localidades de Colombia con los siguientes valores en promedio (kg.ha⁻¹.año⁻¹): Potasio 79,0; calcio 20,6 y magnesio 9,0. Los valores obtenidos durante las observaciones del estudio también son comparables con los hallados en estudios realizados en Costa Rica, Nueva Guinea y Venezuela (8, 12, 14, 32).

En relación al pH en el agua de lavado foliar, éste presentó un valor medio de 6,6

para los ecosistemas en estudio; los valores más bajos se presentaron para la asociación del café con el eucalipto y el pino, con valores de pH de 6,3 y 6,4, respectivamente.

Las cantidades de nutrimentos que se movilizan en el agua de escorrentía se presentan en la Tabla 6, en la cual se observan como valores promedio 11,0kg.ha⁻¹.año⁻¹ para potasio, 6,2 para calcio; 2,5 para magnesio y 3,3 para nitratos. Estas cantidades son inferiores a las registradas en el agua de lavado foliar, situación explicable por los menores volúmenes de escorrentía registrados en los ecosistemas en estudio.

Los resultados muestran que las cantidades de potasio aumentan en el agua de lavado foliar en todos los agroecosistemas estudiados, cuando se comparan con las cantidades aportadas inicialmente por el agua lluvia, lo cual concuerda con lo expresado por Golley (11), quien en diferentes estudios encontró que el potasio se presenta en concentraciones hasta 10 veces mayor que la registrada en el agua lluvia que ingresa al ecosistema. Para las observaciones del presente estudio el potasio presentó como valor medio máximo de 9,6 veces superior al registrado en el agua lluvia. Para otros elementos como el calcio el aumento en el agua de lavado foliar con relación a la lluvia externa fue 1,5 veces mayor y para el magnesio 1,4 veces mayor.

En los resultados obtenidos se observan variaciones en las cantidades de los elementos químicos entre los diferentes sombríos, confirmando lo expresado por Beer *et al.*, (1), quienes manifiestan que muchos de los aspectos en el ciclo de los nutrimentos son directamente afectados al escoger las especies de sombrío, ya que las éstas difieren significativamente en la composición de biomasa.

LITERATURA CITADA

1. BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164. 1998.
2. BRUIJNZEEL, L.A. Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion; a state of knowledge review. Amsterdam, Unesco-University of Amsterdam. International Hydrological Programme-Free, 1990. 224 p.
3. CASTAÑO, C.A.; JARAMILLO R., A. Esguerramiento de agua y nutrimentos por el tallo de árboles de guamo (*Ingas* sp). Chinchiná, Cenicafe, 1999. 20 p.
4. CAVALIER, J.; JARAMILLO, M.; SOLIS, D.; LEON, D. Water balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panama. *Journal of Hydrology* 193(1-4): 83-96. 1997.
5. CLARKE, R.T. The interception process in tropical rain forest: A literature review and critique. *Acta Amazónica* 16-17: 225-238. 1987.
6. COLMAN, E.A. Vegetation and watershed management. New York, The Ronald Press Company, 1953. 412 p.
7. EATON, J.S.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H. Through fall and stem flow chemistry in a northern hardwood forest. *Journal of Ecology* 61(2): 495-508. 1973.
8. EDWARDS, P.J. Studies of mineral cycling in a mountain rain forest in New Guinea. V. Rates of cycling in through fall and litter fall. *Journal of Ecology* 70: 807-827. 1982.
9. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINA. COLOMBIA. Archivos de información climática. Chinchiná, Cenicafe, 1950-1994.
10. FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.S. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. *Acta Amazónica* 12: 5-22. 1992.
11. GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. *In*: Golley, F.B. (Ed.) Tropical rain forest ecosystems; structure and function. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1991. p. 137-156. (Ecosystem of the World 14A).
12. 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 en el agua. *Turrialba* 31: 89-99. 1981.
13. 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.
14. 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

- (*Erithrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. VI. Balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. Turrialba 39(3): 400-414. 1989.
15. JARAMILLOR, A.; CHÁVES C., B. Interceptación de la lluvia en un bosque y en plantaciones (*Coffea arabica* L). *Cenicafé* 49(2): 129-135. 1998.
 16. JARAMILLOR, 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.
 17. JETTEN, V.G. Interception of tropical rain forest performance of a canopy water balance model. *Hydrological Processes* 10(5): 671-685. 1996.
 18. KITTEDGE, J. Forest influences. The American Forestry Series. New York, McGraw-Hill Book Company. 1948. 349p.
 19. 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
 20. KNOPS, J.M.H.; NASH, T.H.; SCHLESINGER, W.H. The influence of epiphytic lichens on the nutrient cycling of an oak woodland. *Ecological Monographs* 66(2): 159-179. 1996.
 21. LANDSBERG, J.J.; GOWER, S.T. Applications of physiological ecology to forest management. San Diego, Academy Press, 1997. 354p.
 22. LI, Y.C.; ALVA, A.K.; CALVERT, D.V.; ZHANG, M. Chemical composition of through fall and stem flow from citrus canopies. *Journal of Plant Nutrition* 20(10): 1351-1360. 1997.
 23. LIKENS, G. E.; BORMANN, F.H. Biogeochemistry of a forested ecosystem. New York, Springer-Verlag, 1995. 159p.
 24. LLOYD, C.R.; MARQUES, A. DEO. Spatial variability of through fall and stem flow measurements in amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 42(1): 63-73. 1988.
 25. MABBERLEY, D.J. Tropical rain forest ecology. 2. ed. London, Blackie Academic and Professional, 1992. 300p.
 26. MIRANDA, R. A. C. DE. Interceptacao da chuva por cacaueiros no sudeste da Bahia. *Revista Theobroma* 17(4): 252-259. 1987.
 27. NAIR, P.K.R. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993. 499 p.
 28. RAICH, J.W. Through fall and stem flow in mature and year-old wet tropical forest. *Tropical Ecology* 24(2): 234-243. 1983.
 29. RUTTER, A.J. The hydrological cycle in vegetation and the atmosphere. Vol. I. Principles. New York, Academic Press, 1975. p. 11-154.
 30. SALAS, G. DELAS. Suelos y ecosistemas forestales; con énfasis en América Tropical. Turrialba, IICA, 1987. 450p.
 31. SCHELLEKENS, J.; SCATENA, F.N.; BRUIJNZEEL, L.A.; WICKEL, A.J. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. *Journal of Hydrology* 225: 168-184. 1999.
 32. STEINHART, U.; FASSBENDER, H.W. Características y composición química de las lluvias de los Andes occidentales de Venezuela. Turrialba 29: 175-182. 1979.
 33. SUAREZ DE CASTRO, F.; RODRIGUEZ G., A. Pérdidas por erosión de elementos nutritivos bajo diferentes cubiertas vegetales y con varias prácticas de conservación de suelos. *Boletín Técnico Cenicafé (Colombia)* 2(14):5-13. 1955.
 34. TROJER, H. Distribución y características de la precipitación en un cafetal bajo sombrío. *Cenicafé* 6(27): 256-264. 1955.
 35. VENEKLAAS, E. Rainfall interception and aboveground nutrient fluxes in Colombian, montane tropical rain forest. Utrecht, University of Utrecht, 1990. 105p.