

10 El Balance Hídrico



El ciclo hidrológico

El agua es una sustancia esencial para la vida. El agua forma parte de la estructura y el metabolismo de los seres vivos, es moderadora del clima, fuente de energía e interviene directa o indirectamente en numerosas actividades humanas.

La cantidad total de agua de la Tierra es constante y así ha permanecido por millones de años. El agua está distribuida en el océano, en la tierra y en la atmósfera.

El mayor depósito de agua es el océano con 97,41% del agua del planeta y un 2,59% permanece en los casquetes polares, glaciares y agua subterráneas, y el 0,014% compone los lagos, los ríos, la humedad del suelo y la de la atmósfera.

El ciclo hidrológico en una región está compuesto por entradas y salidas de agua de los sistemas, como la lluvia, la evaporación y

la transpiración (evapotranspiración), el agua interceptada por la parte aérea de la planta, la escorrentía y el agua almacenada en el suelo. La clase de cobertura de la superficie del suelo es determinante en la magnitud de cada uno de esos componentes (Figura 10.1). Las cantidades de agua redistribuidas en el sistema se pueden cuantificar mediante un proceso de cálculo similar a una contabilidad llamado comúnmente balance hídrico, el cual permite determinar para una localidad la duración y la magnitud de los períodos con excesos o déficit de agua.

En general, en la región Andina de Colombia los valores de precipitación anual son altos; sin embargo, hay regiones con limitaciones de agua en algunas épocas debido a una inadecuada distribución de las lluvias o por presentar alta evaporación, por lo cual la lluvia es insuficiente para suplir la demanda de agua.

Balance hídrico general en la zona cafetera de Colombia

La lluvia en la zona cafetera presenta una tendencia general a distribuirse en dos períodos secos y dos húmedos en el año. Los meses de exceso hídrico (con cantidades de precipitación superiores a la evapotranspiración) son abril - mayo y octubre - noviembre. En las regiones Norte, Sur y Oriente del país en general ocurre una sola estación húmeda en el año (Jaramillo, 1982, 1987, Trojer, 1954).

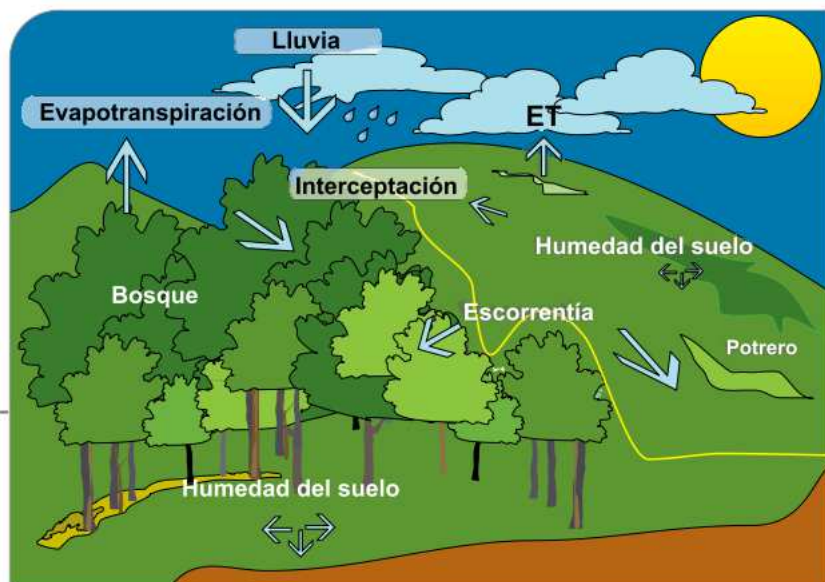


Figura 10.1
Esquema de un balance hídrico en una cuenca con cobertura de bosque y potrero.

En la región norte de la zona cafetera - latitudes mayores de 7° Norte- se presenta un período seco pronunciado de diciembre a marzo (o abril) y un período húmedo de mayo a noviembre, con una ligera disminución en julio.

En la región central - latitudes entre 3° y 7° Norte- ocurren dos períodos de exceso de humedad: marzo - junio y septiembre - diciembre, y dos períodos con menor humedad: enero - febrero y julio - agosto.

Tabla 10.1. Balance hídrico anual (mm) para algunas localidades de la zona cafetera de Colombia.

Estación	Lluvia	Evaporación potencial	Evaporación real	Exceso	Deficiencia
Pueblo Bello	2.033	1.388	1.172	897	216
F. Romero	2.760	1.388	1.368	1.392	20
Blonay	1.517	1.316	1.228	466	88
Bertha	2.009	1.203	1.172	853	31
Montelíbano	2.698	1.317	1.317	1.381	0
Mesita Sta Inés	1.556	1.316	1.219	337	97
Misiones	1.451	1.316	1.196	259	120
Tibacuy	1.102	1.251	1.048	64	203
Monterredondo	2.199	1.316	1.215	1.017	101
M. Valencia	2.133	1.248	1.246	887	2
El Rosario	2.571	1.237	1.233	1.338	4
Santágueda	2.189	1.388	1.385	804	3
Santa Ana	2.351	1.316	1.316	1.035	0
Cenicafé	2.529	1.316	1.316	1.213	0
Naranjal	2.711	1.294	1.294	1.417	0
Agronomía	1.894	1.107	1.104	790	3
R. Escobar	1.851	1.316	1.315	536	1
Llanadas	2.851	1.294	1.294	1.557	0
Santa Helena	3.923	1.282	1.282	2.641	0
El Jazmín	2.592	1.237	1.237	1.355	0
El Cedral	2.709	1.207	1.107	1.602	0
P. Tratamiento	2.593	1.282	1.282	1.311	0
Bremen	2.760	1.119	1.119	1.641	0
El Sena	2.394	1.248	1.229	1.165	19
La Bella	2.185	1.248	1.221	964	27
Paraguaicito	2.149	1.316	1.291	838	25
El Agrado	2.066	1.316	1.313	753	3
Albán	1.430	1.263	1.220	213	43
S. Gutiérrez	1.376	1.251	1.213	174	38
J. Fernández	1.067	1.268	1.092	3	176
M. Mallarino	1.764	1.294	1.280	484	14
La Selva	1.656	1.191	1.125	531	66
H. Uribe	2.046	1.248	1.244	802	4
A. Gómez	1.901	1.268	1.264	637	4
M. Mejía	2.009	1.203	1.126	883	77
La Florida	1.923	1.179	1.169	754	10
O. Pérez	1.440	1.203	1.114	326	89
Libano	2.323	1.248	1.248	1.075	0
Chapetón	2.082	1.316	1.314	768	2
El Limón	2.866	1.400	1.390	1.476	10
L. Bustamante	1.987	1.237	1.234	753	3
La Montaña	1.941	1.316	1.173	768	143
J. Villamil	1.319	1.251	1.197	122	54

Balance hídrico en las comunidades vegetales

Los primeros estudios sobre las características de la precipitación dentro de los cafetales los realizó Trojer, en 1955 en Cenicafé.

La parte aérea de la vegetación tiene la propiedad de actuar como barrera capaz de interceptar la precipitación, variando su efecto y distribución bajo el área que cubre (Figura 10.2). Una parte de la precipitación total en un ecosistema es retenida por las copas y tallos de los árboles (interceptación), y reintegrada a la atmósfera por evaporación. Del agua que alcanza la superficie del suelo (lluvia neta), una fracción proviene del goteo de las hojas, o pasa directamente a través de los espacios vacíos de la cobertura vegetal (precipitación directa); una pequeña cantidad de agua lluvia llega al suelo al escurrirse por la superficie de los tallos. De la lluvia neta, una parte se evapora directamente y otra corre superficialmente por el suelo (escorrentía), y dentro del perfil del suelo una es retenida como humedad de suelo y otra se mueve hacia capas más profundas (percolación). El agua también es absorbida por las raíces para ser liberada posteriormente de la planta como vapor de agua a la atmósfera, en el proceso de transpiración (Hanchi y Rapp, 1997).

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo se expresa como el volumen de agua contenida en un volumen de suelo hasta la profundidad de la zona de raíces y varía con las propiedades físicas como la textura, la estructura, la densidad aparente y el contenido de materia orgánica (Figura 10.3).

Las medidas de balance hídrico realizadas en Cenicafé con lisímetros muestran que la máxima evapotranspiración real se presenta cuando el suelo está cubierto con cobertura viva con valores alrededor de un 37% en relación con el volumen de la lluvia incidente; el menor valor se observa en suelos con cobertura muerta, con un valor del orden del

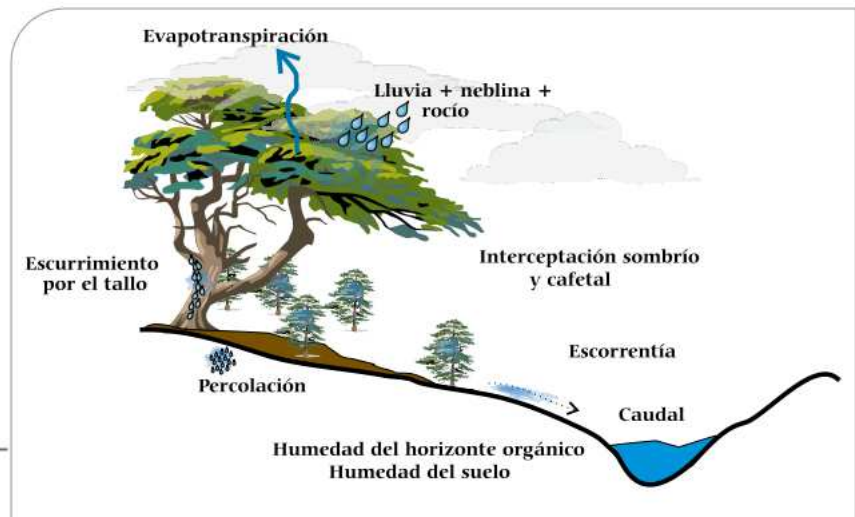


Figura 10.2.
Balance hídrico
en un cafetal bajo
sombri.

11%. Estos datos indican que la mejor manera de economizar agua en regiones secas o con períodos de deficiencia de agua acentuados se logra cubriendo el suelo con una cobertura muerta, lo cual se puede lograr cortando las arvenses al inicio del período seco (Figura 10.4).

Para otros cultivos o bosques se han observado resultados como los que se detallan a continuación: para las condiciones de Bahía - Brasil- la interceptación de la lluvia en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) varía 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 (Miranda, 1987). En observaciones realizadas en la selva amazónica por Franken *et al.*, 1992, se encontró una interceptación media de 25%, una transpiración del 50% y una escorrentía del 25%. Para Raich, 1983, la interceptación en la selva amazónica es del 91% y la alta variabilidad encontrada es explicable por variación en la intensidad de las lluvias y por la diversidad de la vegetación.

En condiciones de bosque húmedo tropical la lluvia interceptada varía entre un mínimo de 3% en Nigeria y un máximo de 63% en Tailandia. Esta variación refleja diversas condiciones climáticas, distintas intensidades de la lluvia y el gran cambio de la estructura del bosque. En la mayoría de estos estudios no se ha tenido en cuenta la alta variabilidad espacial que ocurre dentro del bosque (Clarke, 1987, Kittredge 1948, Klassen *et al.*, 1996).

Otros autores han encontrado que las proporciones de lluvia efectiva están entre el 97% para un bosque decíduo en Nigeria (Hopkins, 1965) y el 30% para un bosque de Nueva Guinea en la estación seca (Edwards, 1982). La cantidad de lluvia que escurre por los tallos es inferior al 2% del total de la lluvia.

Veneklaas, 1990, en observaciones realizadas en Colombia en dos altitudes en un bosque montano se encontraron interceptaciones de la lluvia entre el 12% y el 18%, atribuidas a la presencia de plantas epífitas que modifican las condiciones de almacenamiento en la parte aérea de la planta y a las características de la lluvia.

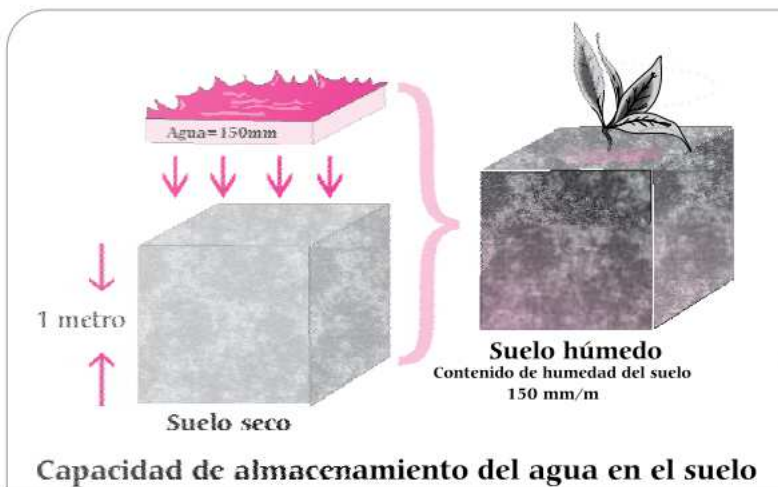


Figura 10.3. Esquema de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, para una profundidad y un contenido de humedad determinado.

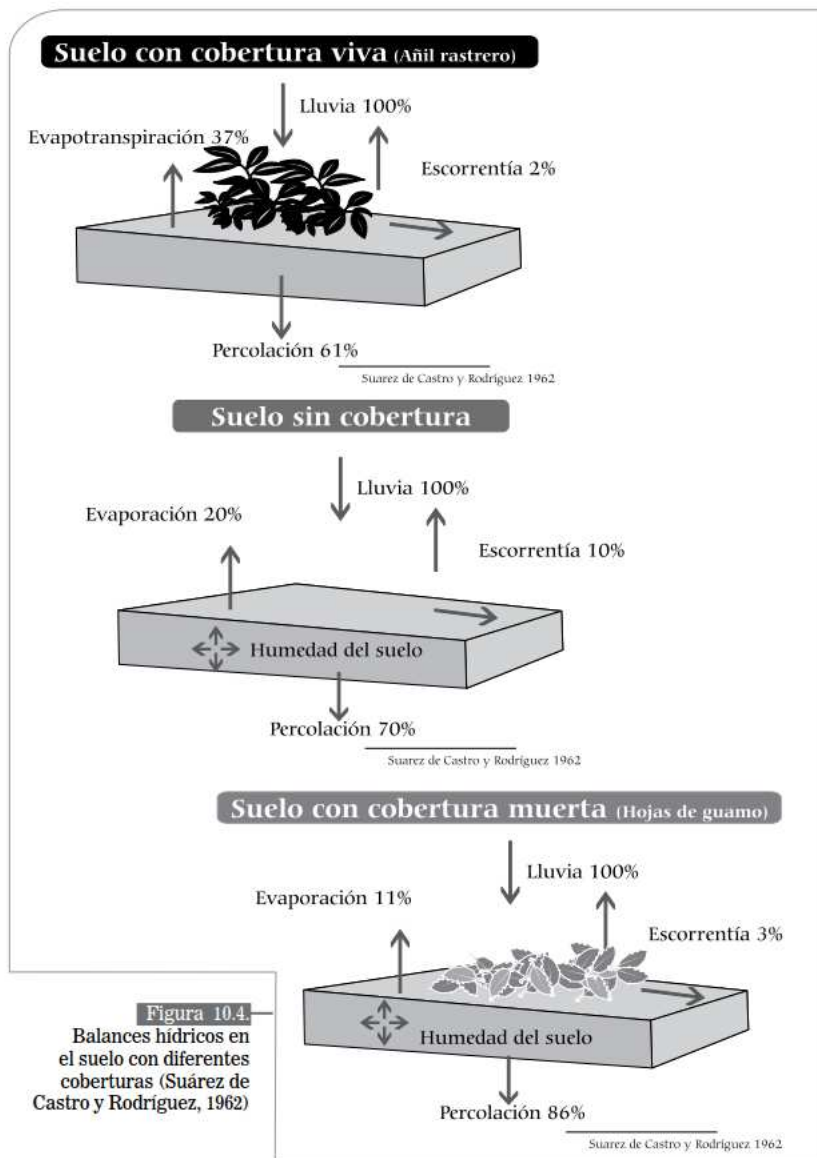


Figura 10.4.
Balances hídricos en el suelo con diferentes coberturas (Suárez de Castro y Rodríguez, 1962)

La cobertura vegetal, la textura del suelo, el contenido de materia orgánica y otros factores, influyen en la dinámica del agua en el suelo. En registros de humedad volumétrica del suelo en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío de guamo (*Inga sp*), como se observa en la Figura 10.5 se ve una clara diferencia debido a la cobertura. El sombrío tuvo un efecto notorio en la conservación del agua, especialmente en los periodos de una gran deficiencia de lluvia como cuando ocurre el Fenómeno de El Niño (como ejemplo, El Niño 1997-1998). Por el contrario, se han observado deficiencias severas de humedad del suelo en el cafetal a libre exposición solar (Poveda y Jaramillo, 2000; Poveda *et al.*, 2000, 2001, 2002).

El almacenamiento de agua en la parte aérea del cultivo

La vegetación ejerce un efecto significativo sobre la cantidad de agua que alcanza el suelo, debido a la interceptación que hace el follaje de la lluvia que incide en él. El almacenamiento en el follaje se refiere a la cantidad de agua retenida en la parte aérea de la cobertura vegetal (agroecosistema), después de detenerse el goteo hacia la superficie del suelo. Este tipo de almacenamiento está relacionado con las características morfológicas del cultivo y el índice de área foliar.

Los valores del almacenamiento de agua en la parte aérea de cafetales analizados (Figura 10.6) fueron, en promedio, de 0,83 mm con una fluctuación entre 0,33 mm para un cafetal a libre exposición y 1,77 mm para un cafetal con guamo a 9 m x 9 m. Estos valores dependen especialmente del porcentaje de cobertura vegetal y los valores observados

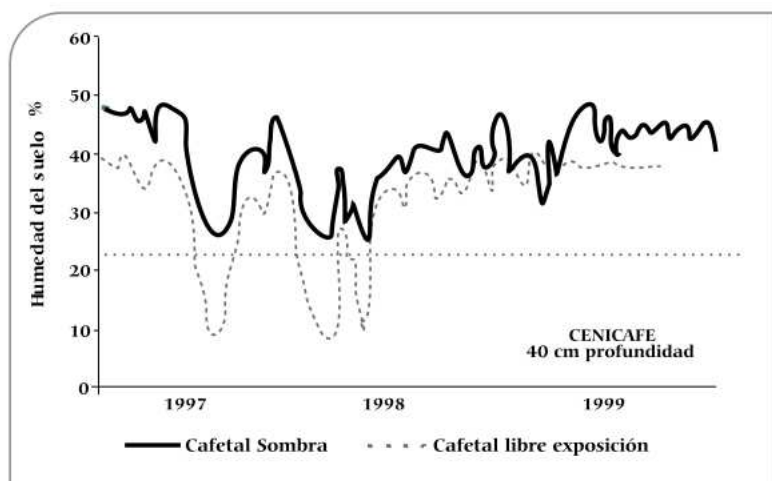


Figura 10.5. Variación de humedad volumétrica del suelo para dos coberturas, café con sombrero y café a libre exposición solar.

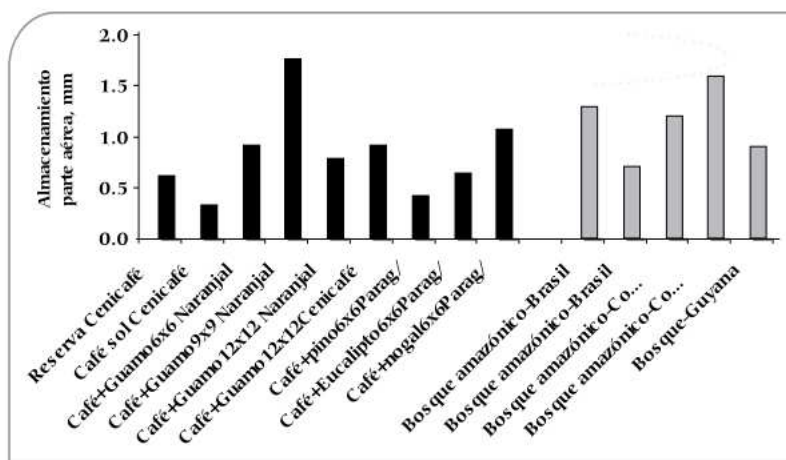


Figura 10.6. Almacenamiento de la parte aérea de diferentes agroecosistemas de cafetal

están dentro de los medidos en otras condiciones y regiones del mundo estimados con el método de Rutter, que para bosques tropicales están próximos a 1,7 mm.

La lluvia neta

La lluvia neta se refiere a aquella fracción de la lluvia total que alcanza la superficie del suelo luego de atravesar el dosel de la vegetación.

La lluvia neta registrada en la mayoría de artículos científicos presenta valores superiores al 80%, como es el caso de estimaciones realizadas en la selva amazónica de Colombia y Brasil (Lloyd y Marques, 1988). Dentro de los agroecosistemas de café analizados, la lluvia neta que ingresa al suelo y que proporciona agua disponible para el cafetal presenta proporciones más bajas, con un valor medio de 48% y valores extremos de 40% para cafetal con nogal y 59% para cafetal con guamo (*Inga sp*) a 6 m x 6 m (Figura 10.7). La situación anterior es explicable por la presencia de dos niveles de interceptación de la lluvia, el primer estrato constituido por la copa de los árboles de sombrío y el segundo por un cafetal de alta densidad y con una cobertura continua.

Para regiones con condiciones de alta precipitación durante el año estos sistemas no tendrían limitación en cuanto a la disponibilidad de agua para los cafetos. Sin embargo, las densidades de siembra del sombrío y del cafeto deben ser tenidas en cuenta en aquellas regiones con períodos prolongados de déficit (3 – 4 meses) o con bajas cantidades de lluvia anual, debido a que el cultivo del café dispondría de una baja proporción de la lluvia que ingresa al sistema.

Cuando se comparan los valores obtenidos con sistemas simples o donde domina un solo estrato vegetal los valores de la lluvia neta que ingresa al suelo son mucho mayores, próximos al 80 %.

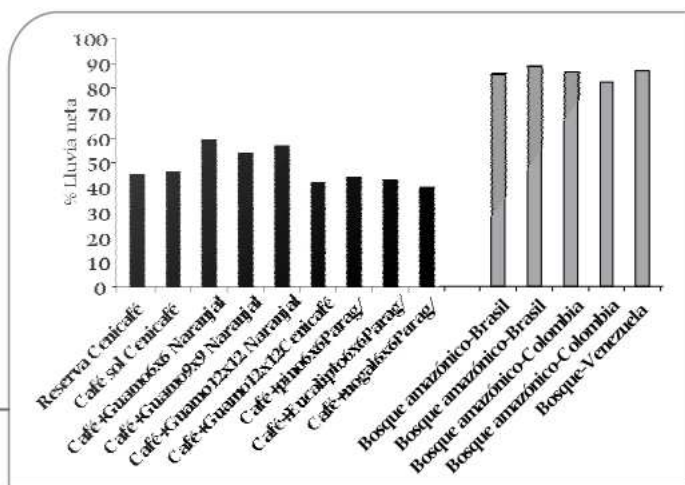


Figura 10.7. Proporción de lluvia neta diaria en los diferentes agroecosistemas de cafetal.

La escorrentía

La escorrentía es la cantidad de lluvia neta que se desplaza sobre la superficie del suelo. Para los diferentes agroecosistemas analizados (Figura 10.8) la escorrentía presenta un valor promedio de 9,4% con un valor máximo de 15,6% en el cafetal a libre exposición solar y un valor mínimo de 4,0% en el cafetal con sombrío de guamo a 12 m x 12 m, y en la reserva de bosque de Cenicafé con un 5,6%. En los resultados anteriores se ve la influencia de la interceptación del follaje que disminuye la lluvia neta (que ingresa al suelo) y además, los porcentajes de agua que ingresan al perfil del suelo son altos, en los suelos de origen volcánico donde se realizaron las mediciones.

La percolación

La percolación se refiere a la proporción de la lluvia neta que ingresa al perfil del suelo. Para los suelos de origen volcánico este valor representa una alta proporción y debe tenerse en cuenta en su papel para el transporte de nutrimentos hacia estratos más profundos. En la Figura 10.9, se presentan las proporciones de percolación para distintos

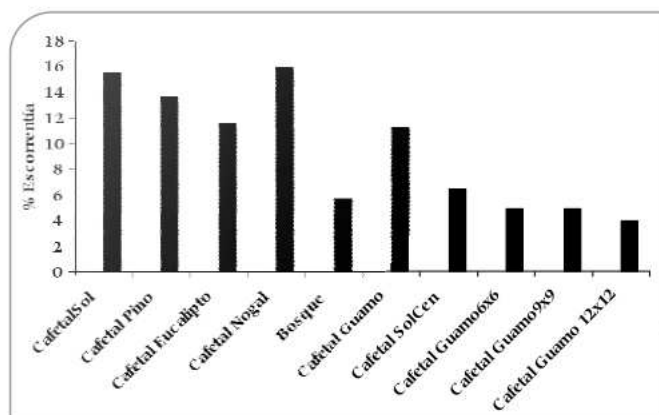


Figura 10.8. Proporción de escorrentía para diferentes coberturas de cafetal

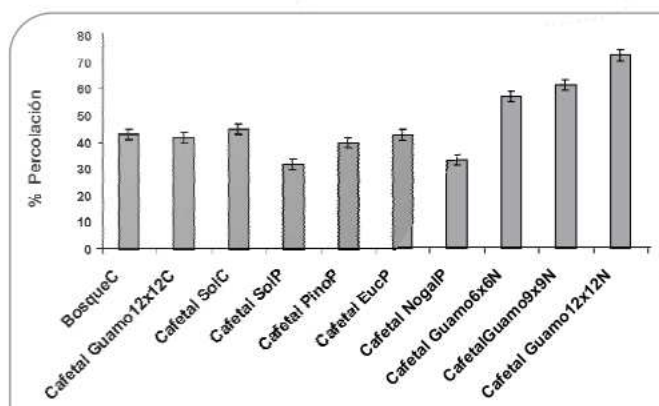


Figura 10.9. Proporción de la lluvia neta que se percola a través del suelo, en distintos tipos de agroecosistemas de cafetal.

agroecosistemas con café. Las mayores proporciones se presentan en los cafetales con sombríos de guamo, explicable por presentar menores cantidades de escorrentía.

Escurrimiento por los tallos

Con relación al agua que ingresa al ecosistema escurriendo por los tallos, en mediciones realizadas en árboles de guamo (*Inga sp*), se encontró una proporción muy baja del total de la lluvia externa. El valor máximo medio fue del 1,3%. Relaciones de esta magnitud en el flujo por el tallo concuerdan con los hallados en diversos estudios dentro de bosques (Raich 1983; Lloyd y Marques, 1988; Tobón *et al.* , 2000).

Para algunos ecosistemas tipo bosque y para cafetales tanto a libre exposición solar como bajo diferentes tipos de sombrío, la mayor proporción de la lluvia externa que ingresa al sistema es retenida por la parte aérea de la planta, con valores de interceptación del orden del 56% y solamente cerca de un 44% de la lluvia llega a la superficie del suelo; de esta última cantidad, un 38% se infiltra en el perfil del suelo y un 6% es agua de escorrentía (Giraldo y Jaramillo 2004, Jaramillo 2003; Jaramillo y Chaves 1998,1999). Un ejemplo de la redistribución de la lluvia en un cafetal con sombrío de guamo se presenta en la Figura 10.10.

Los valores altos de la interceptación se deben tener en cuenta en regiones secas ya que una cobertura densa del sombrío podría limitar el agua disponible para el cultivo del café; igualmente, la gran proporción de agua que se infiltra puede ser significativa en regiones muy húmedas por el lavado de nutrientes que produce a través del perfil del suelo.

Para disminuir los efectos de la baja humedad disponible en el suelo para los cultivos, Shaxson y Barber, 2003, plantean las estrategias que se presentan en la Tabla 10.2:

Figura 10.10.
Redistribución de la lluvia en un cafetal con sombrío de guamo (*Inga sp*).

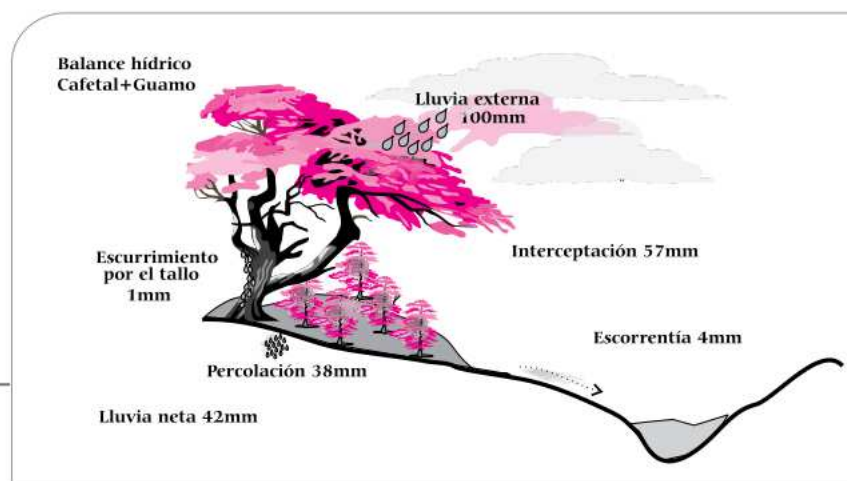


Tabla 10.2. Posibles soluciones para los problemas de agua en el suelo que deben validarse con los agricultores. (F Shaxson y R Barber, 2003)

Causa	Solución General	Solución Específica
Baja Infiltración		
a) Baja porosidad de la superficie del suelo	Proteger la superficie del suelo e incrementar la porosidad de la superficie	Agricultura de conservación: Cobertura del suelo (cobertura muerta con residuos vegetales), mínima intervención del suelo (labranza mínima o ninguna), rotación de cultivos incluyendo coberturas naturales, barbecho, bosques cerrados y de protección, plantación temporal de pastos
	Incrementar el período de infiltración	Estructuras físicas para detener la escorrentía: Siembras en contorno Caballetes en contorno en espaciamentos estrechos Terrazas, huertos, plataformas, muros de piedra, líneas de residuos, barreras vivas
b) Baja permeabilidad del subsuelo	Mejorar el drenaje profundo.	Labranza profunda / subsolar el suelo impermeable.
	Construir barreras con estructuras físicas que retengan la escorrentía	Terrazas Fajas de tierra
Alta evapotranspiración		
a) Evaporación de agua del suelo	Reducir la evaporación desde el suelo.	Cubrir el suelo y no hacer labranza Agricultura de conservación
	Promover la percolación profunda del agua lluvia	Surcos en curvas de nivel Huecos Media lunas
	Incrementar la sombra en la superficie del suelo	Agricultura de conservación: Mulch, coberturas de cultivos, cultivos intercalados, altas densidades de siembra
b) Transpiración de arvenses	Control de malezas	Cubrir con residuos Control de malezas (mecánico/biológico/herbicidas)
Drenaje profundo del agua lluvia		
	Mejorar la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo	Agricultura de conservación Agregar abonos orgánicos
	Acelerar el desarrollo de la raíz	Siembras tempranas (también es posible con Agricultura de Conservación)
	Cambiar de uso del campo	Introducir cultivos de raíces profundas

Continúa

Tabla 10.2. Posibles soluciones para los problemas de agua en el suelo que deben validarse con los agricultores. (F Shaxson y R Barber, 2003)		
Causa	Solución General	Solución Específica
Restricción del crecimiento de raíces		
a) Capas densas en el suelo	Incrementar la porosidad del subsuelo	Métodos biológicos: Agricultura de conservación, incluyendo cultivos específicos para descompactación natural, barbecho Métodos mecánicos: Huecos profundos Subsolar
b) Deficientes condiciones químicas	Mejorar las condiciones físicas del subsuelo	Cal/Yeso para neutralizar la toxicidad del Al y Mn Fertilizantes para corregir las deficiencias de nutrientes Lavado para remover la salinidad.
Lluvia escasa o errática		
	Adaptar el uso del suelo a las condiciones climáticas.	Ajustar el uso del campo a las características del suelo. Cultivos y variedades resistentes a la sequía.
	Incrementar en los cultivos la eficiencia en el uso del agua.	Ajustar la densidad de plantas. Seleccionar cultivos con eficiente uso del agua Control de arvenses Aplicación de fertilizantes. Siembras tempranas Semilla seleccionada
	Conservación del agua del suelo	Agricultura de conservación Cubrir el suelo (cobertura muerta, residuos) y ninguna labranza Barbechos que conserven el agua
	Captar agua	Líneas de piedras en contorno Caballetes de tierra en contorno Huecos, medialunas, diques de retención Estanques
	Distribuir agua	Desvío de torrentes Intercepción de flujos de agua
	Riego suplementario	Riego por aspersión Riego subsuperficial Riego por goteo

El transporte de los nutrientes en los distintos procesos que conforman el balance hídrico

Los movimientos de los elementos químicos en los ecosistemas se pueden clasificar en tres tipos: Ciclos geoquímicos, cuando los intercambios se realizan entre los ecosistemas; ciclos biogeoquímicos cuando se realizan dentro de los ecosistemas y ciclos bioquímicos cuando la redistribución de los elementos ocurre dentro de organismos individuales.

Los nutrientes migran de las plantas de varias maneras: 1- Por el lavado que ocasionan las lluvias desde los diferentes órganos vegetales. 2- Por la defoliaciones causadas por los herbívoros, lo cual incluye la remoción física de la biomasa y la aceleración del lavado por los daños en el follaje. 3- Los fenómenos de reproducción y 4- La abscisión de hojas, ramas y cortezas de los tallos. El ciclaje de nutrientes en los bosques y en general, en las áreas con vegetación donde interviene un conjunto complejo de mecanismos de retroalimentación directos entre el suelo y las plantas. La superficie vegetal constituye un sistema abierto donde ingresan y salen elementos químicos de manera continua (Bruijnzeel, 1990; Likens y Bormann, 1995; Maberley, 1992; Steinhart y Fassbender, 1979).

Los nutrientes son transferidos inicialmente a las hojas y otras partes de la planta y caen al suelo como parte de la hojarasca, donde son posteriormente lixiviados por el agua y liberados por los organismos. Una cantidad significativa de nutrientes es también movilizadada desde las diferentes partes de la planta al suelo al pasar 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 la superficie del bosque (Eaton *et al.*, 1973; Golley, 1991; Likens y Bormann, 1995).

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 microflora presente en la superficie vegetal (Eaton *et al.*, 1973).

La concentración de elementos químicos lixiviados es mayor para lluvias de baja cantidad. Esto 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. Los nutrientes, en los tejidos jóvenes son rápidamente metabolizados dentro de las células dificultando la lixiviación; en los tejidos viejos los nutrientes están en formas intercambiables y son lixiviados más fácilmente. Las hojas muy jóvenes, aparentemente delicadas y frágiles, son menos susceptibles a la lixiviación que las hojas viejas. Hay mayor lixiviación de calcio en hojas amarillas senescentes que en las hojas verdes, resultado del incremento de la permeabilidad de la hoja (Eaton *et al.*, 1973).

Veneklass, 1990, para dos altitudes (2.250 y 3.370 metros) en un bosque tropical de montaña de Colombia (Santa Rosa de Cabal, Risaralda), midió los flujos de nutrientes de la lluvia y del escurrimiento foliar y observó que la composición de nutrientes en el agua lluvia es muy similar en dos altitudes, pero la concentración de los elementos fue mayor en el agua escurrida desde la vegetación.

En los cafetales asociados con nogal (*Cordia alliodora*) y poró (*Erythrina poeppigiana*), en la evaluación de los balances hídricos y de la lixiviación de los nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio se encontraron diferencias en las proporciones del agua interceptada y en las concentraciones de los elementos químicos (Imbach *et al.*, 1989).

Las cantidades de nutrientes medidas en el agua de lavado foliar para diferentes ecosistemas de cafetales se presentan en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2. Promedio de las cantidades de nutrimentos en kg/ha.año, transportados en el agua de lavado foliar en cafetales a libre exposición solar y bajo diferentes arboles de sombrío.

Cobertura	Potasio	Calcio	Magnesio	Nitratos	pH
Café sol -CEN-	70,4 +	63,8 -	16,1 -	13,3 -	6,6 -
Café sol -PAR-	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-PAR	9,9	27,9	8,6	36,0	6,7
Lluvia-CEN	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 agroecosistema. PAR, Paraguaicito-Quindío. CEN, Cenicafé-Caldas

Las cantidades de nutrimentos que ingresan al suelo en el agua de lavado foliar en los ecosistemas analizados presentan los siguientes valores (kg/ha.año): potasio 85,4, calcio 41,1, magnesio 12,0 y nitratos 21,9. El potasio es un elemento que incrementa 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 en el cafetal con sombrío de nogal. El agua de lavado foliar presentó un valor medio de pH de 6,6 para los ecosistemas en estudio; los valores mas bajos en el pH se presentan para la asociación del café con el eucalipto y el pino, con un pH de 6,3 y 6,4, respectivamente.

Las cantidades de nutrimentos encontradas en el agua de lavado foliar son comparables con las citadas por Veneklaas, 1990, en bosques tropicales de Puerto Rico, Jamaica, Nueva Guinea, Venezuela, y para dos altitudes en Santa Rosa de Cabal – Risaralda – Colombia, con los siguientes valores en promedio expresados en kg/ha.año: potasio 79,0, calcio 20,6 y magnesio 9,0. Las cantidades también son comparables con las halladas en estudios realizados en Colombia, Costa Rica, Nueva Guinea y Venezuela (Eaton, *et al.*, 1973; Cavalier *et al.*, 1997; De Las Salas y García, 2000; Tobón *et al.*, 2000).

Las cantidades de nutrimentos que se movilizan en el agua de escorrentía se presentan en la Tabla 10.3, en la cual se observan como valores promedio 11,0 kg/ha.año 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 (hasta en 9,6 veces) en el agua de lavado foliar en los agroecosistemas estudiados cuando se comparan con las cantidades aportadas inicialmente por el agua lluvia, lo cual concuerda con lo expresado por Golley, 1991, quien en diferentes estudios encontró que el potasio aparece en concentraciones hasta 10 veces mayores que las registradas en el agua lluvia que ingresa al ecosistema. El potasio es un elemento importante en los procesos estomáticos de la

planta y por tanto, en el intercambio de vapor de agua y dióxido de carbono exudado a la superficie de la hoja y lavado fácilmente por 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 mayor en 1,4 veces.

Las variaciones en las cantidades de los elementos químicos confirman lo encontrado por Beer *et al.*, 1998, quienes manifiestan que el ciclo de los nutrimentos está directamente afectado por las especies de sombrero debido a que éstas difieren significativamente en la composición de la biomasa.

Un ejemplo del transporte de nutrimentos en un cafetal bajo sombrero de guamo se presenta en la Figura 10.11. Se observa que el agua lluvia que ingresa al ecosistema ya tiene

Tabla 10.3. Cantidades de nutrimentos en kg/ha.año, transportados en el agua de escorrentía en cafetales a libre exposición solar y bajo distintos árboles de sombrero.

Cobertura	Potasio	Calcio	Magnesio	Nitratos	pH
Café sol (CEN)	8,0	9,8	2,4	1,9	6,8
Café sol (PAR)	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

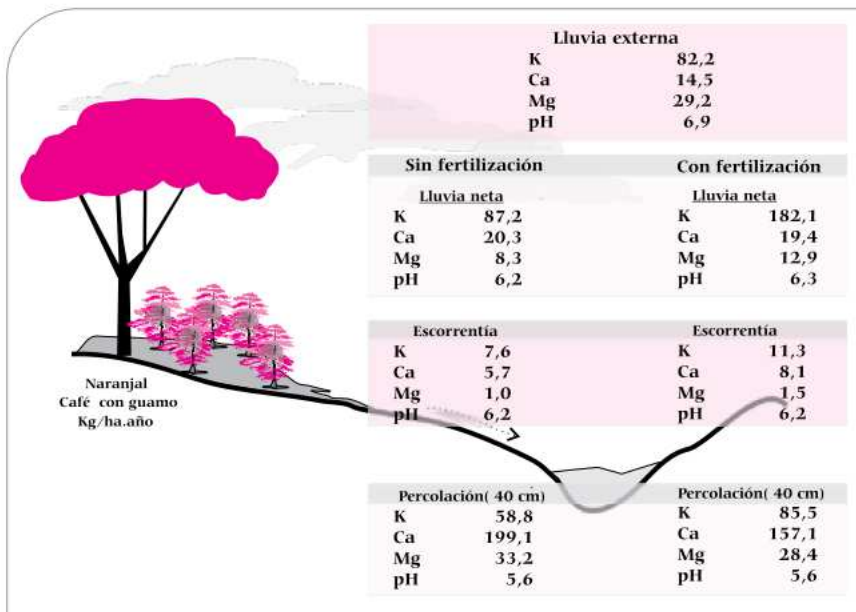


Figura 10.11. Cantidades de nutrimentos en los diferentes componentes del ciclo hidrológico (Giraldo y Jaramillo 2004)

concentraciones de elementos químicos provenientes de las quemas o de la actividad eléctrica de la atmósfera; las cantidades de potasio se incrementan al pasar por el dosel del agroecosistema. El agua de percolación moviliza cantidades importantes de nutrimentos.

En las Figuras 10.12, 10.13, y 10.14 se presenta la disposición de los pluviómetros dentro del cultivo, predio de escorrentía, tensiómetros para medir la tensión de humedad en el suelo y un TDR - Time Domain Reflectometry - para determinar la humedad volumétrica del suelo a diferentes profundidades.

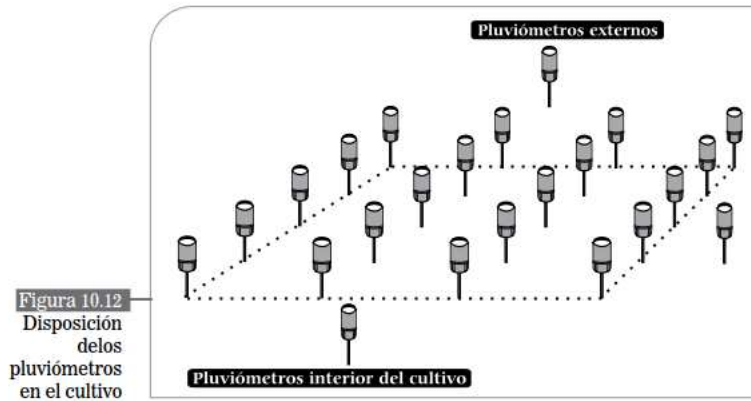
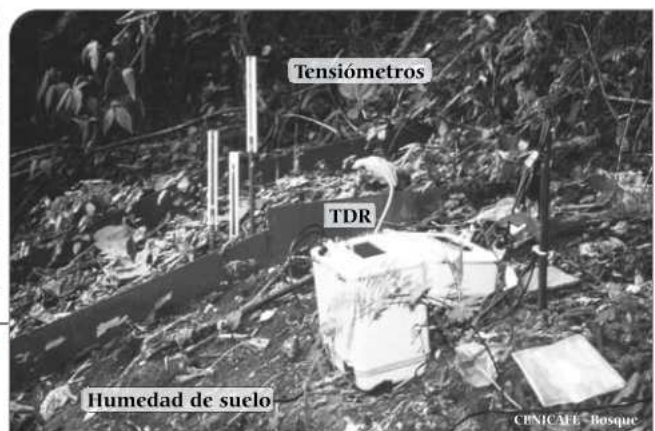


Figura 10.12
Disposición
de los
pluviómetros
en el cultivo



Figura 10.13
Predio de escorrentía



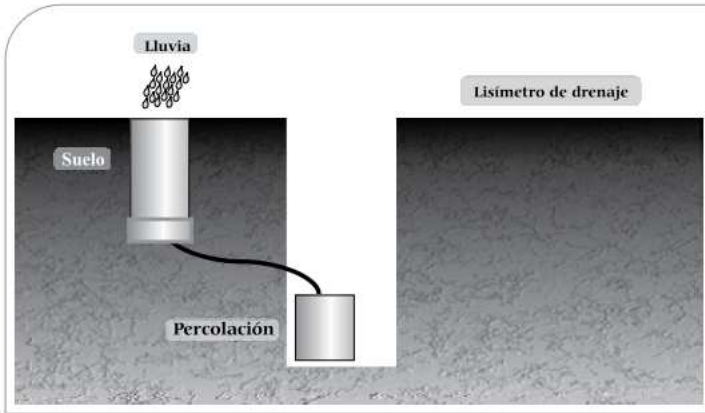


Figura 10.14
Un lisimetro de drenaje para medir la cantidad de agua percolada.

