

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

**Análisis del balance hídrico bajo tres coberturas vegetales en
la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso Honduras**

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el
Grado Académico de Licenciatura

presentado por:

Manuel Zacarías Ixmatá Guarchaj

Honduras
Diciembre, 2003

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Manuel Zacarías Ixmatá Guarchaj

Honduras
Diciembre, 2003

Análisis del balance hídrico bajo tres coberturas vegetales en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso Honduras

presentado por

Manuel Zacarías Ixmatá Guarchaj

Aprobada

Luis Caballero, M.Sc.
Asesor Principal

Mayra Falck, M.Sc.
Coordinadora de la Carrera de
Desarrollo Socioeconómico y
Ambiente

Marco Granadino, M.Sc.
Asesor

Antonio Flores, Ph.D.
Decano Académico

Carlos Gauggel, Ph. D.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios, por quererme tanto, darme fortaleza, sabiduría, inteligencia y discernimiento en todo momento y en cualquier parte.

A la Virgen María, por ser mi antecesora y llevarme a Jesús, su hijo amado.

A mi alma mater, la Escuela Agrícola Panamericana, por haberme formado hasta llegar a ser un Ingeniero.

A mis padres, Nicolás Ixmatá Chovón y María Guarchaj Simaj, a quienes quiero con todo el corazón.

A mis hermanos, Antonio, Isabel, Juan, Leocadia, Jorge, Celestina y Luis, por brindarme su apoyo y amistad en cualquier circunstancia.

A todos mis colegas, por compartir momentos inolvidables durante los cuatro años de vida en Zamorano.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de culminar con éxito una de las metas más importantes de mi vida.

A la Dirección Ejecutiva del Fideicomiso de Formación de Recurso Humano del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, y a la Escuela Agrícola Panamericana, por haberme dado la posibilidad de estudiar en Zamorano.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento y en cualquier parte.

A mis asesores, quienes me brindaron su apoyo en la elaboración de este trabajo.

A mis colegas y amigos: Erick, Rubén, Joel, Cesar Antonio, Cesar Enrique, Damián, Julio, Iván, Rodrigo, Jorge, Pedro Pablo, Ulises, por su verdadera amistad.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

Al consorcio de Manejo Integrado de Suelos (MIS), por haber financiado gran parte de los gastos en que se incurrieron para llevar a cabo este estudio.

Al proyecto de extensión agrícola FAO/ZAMORANO, por su apoyo brindado a este estudio.

RESUMEN

Ixmata Guarchaj M. 2003. Análisis del balance hídrico bajo tres coberturas vegetales en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Tesis de proyecto especial de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras. 27 p.

En la microcuenca el Zapotillo existe una fuerte presión sobre el uso de áreas boscosas para cultivos anuales. Lo anterior afecta directamente los suelos y las fuentes de agua, ya que dicha microcuenca es de naturaleza frágil por sus elevadas pendientes. Los sistemas de cultivo sin prácticas de conservación y manejo de los suelos son la principal causa de la degradación de los mismos. Esta microcuenca es una de las principales fuentes de agua para el municipio de Güinope para consumo humano y riego. Por medio de este estudio se encontró el efecto que tiene el cambio de uso de la tierra en el balance hídrico, incluyendo los efectos en la erosión del suelo. Para ello se midieron las variables del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración, intercepción, escorrentía e infiltración) en tres tipos de cobertura vegetal (café-*Inga*, maíz y bosque ralo de pino) durante el período lluvioso del año 2003. La precipitación durante el período de estudio fue de 1,281 mm, la intensidad mínima fue de 0.4 mm/hora y la máxima de 44.1 mm/hora, el 60% de los eventos de lluvia observados se concentraron en un rango de intensidad entre 0 y 5 mm/hora. En promedio los porcentajes de intercepción fueron de 45 % en la cobertura de café, 22 % en la de maíz y 28 % en la de bosque. Aún cuando los suelos son muy similares en origen, pero no en su manejo, se demostró que hay efectos significativos del impacto de los cambios de cobertura en las tasas de infiltración y escorrentía. Es así que el porcentaje de escorrentía fue de 12 % en el microdrenaje con café, 14 % en el microdrenaje con bosque y en el microdrenaje con uso de cultivos anuales se observó un 26 % en el período sin cobertura de maíz y 18 % durante el período con cobertura. Las pérdidas de suelo por erosión hídrica observadas (TM/ha/año) fueron de 37.62 en café bajo sombra, 331.9 en maíz y 58.4 en bosque. Los análisis de suelo de los sedimentos indican que el microdrenaje con maíz está perdiendo aproximadamente ocho veces más de Nitrógeno, dos veces más de Fósforo y siete veces más de Potasio con relación a los otros dos tipos de uso. Esto demuestra claramente la importancia de los programas que incentivan el cambio de uso de la tierra y la implementación de prácticas de manejo de suelos que los programas de Zamorano han estado promoviendo con el apoyo de ACDI, USAID, FAO y el Consorcio para el Manejo Integrado de Suelos (MIS) en los últimos años.

Palabras claves: cambio de uso, microdrenaje, variables del ciclo hidrológico, erosión.

CONTENIDO

Portadilla	i
Autoría	ii
Página de firmas	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Agradecimientos a patrocinadores	vi
Resumen	vii
Contenido	viii
Índice de cuadros	x
Índice de figuras	xi
 INTRODUCCIÓN	 1
MATERIALES Y MÉTODOS	3
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	3
VARIABLES QUE SE MIDIERON	4
Precipitación bruta	4
Precipitación que llega al suelo	4
Intercepción	4
Infiltración y escorrentía	5
Humedad de suelo	5
Evapotranspiración potencial	6
Balance hídrico	6
Erosión y sedimentación	6
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	7
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	 8
BALANCE HÍDRICO EN EL MICRODRENAJE CULTIVADO CON CAFÉ	8
Precipitación bruta	8
Análisis de la caracterización de la precipitación total	9
Evapotranspiración potencial	11
Intercepción	11
Precipitación que llega al suelo	12
Escorrentía e infiltración	12

Humedad del suelo.....	12
BALANCE HÍDRICO EN EL MICRODRENAJE CULTIVADO CON MAÍZ	13
Precipitación bruta	13
Intercepción.....	13
Precipitación que llega la suelo.....	14
Escorrentía e infiltración.....	14
Humedad del suelo.....	14
BALANCE HÍDRICO EN EL MICRODRENAJE CON BOSQUE	15
Precipitación bruta	15
Intercepción	15
Precipitación que llega al suelo.....	16
Escorrentía e infiltración	16
Humedad del suelo.....	16
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL BALANCE HÍDRICO ENTRE LOS TRES TIPOS DE COBERTURA.....	16
ANÁLISIS DEL PROCESO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN LOS TRES MICRODRENAJES ESTUDIADOS.....	17
Pérdida de materia orgánica y nutrientes extractables en los tres microdrenajes estudiados.....	18
Recomendación de fertilización en las parcelas de café y maíz	20
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	21
CONCLUSIONES.....	24
RECOMENDACIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1. Balance hídrico en el cultivo de café (mm)	8
2. Caracterización de las precipitaciones por cada mes de estudio.....	9
3. Caracterización de los eventos de precipitación observados durante el período de estudio	10
4. Balance hídrico en el cultivo de maíz (mm)	13
5. Balance hídrico para la parcela forestal (mm)	15
6. Resumen del balance hídrico en los tres microdrenajes estudiados	17
7. Pérdida de suelo por erosión hídrica en cada microdrenaje.....	18
8. Contenido de materia orgánica y nutrientes en el sedimento colectado.	19
9. Pérdida anual de materia orgánica y nutrientes por erosión hídrica en cada microdrenaje.	19
10. Relación entre contenido de materia orgánica y nutrientes en una muestra de suelo y en una muestra de sedimento erosionado en cada microdrenaje	20
11. Requerimientos de macronutrientes del cultivo de café y maíz	20
12. Pérdidas por lixiviación de nutrientes en los microdrenajes de café y maíz	20
13. Cantidad de nutrientes a suplir según pérdidas por erosión, lixiviación y requerimientos nutricionales de cada cultivo.....	21
14. Cantidades a aplicar de cada nutriente en cada parcela	21
15. Coeficientes de correlación entre precipitación e intensidad de la misma y las variables de intercepción, escorrentía e infiltración, para cada microdrenaje	22
16. Comparación de medias de la intercepción en los microdrenajes estudiados	22
17. Comparación de medias de la escorrentía en los microdrenajes estudiados.....	22
18. Comparación de medias de la infiltración en los microdrenajes estudiados	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Mapa de los tres microdrenajes de la zona de estudio	3
2.	Comparación de precipitación histórica (1972-1988), estimaciones (2002) y datos observados durante el período de estudio comprendido entre mayo y octubre del año 2003.	9
3.	Relación entre precipitación y evapotranspiración durante el período de estudio comprendido entre mayo y octubre.	11
4.	Humedad de suelo registrada en los tres microdrenajes durante los meses de estudio	17

INTRODUCCIÓN

Según Benites, *et al.*(1994) a nivel mundial existe mucha controversia e interés por manejar y conservar los recursos naturales ya que afectan directamente aspectos económicos, sociales y ambientales. En los países en desarrollo las poblaciones urbanas y rurales son numerosas y crecientes y dependen de la generación de productos y servicios de las cuencas hidrográficas montañosas (Solís, 1991). El problema de la expansión de la frontera agrícola hacia zonas montañosas de las cuencas es aún más grave cuando no existe un manejo sostenible de los recursos naturales y cuando éstos son escasos (Fallas, 1996). Por lo tanto hay que entender la compleja problemática que afrontan muchas cuencas y subcuencas ya que éstas además de ser las fuentes de recarga hídrica para el almacenamiento y distribución del recurso de agua para las poblaciones humanas, son escenarios de producción, turismo, minería y otros usos no compatibles con su función hidrológica (Barrantes y Vega, 2000).

El balance hídrico de las cuencas y microcuencas es un buen indicador del impacto que ha tenido la intervención humana en los procesos del ciclo hidrológico, especialmente en la cantidad y calidad del agua de las quebradas y ríos (Dunne y Leopold, 1987). Barrantes y Vega (2000) señalan que es importante el estudio del balance hídrico para entender las fluctuaciones del caudal de un río o una quebrada durante cierto período; al mismo tiempo permite explicar cómo la lluvia logra alcanzar la superficie terrestre y cómo penetra en el suelo mineral (infiltración) para luego atravesar los diferentes horizontes del suelo (percolación) para llegar a formar parte los acuíferos que son la fuente de caudal para los ríos durante la época seca.

El Programa Regional de Cuencas (PROCUENCAS) de Zamorano, ha definido como una de las zonas prioritarias de investigaciones hidrológicas, la microcuenca El Zapotillo, ubicada en el municipio de Güinope, El Paraíso Honduras. Esta microcuenca constituye una de las cuatro principales fuentes de abastecimiento de agua a dicho municipio (Donaire, 2002). Según Benites, *et al.*(1994) muchas de las actividades agrícolas y ganaderas se han desarrollado en laderas frágiles y de alta pendiente, lo que favorece el deterioro del suelo y de otros recursos dependientes del mismo. Este caso se presenta en la microcuenca el Zapotillo, especialmente en la zona de recarga hídrica, en donde se han desarrollado estudios base sobre caracterización de suelos y tenencia de la tierra, instrumentación de los microdrenajes y evaluación de los sistemas agroforestales desarrollados por García (2001), Donaire (2002) y Romero (2003) respectivamente.

El presente estudio es una continuación del trabajo desarrollado por Donaire en el año 2002, con el objetivo de analizar los efectos de los cambios de cobertura en el balance hídrico en tres microdrenajes (café asociado con *Inga* como sombra, maíz y bosque de pino y guama). Según Fallas (1996), el impacto de los cambios en el uso y cobertura del suelo sobre el balance hídrico de la cuenca dependerá de la severidad o intensidad con que se modifique la vegetación original, la inclinación, exposición y compactación de suelo.

La investigación se llevó a cabo durante la época lluviosa comprendida entre los meses de mayo a octubre del año 2003; con el propósito de recolectar datos de precipitación, intercepción, infiltración, escorrentía y humedad del suelo, para elaborar el balance hídrico para cada microdrenaje estudiado y luego comparar las tasas de erosión en cada microdrenaje con las estimaciones realizadas en estudios anteriores a través del método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, por Hernández (2002) y Romero (2003).

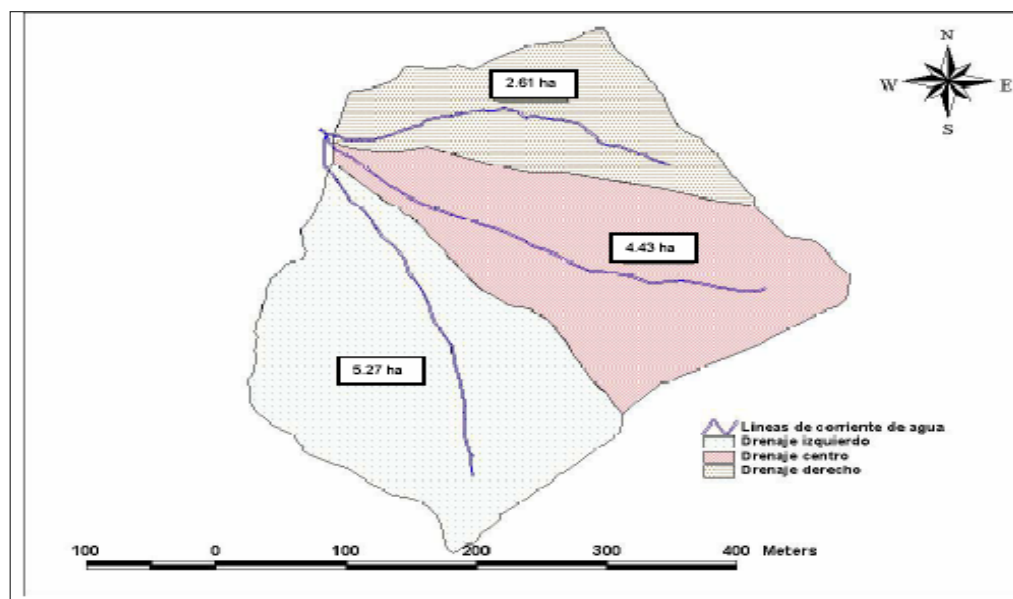
Según Fallas (1996), la humedad del suelo y la erosión dependen en gran medida de la cantidad de agua que recibe la microcuenca en forma de lluvia, por lo que se instaló un pluviómetro digital a campo abierto para la toma de datos en la parte alta de la microcuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de investigación está ubicada en la parte alta de la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras, con coordenadas UTM (506,000; 1,534,000), localizada a 23 Km. de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano (Medina, 2001).

Según García (2001), los tres microdrenajes priorizados como área de estudio se encuentran localizados en una zona con altitudes que van desde los 1612 msnm hasta los 1740 msnm, con un área total de 12.31 hectáreas distribuidos en tres microdrenajes de la siguiente forma: el microdrenaje izquierdo tiene un área de 5.27 ha, en el cual se encuentra situado un solo productor, el suelo está cubierto en su mayoría por guamil y bosque de pino ralo, con una pendiente promedio de 65% y la quebrada posee una longitud de 289 m; el microdrenaje central tiene un área de 4.43 ha, cubierto en una parte por maíz, pendiente promedio de 55%, la longitud del drenaje es de 378 m y se encuentran en él, dos productores; el microdrenaje derecho tiene un área de 2.61 ha cubierto por café con árboles de *Inga* en una parte y en otra con plátano como sombra, una pendiente promedio de 40% y 349 m de longitud, en él se encuentran situados dos productores.



Fuente: García, 2001.

Figura 1. Mapa de los tres microdrenajes de la zona de estudio

VARIABLES QUE SE MIDIERON

Precipitación bruta

Para medir la precipitación bruta se utilizó un pluviómetro digital marca Onset colocado a campo abierto para medir la precipitación total de la zona, desde el 19 de mayo hasta principios de octubre del año 2003. Este aparato provee la fecha y duración de cada evento de lluvia, posee dos componentes importantes, un recipiente colector de información y un dispositivo que almacena la información que es una pequeña balanza que por cada 0.254 mm de lluvia da un pulso (“tip”) y estos datos son descargados a una computadora utilizando el programa BoxCar® 3.7 para ser guardados y analizados (Donaire, 2002).

Precipitación que llega al suelo

Para medir la precipitación que llega al suelo en cada evento de lluvia, se utilizaron dos pluviómetros horizontales debajo de cada tipo de cobertura (*café-Inga*, maíz y bosque) los cuales se instalaron a una altura de 30 cm, dichos instrumentos son contruidos con tubo PVC cortados en forma de canal de 2 metros de largo y 10 cm de diámetro. Para coleccionar el agua de lluvia que pasa a través de la cobertura, se colocó un recipiente de 20 litros de capacidad y 25 cm de diámetro en un extremo, teniendo de esta manera un área de captación total de 2490.8 cm², dado por la sumatoria del área del canal, que es igual a 200 cm² más el área de captación del recipiente que es de 490.8 cm².

Para transformar el volumen de agua capturado por cada recipiente a precipitación en unidades de profundidad (mm) que llega al suelo, se usó la Ecuación 1, según Hewlett (1982):

$$h = V/A \quad [1]$$

Donde: h = altura traducida a una lámina de agua (mm), V = volumen de agua coleccionado en el recipiente por cada evento de lluvia (cm³) y A = área de captación del pluviómetro horizontal y del recipiente (cm²).

Intercepción

La porción de la precipitación que queda atrapada en la cobertura vegetal se obtuvo de la diferencia entre la precipitación bruta y la precipitación que llega al suelo, para cada tipo de cobertura, la cual puede expresarse en mm o como un porcentaje de la precipitación bruta (Solís, 1991), y se determina mediante la Ecuación 2, propuesta por Dunne y Leopold (1978):

$$\text{Intercepción} = \text{Precipitación bruta} - \text{precipitación que llega al suelo} \quad [2]$$

Infiltración y escorrentía

Estas dos variables se midieron mediante parcelas de escorrentía fabricadas con metal con dimensiones de 80x80x10 cm. Se instalaron tres repeticiones en la parcela de café-*inga* debido a la desuniformidad de pendientes presentes en ésta parcela y dos por cada una de las otras parcelas para tener mayor representatividad de cada sitio.

Para calcular la infiltración y escorrentía como lámina de agua, se usó la Ecuación 1, con la que se determinó la precipitación que llega al suelo, de la siguiente manera:

$$h = V/A \quad [1]$$

Donde: h =Precipitación neta que llega al suelo en unidades de profundidad (mm), V =Volumen de agua recolectada (cm^3) y A =Área de la parcela de escorrentía (6400 cm^2).

La escorrentía se calculó con base en el volumen de agua colectado en el recipiente colocado al extremo de cada parcela de escorrentía después de cada evento de lluvia, se transformó este volumen a lámina de agua con la Ecuación 1 y luego se expresó como porcentaje de escorrentía por cada tormenta y finalmente por cada microdrenaje, tomando en cuenta un promedio general para el período de estudio. La infiltración se determinó por medio de la diferencia entre la precipitación que llega al suelo (precipitación neta) y la escorrentía, ya sea en lámina de agua (mm) o porcentaje.

Humedad del suelo

Para medir la humedad del suelo se tomaron muestras en cada microdrenaje al final de cada mes del período de estudio a una profundidad de aproximadamente 30 cm; las muestras se llevaron al laboratorio de calidad de agua de la carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, para secarlas en un horno a 105°C durante 24 horas. El porcentaje de humedad se determinó mediante diferencias de peso de suelo húmedo y suelo seco con la Ecuación 3, según Schwab (1990):

$$\% \text{ humedad} = \frac{(Psh - Pss)}{Pss} * 100 \quad [3]$$

Donde: Psh = peso de suelo húmedo (gr), Pss = peso de suelo seco (gr).

El resultado que se obtuvo de la Ecuación 3 fue transformado a cm de agua por cm de suelo, con la Ecuación 4, según Plaster (2000):

$$\text{cm de agua por cm de suelo} = \frac{\% \text{ humedad}}{100} \quad [4]$$

Evapotranspiración potencial

Se usaron los datos del balance hídrico estimado a través del método de Holdridge por Donaire (2002).

Balance hídrico

Para cada microdrenaje estudiado se elaboró una cuadro con las variables del balance hídrico descritas anteriormente (precipitación total, interceptación, evapotranspiración potencial, infiltración, escorrentía y lámina de humedad del suelo), mensual y total, a partir de los datos de campo colectados durante los meses de estudio. Esta metodología fue propuesta por Dunne y Leopold (1978), la cual se adaptó a los datos observados, y por medio de la Ecuación 5, propuesta por Turcios (1995) se puede representar el balance hídrico de la siguiente manera:

$$P = ETR + R + I + H \quad [5]$$

Donde:

P = precipitación

ETR = evapotranspiración

R = escorrentía

I = infiltración

H = variaciones de la reserva de agua

Erosión y sedimentación

Se tomó una muestra de sedimento a finales del mes de septiembre, la cual fue colectada del material depositado en cada pila de sedimentación tipo “V-notch-weir” ubicada al final de cada microdrenaje.

Para tener una estimación de los nutrientes que se pierden en cada parcela por efecto de la escorrentía y la erosión durante la época lluviosa, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, para determinar los nutrientes extractables y materia orgánica contenidos en el sedimento. Los resultados del análisis fueron comparados con el contenido nutricional de los suelos para sacar por diferencia la cantidad disponible o faltante de cada nutriente en cada parcela.

También se calculó la pérdida de suelo en cada microdrenaje por erosión hídrica durante el período lluvioso, por medio de la colección de una muestra de la mezcla de sedimento y agua depositada en las pilas de sedimentación, y luego de someter a un horno a 105 °C durante 24 horas, se calculó el contenido de suelo por volumen de escorrentía, y multiplicando este valor por la escorrentía total durante el período de estudio, se obtuvo la pérdida de suelo en toneladas métricas por hectárea, para cada microdrenaje.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron correlaciones entre las variables de precipitación e intensidad vrs. intercepción, infiltración y escorrentía en cada tipo de cobertura vegetal (*café-inga*, maíz y bosque-pastos), con el programa SPSS 10.0, para determinar la relación que existe entre las mismas; luego se llevó a cabo un análisis de varianza de las medias de intercepción, escorrentía e infiltración, entre los tres microdrenajes con un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se describen los resultados del balance hídrico calculado para los tres microdrenajes, según el uso de la tierra.

BALANCE HÍDRICO EN EL MICRODRENAJE CULTIVADO CON CAFE

Las variables del balance hídrico para el microdrenaje cultivado con café, se observan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Balance hídrico en el cultivo de café (mm)

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Total
1) Precipitación (P)		274	380	112	114	216	185	1281
2) Evapotranspiración		105	93	100	102	90	103	593
3) P – EVT		169.3	286.6	11.5	12	126.1	82	782.5
4) Intercepción		123.9	173.5	43.5	46.5	96.0	27.7	511
5) P. que llega al suelo		146.1	196.7	52.04	57.79	117.1	36.6	606.3
6) Escorrentía		15.7	24.7	6.0	7.1	15.6	5.5	74.5
7) Infiltración .		130.4	172.0	46.0	50.7	101.5	31.1	531.7
8) cm agua/cm suelo al final de cada mes	0.18	0.28	0.38	0.35	0.34	0.45	--	

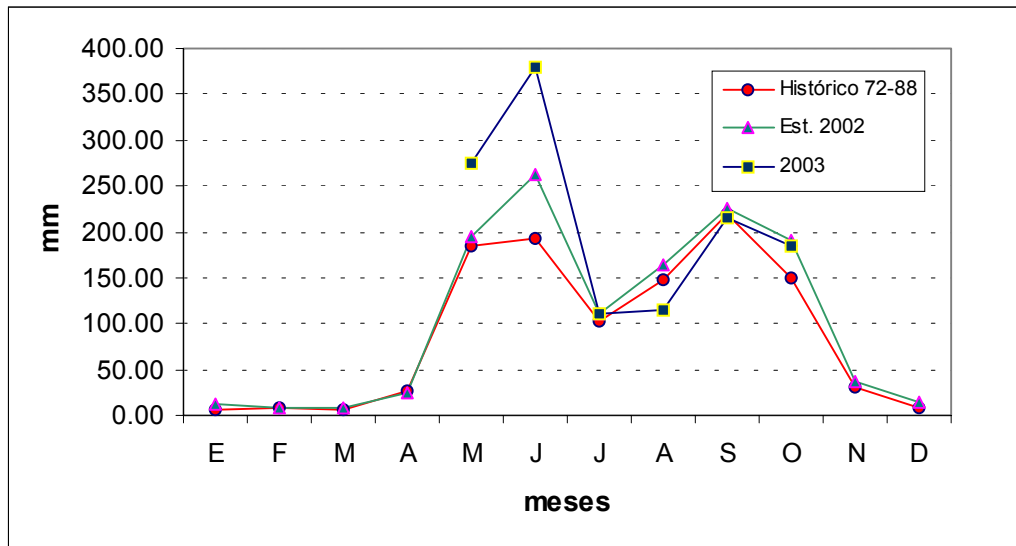
Fuente: Ixmatá, 2003.

Modelo sugerido por Dunne y Leopold (1978), adaptado a los datos colectados en el microdrenaje cultivado con café, durante el período de estudio.

Precipitación bruta

La precipitación total del sitio de estudio durante el invierno es la misma para los tres microdrenajes debido a su localización, la cual fue de 1281 mm, distribuidos por cada mes como se muestra en el Cuadro 1, siendo junio el mes más lluvioso con 380 mm, y julio el mes menos lluvioso con 112 mm.

En la Figura 2 se puede observar el comportamiento de la precipitación comparando datos históricos de una estación pluviométrica de la Dirección General de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Naturales (DGRH-SERNA) en Güinope, citado por Caballero (1995), con datos estimados para el año 2002 por Donaire (2002) y datos observados durante el período lluvioso del año 2003. Como se puede apreciar, las precipitaciones en el área de estudio tienen un comportamiento similar entre los tres datos en cuanto a fluctuaciones de períodos secos y muy lluviosos, siendo el mes de junio el más lluvioso y julio y agosto los meses menos lluviosos del año.



Fuente: Datos históricos, Caballero, 1995. Estimaciones, Donaire, 2002. Ixmátá, 2003.

Figura 2. Comparación de precipitación histórica (1972-1988), estimaciones (2002) y datos observados durante el período de estudio comprendido entre mayo y octubre del año 2003.

Análisis de la caracterización de la precipitación total

La precipitación es variada en cuanto a su duración e intensidad durante los meses de estudio, el Cuadro 2 muestra que las intensidades son mayores durante mayo y septiembre con 10.7mm/hora y 10.5 mm/hora, respectivamente; Donaire (2002) reportó una intensidad promedio durante el mes de septiembre de 12.7 mm/hora. También se observa que en promedio, hubo mayor número de precipitaciones con más de dos horas de duración (tomando en cuenta las horas de lluvia durante cada día), este dato puede estar sobre-estimado ya que no se está tomando en cuenta que durante el día se pudieron haber presentado varios eventos de lluvia con diferentes duraciones e intensidades.

Cuadro 2. Caracterización de las precipitaciones por cada mes de estudio.

MES	Promedios		Número de precipitaciones por rango de duración			
	Duración (hr)	Intensidad (mm/hr)	< 0.5 h	0.51-1 h	1-2 h	>2 h
Mayo	3.44	10.7	3	0	3	7
Junio	5.36	5.7	2	1	3	17
Julio	2.33	4.5	0	1	1	12
Agosto	1.94	6.4	2	1	7	5
Septiembre	1.41	10.5	1	5	6	4
Octubre	1.76	7.2	2	2	1	4
Totales			10	10	21	49

Fuente: Ixmátá, 2003

Los eventos de lluvia observados durante el período de estudio tuvieron una intensidad mínima de 0.4 mm/hora y una máxima de 44.1 mm/hora, la mínima se observó durante el mes de junio y la máxima durante el mes de mayo, esto se debe a que los primeros eventos de precipitación del invierno son por lo general intensos ya que las nubes han acumulado una gran cantidad de agua durante ese período y luego, una vez descargadas, las precipitaciones se vuelven menos intensas (Solís,1991).

También se observó que la intensidad mínima que genera escorrentía en los tres microdrenajes se encuentra entre 0.4 y 1 mm/hora, considerando que por el método de medición que se usó (parcelas de 80x80 cms. con mucha cobertura de hojarasca o malezas sobre el suelo) de alguna manera se pudieron haber sobre-estimado las tasas de escorrentía. Es por ello que estos datos deben tomarse con mucha cautela y deben ser corroborados a través de estudios posteriores. Esta intensidad provoca escorrentía ya que se observó durante el mes de junio cuando la humedad de suelo es bastante elevada, dada las precipitaciones del mes de mayo, por lo tanto el suelo tenía menor capacidad de retención de la precipitación, lo que generó escorrentía.

Las intensidades máximas se observaron durante los meses de mayo, octubre y septiembre con 44.1, 30.6 y 30 mm/hora, respectivamente. Se observó una relación directa entre las intensidades de lluvia y la escorrentía que generan, especialmente para las intensidades máximas, dicha relación se notó con mayor claridad en el microdrenaje con maíz, y no tanto así en los otros dos sistemas de café y bosque, una vez más se refleja la importancia de la cobertura del suelo para evitar en gran medida la generación de escorrentía y erosión.

Como se observa en el Cuadro 3, el 60% de las precipitaciones durante el período de estudio se concentraron en un rango de intensidad entre 0 y 5 mm/hora, con un intervalo de retorno de 1.69 días, lo que significa que existe una probabilidad de ocurrencia del 59.3% de ese tipo de evento; se observó únicamente un evento de lluvia altamente intensa de 44.1 mm/h con un intervalo de retorno de 91 días y una probabilidad de ocurrencia del 1.1%, para el período de la medición comprendida entre mayo y octubre de 2003.

Cuadro 3.Caracterización de los eventos de precipitación observados durante el período de estudio.

Rango de intensidades (mm/h)	No.precipitaciones	Tr (días)*	Prob. Ocurrencia (%)**
0 – 5	54	1.69	59.3
5—10	18	5.05	19.8
10—15	7	13.00	7.7
15—20	3	30.33	3.3
20—25	3	30.33	3.3
25—30	2	45.50	2.2
30—35	2	45.50	2.2
35—45	1	91.00	1.1
	90		

Fuente: Ixmátá, 2003.

* Tr = tiempo de retorno, dado por la fórmula según Dunne y Leopold (1978), que es la siguiente: $(n + 1)/m$

Donde:

Tr = Tiempo de retorno o intervalo de recurrencia (días)

n = número total de eventos (número de días con precipitación)

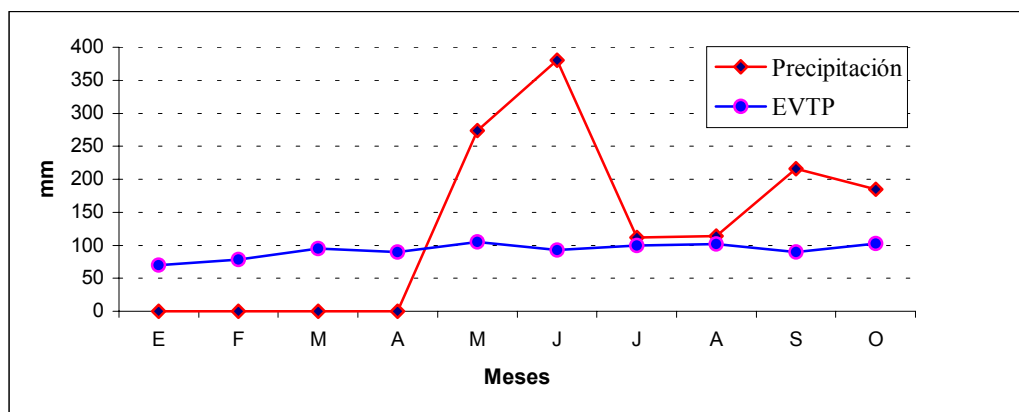
m = número de datos del rango en cuestión.

** Probabilidad de ocurrencia = $1/Tr$

Evapotranspiración potencial

Como se observa en el Cuadro 1, las tasas de evapotranspiración se acercaron bastante a las de precipitación durante los meses de julio y agosto, correspondiendo a los meses con menos lluvia, habiendo más días sin precipitación durante los meses de julio y agosto, con 17 y 16 días respectivamente, obligando a muchos productores tener que regar sus cultivos durante estos días. Caso contrario sucede para los meses más lluviosos (mayo, junio y septiembre) que al aumentar la precipitación, se ve una reducción en la evapotranspiración, exceptuando el mes de mayo que tiene la más elevada evapotranspiración, debido a las altas temperaturas durante ese mes.

Esto se refleja en la Figura 3, habiendo demanda de agua durante los meses de enero a abril, y a partir de mayo la precipitación genera una oferta de agua que supera la demanda por evapotranspiración.



Fuente: Ixmátá, 2003

Figura 3. Relación entre precipitación y evapotranspiración durante el período de estudio comprendido entre mayo y octubre.

Intercepción

En el microdrenaje cultivado con café bajo sombra (de aproximadamente 6 años), se observó en promedio un 45 % de intercepción por la cobertura tanto del cultivo en sí como de los árboles de la especie *Inga* usados como sombra. Donaire (2002) observó

en promedio un 47 % de intercepción en el mismo sitio de estudio durante los meses de septiembre y octubre del año 2002. Estos valores concuerdan con las estimaciones hechas por De las Salas y García (1995) para cultivos permanentes en Colombia, los cuales encontraron una intercepción de 48%.

Precipitación que llega al suelo

Durante los meses de estudio, se observó que en promedio 52% de la precipitación total atraviesa la cobertura vegetal (cultivo de café y árboles de *Inga* como sombra). Este porcentaje, no corresponde precisamente a la diferencia entre la precipitación total y la intercepción, debido a que cierta parte de esa precipitación es evaporada antes de llegar al suelo, Solís (1991); lo cual se demostró claramente durante los meses de julio y agosto cuando la tasa de evapotranspiración casi se igualaron a las de precipitación, llegando al suelo únicamente el 46.67 y 50% de la precipitación total durante julio y agosto respectivamente.

Escorrentía e infiltración

Durante el período lluvioso se observó en promedio un 6.6 % de escorrentía del total de precipitación del sitio y un 12 % del total de lluvia que atraviesa la cobertura. Esta tasa de escorrentía es menor a otros datos observados en cultivo de café como lo demuestra Solís (1991), quien encontró una tasa de escorrentía del 20 %. Lo cual se debe a que existe bastante material vegetativo que protege el suelo del impacto directo de la lluvia, con un promedio de 6.05% de materia orgánica en el horizonte A (García, 2001) y profundidades de 22 cm, según Hernández (2002), lo que hace que los suelos tengan alta capacidad de infiltración; observándose así en promedio una infiltración de 88 % de la precipitación que llega al suelo (precipitación neta). Por otra parte se llevó a cabo una prueba de infiltración con el método del cilindro de doble aro en el mes de julio, en la cual se comprobó la humedad alta del suelo, al llegar a una infiltración constante a los pocos minutos, en este caso a los 13 minutos, observándose una infiltración de 3 mm/hora, la cual se encuentra dentro del rango de tasas de infiltración básica de 1 a 5 mm/hora para suelos arcillosos, según Solís (1991). Por otra parte tal como lo muestra Gauggel (2003), que para suelos franco-arcillosos, las tasas de infiltración oscilan entre 0.2-1.5 cm/h.

Humedad del suelo

A finales del verano se observó un 18 % de humedad retenida en el suelo por efecto de la cobertura vegetal y a partir del mes de junio la humedad de suelo se observó superior a la capacidad de campo, que para suelos franco arcillosos Plaster (2000) reporta valores de 0.307 cm de agua/cm de suelo; y se obtuvieron valores de hasta 0.45 cm de agua/cm de suelo a finales del mes de septiembre.

Otra forma de representar las variables descritas anteriormente es a través de la Ecuación 5, sugerida por Turcios (1995), de la siguiente manera:

$$P = ETR + R + I + H \quad [5]$$

$$1281 \text{ m} \approx 593 + 74.5 + 531.7 + \Delta \text{ humedad suelo}$$

El cambio de la reserva de humedad del suelo corresponde a 82 mm durante todo el período de estudio.

BALANCE HÍDRICO EN EL MICRODRENAJE CULTIVADO CON MAÍZ

Los resultado de la medición del balance hídrico en el microdrenaje con uso de suelo agrícola, con cultivo de maíz, se observan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Balance hídrico en el cultivo de maíz (mm)

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Total
1) Precipitación (P)		274	380	112	114	216	185	1281
2)Evapotranspiración		105	93	100	102	90	103	593
3) P – EVT		169.3	286.6	11.5	12	126.1	82	782.5
4) Intercepción		---	---	---	19.5	47.7	17	83.7
5) P. que llega al suelo		274.3	379.6	111.5	91.4	168.4	47.2	1072.4
6) Escorrentía		69.9	93.1	21.3	22.7	38.0	10.1	255.1
7) Infiltración		158.0	205	45	68.5	130.3	37.1	407.9
8) cm agua/cm suelo al final de cada mes	0.17	0.22	0.34	0.30	0.32	0.43	--	

Fuente: Ixmátá, 2003.

Modelo sugerido por Dunne y Leopold (1978), adaptado a los datos colectados en el microdrenaje cultivado con maíz, durante el período de estudio.

Precipitación bruta

La precipitación bruta es la misma para los tres microdrenajes, la cual fue descrita en el balance hídrico del microdrenaje cultivado con café.

Intercepción

Dado que la siembra de maíz en el sitio de estudio se llevó a cabo a mediados del mes de junio, no se tienen datos de intercepción para los meses de mayo, junio y julio; sino hasta el mes de agosto cuando la planta superó los 30 cm de altura. La intercepción para agosto fue de un promedio de 17.8 %, 22 % para septiembre y un 25 % para octubre, los cuales superan los datos reportados por Dunne y Leopold (1978) que son de 16 % durante la etapa de crecimiento del cultivo, esto se debe a que el tipo de maíz cultivado en el área de estudio es un material criollo que desarrolla bastante follaje y alcanza alturas superiores a los 2 metros. Por otra parte Donaire (2002) encontró un promedio de intercepción en el cultivo de maíz en el mismo sitio de 25 % durante los meses de septiembre y octubre del año 2002.

Precipitación que llega al suelo

Durante los meses de mayo, junio y julio, el 100% de la precipitación cayó directamente al suelo sin atravesar algún tipo de cobertura que estuviera por encima de los 30 cm al cual se instalaron los medidores. Durante el mes de agosto el 80.17% de la precipitación atravesó la cobertura, durante septiembre un promedio de 78% y durante octubre se observó un promedio de 70.66 %, estas variaciones se debieron al aumento de densidad de la cobertura del maíz a medida que el cultivo fue desarrollándose.

Escorrentía e infiltración

Las tasas de escorrentía correspondientes a los meses de mayo, junio y julio arrojaron un promedio de 26% del total de la precipitación, datos que corresponden a los valores del Cuadro 4. En agosto, septiembre y octubre la tasa de infiltración promedio incrementó a 82% de la precipitación que llega al suelo y la tasa de escorrentía se redujo a 18% para los mismos meses. Solís (1991) indica que es muy compleja la medición de los procesos de infiltración y escorrentía aún en condiciones ideales, por lo tanto estas mediciones deben ser comprobadas con otros métodos automáticos con menor error humano; sin embargo, se pudo observar el impacto que tiene la cobertura vegetal sobre el incremento de la infiltración y la reducción de la escorrentía.

Humedad del suelo

Dado que en la parcela de maíz el suelo se encontraba cubierto por rastrojos de la cosecha anterior, antes del invierno se observó 0.17 cm de agua/cm de suelo muestreada, lo cual todavía no alcanza el punto de marchitez permanente que según Plaster (2000), es de 0.149 cm de agua/cm de suelo (14.9% de humedad), para suelos franco-arcillosos; por lo tanto es muy importante esta práctica para conservar la humedad de los suelos. Durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, se observó que la humedad de suelo estuvo por encima de la capacidad de campo del suelo, por lo que se generó escorrentía y por lo tanto erosión del suelo.

Utilizando la Ecuación 5, proporcionado por Turcios (1995), las variables descritas con anterioridad también pueden representarse de la siguiente manera:

$$P = ETR + R + I + H \quad [5]$$

$$1281 \text{ mm} \approx 593 + 255.1 + 407.9 + \Delta \text{ humedad suelo}$$

El cambio de la reserva de humedad del suelo en el microdrenaje con maíz corresponde a 25 mm durante todo el período de estudio.

BALANCE HÍDRICO EN EL MICRODRENAJE CON BOSQUE

En el Cuadro 5 se tienen las variables del balance hídrico para el microdrenaje cubierto por un bosque de pino ralo.

Cuadro 5. Balance hídrico para la parcela forestal (mm)

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Total
1) Precipitación (P)		274	380	112	114	216	185	1281
2)Evapotranspiración		105	93	100	102	90	103	593
3) P – EVT		169.3	286.6	11.5	12	126.1	82	782.5
4) Intercepción		80.6	114.1	31.0	34.4	57.6	19.6	337.2
5) P. que llega al suelo		193.7	265.5	80.5	79.6	158.5	47.2	825
6) Escorrentía		19.8	30.4	10.7	9.9	23.1	7.4	101.2
7) Infiltración		174.0	228.5	69.9	69.8	135.4	39.8	717.3
8) cm agua/cm suelo al final de cada mes	0.2	0.25	0.352	0.32	0.33	0.45	--	

Fuente: Ixmatá, 2003.

Modelo sugerido por Dunne y Leopold (1978), adaptado a los datos colectados en el microdrenaje con cobertura forestal, durante el período de estudio.

Precipitación bruta

La precipitación bruta es la misma para los tres microdrenajes, la cual fue descrita en el balance hídrico del microdrenaje cultivado con café.

Intercepción

Según los datos promedios de cada mes, se encontró que un 28% de la precipitación total es interceptada por la cobertura boscosa. Donaire (2002) encontró un 32% de intercepción en el mismo sitio durante los meses de septiembre y octubre del año 2002. Este porcentaje es mucho menor que la intercepción encontrada en café (45%), porque el bosque es ralo y además que las coníferas naturalmente tienen menor área foliar y por ende menos captación y no así en el caso del café que tiene un múltiple estrato de cobertura. Por otra parte, De las Salas y García (1995) reportan un promedio de 28% de intercepción para un bosque natural en Colombia, lo cual coincide con el dato observado.

Precipitación que llega al suelo

En promedio se observó que un 70% de la precipitación total, logra atravesar la cobertura y llegar hasta el suelo. La diferencia queda interceptada en la cobertura y una gran parte se evapora antes de llegar al suelo (Solís, 1991). Estudios realizados en Colombia por De las Salas y García (1995), demuestran que el 72 y 75% de la precipitación total atraviesa la cobertura de bosque natural de pino y eucalipto, respectivamente. Estos valores dependen en gran medida de la biomasa vegetal proporcionado por el tipo de uso del suelo, así como también de la intensidad de la lluvia (Hot, 1999).

Escorrentía e infiltración

Se observó en promedio de todos los meses una escorrentía correspondiente al 14% de la precipitación que llega al suelo (9.8% de la precipitación total). (Ferrati, et.al, 2000) reportan un rango de 10 a 20% de escorrentía en un bosque de pino en Argentina y (Pereyra, et.al 1999) reportan un rango de 8 a 17% en un bosque latifoliado en México. Así mismo se observó que un promedio de 86% de la precipitación que llega al suelo es infiltrado.

Humedad del suelo

Se observó que a finales del mes de junio, el contenido de humedad sobrepasó la capacidad de campo del suelo, al contener entre 0.35 y 0.45 cm de agua/cm de suelo, como se muestra en el cuadro 5.

Al representar las variables anteriormente descritas a través de la Ecuación 5, se tiene lo siguiente:

$$P = ETR + R + I + H \quad [5]$$

$$1281 \text{ m} \approx 593 + 101.2 + 717.3 + \Delta \text{ humedad suelo}$$

El cambio de la reserva de humedad de suelo en el microdrenaje con maíz, corresponde a 131 mm durante todo el período de estudio.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL BALANCE HÍDRICO ENTRE LOS TRES TIPOS DE COBERTURA

En el Cuadro 6 se encuentran los porcentajes de intercepción, escorrentía e infiltración correspondientes a cada microdrenajes, en cuanto a la evapotranspiración estimada por Donaire (2002) para el área de estudio, se cuenta con un promedio de 46% con respecto a la precipitación total del período de estudio, para los tres microdrenajes.

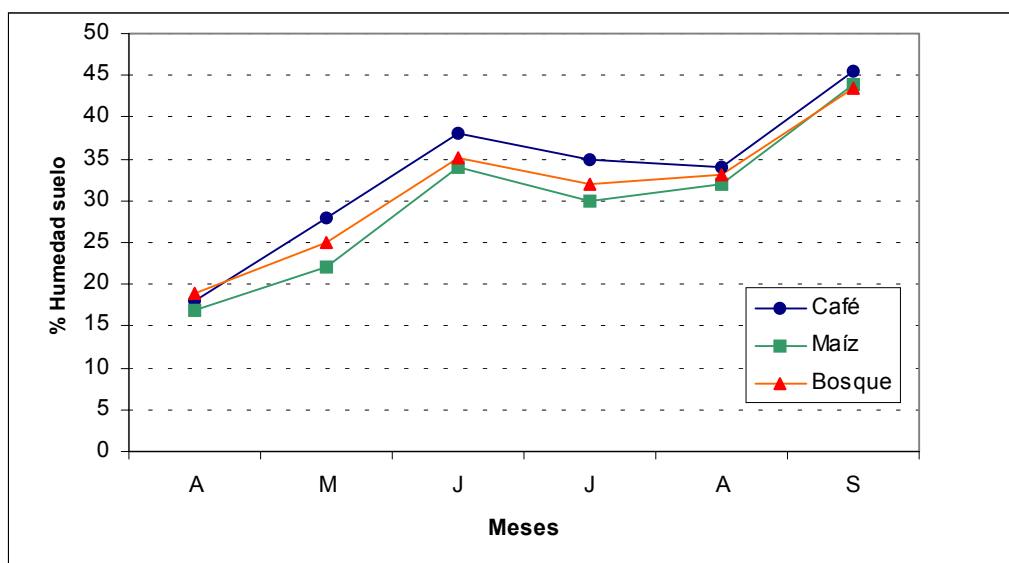
Cuadro 6. Resumen del balance hídrico en los tres microdrenajes estudiados

	Intercepción (%)	Escorrentía (%)	Infiltración (%)
Café	45	12	88
Maíz	22	18 (26*)	82 (74*)
Bosque	28	14	86

Fuente: Ixmatá, 2003

*Datos correspondientes a los meses sin cobertura de maíz (mayo, junio y julio).

En cuanto a la humedad del suelo registrada para los meses de estudio, se observa que el comportamiento es similar en los tres microdrenajes reflejando mayor humedad en el cultivo de café con respecto a los otros dos sistemas, tal como se observa en la Figura 4.



Fuente: Ixmatá, 2003

Figura 4. Humedad de suelo registrada en los tres microdrenajes durante los meses de estudio.

ANÁLISIS DEL PROCESO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN LOS TRES MICRODRENAJES ESTUDIADOS

Con los valores de volumen de suelo erosionado por volumen de escorrentía durante el período de estudio, se determinó la cantidad de suelo erosionado en cada microdrenaje, los valores se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Pérdida de suelo por erosión hídrica en cada microdrenaje

TM/ha/año					
			Estimaciones *	Datos observados	
Parcela	/	año	2002	2003	2003
CAFÉ			38.33	37.94	37.62
MAIZ			444	396.03	331.9
BOSQUE			5	---	58.4

* Fuente: Hernández, 2002 y Romero, 2003

Fuente de datos observados: Ixmatá, 2003

Las pérdidas de suelo por erosión hídrica para el microdrenaje cubierto con café-*Inga* fueron de 37.62 TM/ha durante los seis meses de estudio. Hernández (2002) estimó una pérdida de 38.33 TM/ha/año y Romero (2003) estimó pérdidas de 37.94 TM/ha/año, ambos para el mismo sitio y basándose en los valores correspondientes a la Ecuación Universal de Pérdida de suelo.

Para el microdrenaje cultivado con maíz, la pérdida de suelo fue de 331.9 TM/ha durante el período de estudio. Este valor es menor a los reportados por Hernández (2002) y Romero (2003), que corresponden a 444 TM/ha/año y 396.03 TM/ha/año respectivamente, en el mismo sitio de investigación. Esta pérdida de suelo se debe grandemente al impacto del cambio de uso del suelo de cultivos permanentes a otros con menor biomasa vegetal, tal como lo señala Fallas (1996) en estudios realizados en Costa Rica.

Las pérdidas de suelo por erosión en el microdrenaje con cubierta forestal fueron de 58.4 TM/ha durante los seis meses de estudio; este dato superó grandemente las estimaciones realizadas por Hernández (2002), usando la Ecuación Universal de suelo, que fueron de 5 TM/ha/año; esta gran variación se debió posiblemente a que dicha estimación se llevó a cabo únicamente en un sitio de menor pendiente del microdrenaje.

Los datos observados están basados en una sola colección de sedimento en las pilas, al final del período lluvioso; por lo cual estos datos hay que tomarlos con cierta cautela y deben ser evaluados en próximos estudios.

Pérdida de materia orgánica y nutrientes extractables en los tres microdrenajes estudiados

A partir de los resultados del análisis de laboratorio del sedimento acumulado en la salida de cada microdrenaje, en el Cuadro 8 se muestran las pérdidas calculadas por cada componente durante los seis meses de estudio.

Cuadro 8. Contenido de materia orgánica y nutrientes en el sedimento colectado

Parcela	M.O.	N	P	K	Ca	Mg
Kg/tonelada						
CAFÉ	54.7	2.7	0.028	1.18	1.61	0.21
MAÍZ	49.9	2.5	0.007	0.86	2.28	0.21
BOSQUE	55	2.7	0.026	0.544	4.66	0.12

Fuente: resultados de análisis de laboratorio del contenido de sedimento. Ixmatá, 2003.

Con base en los valores del cuadro 8 y las pérdidas de suelo observadas (Cuadro 7), se obtuvieron las pérdidas anuales de materia orgánica y nutrientes del suelo para cada microdrenaje, durante el período de estudio.

Cuadro 9. Pérdida anual de materia orgánica y nutrientes por erosión hídrica en cada microdrenaje

Parcela	M.O.	N	P	K	Ca	Mg
Kg/ha						
CAFÉ	2,057.81	101.57	1.05	44.39	60.57	7.90
MAIZ	16,561.81	829.75	2.32	285.43	756.73	69.70
BOSQUE	3,212.00	157.68	1.52	31.77	272.14	7.01

Fuente: Ixmatá, 2003.

La pérdida neta de materia orgánica en los microdrenajes cubiertos con café y bosque es mucho menor comparado con la que se tiene en el microdrenaje con maíz. Esto se debe a que tanto el cultivo de café como el bosque aportan mayores cantidades de materia orgánica al suelo comparados con lo que aporta el cultivo de maíz, lo que incrementa la tasa de infiltración y retención de humedad. Las pérdidas de materia orgánica en el microdrenaje con maíz están directamente relacionadas con las pérdidas totales de suelo por erosión durante el período estudiado.

Aunque en los tres sistemas estudiados hay pérdida de N, P, K, Ca y Mg en menor grado, siempre en el cultivo de maíz hay mayores pérdidas de estos elementos, es decir que el contenido de estos elementos en el sedimento erosionado es considerablemente más alto que en el suelo en situ, como se muestra en el Cuadro 10; ya que estos nutrientes están asociados fuertemente a los elementos coloidales (alófanos, arcillas y óxidos e hidróxidos de Fe) que son muy susceptibles a la erosión (Gauggel, 2003).

Cuadro 10. Relación entre el contenido de materia orgánica y nutrientes en una muestra de suelo y en una muestra de sedimento erosionado en cada microdrenaje.

%			ppm (extractable)			
Parcela de café	M.O.	N total	P	K	Ca	Mg
Suelo *	6.05	0.3	0.9	189	960	141
Sedimento	5.47	0.27	28	1180	1610	210
Parcela de maíz						
Suelo*	4.94	0.24	1.6	890	915	166
Sedimento	4.99	0.25	7	860	2280	210
Bosque						
Suelo*	10	0.54	0.54	146	1635	405
Sedimento	5.5	0.27	26	544	4660	120

Fuente: contenido de suelo, Hernández, 2002 y contenido de sedimento, Ixmatá, 2003

Recomendación de fertilización en las parcelas de café y maíz

Las cantidades de nutrientes a aplicar en las parcelas de café y maíz, están determinadas por la sumatoria de las pérdidas por erosión (Cuadro 9), los requerimientos nutricionales de los cultivos (Cuadro 11), las pérdidas por lixiviación (Cuadro 12), menos el contenido nutricional del suelo en cada microdrenaje (Cuadro 10) , todo expresado en Kg/ha/año.

Cuadro 11. Requerimientos de macronutrientes del cultivo de café y maíz.

	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha/año				
CAFÉ	200	60	120	91	54
MAÍZ	100	60	45	--	--

Fuente: Gauggel, 2003.

Las pérdidas de cada nutriente por lixiviación son variables, pero por lo general se encuentran valores de 30% para el Nitrógeno, 1% para Fósforo, 2% para Potasio, 1% para Calcio y 3% para Magnesio, del total de nutrientes requeridas por cada cultivo (Gauggel, 2003).

Cuadro 12. Pérdidas por lixiviación de nutrientes en los microdrenajes de café y maíz

	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha/año				
CAFÉ	60	0.6	2.4	0.91	1.62
MAÍZ	30	0.6	0.9	--	--

Fuente: Gauggel, 2003.

Los valores del Cuadro 13 corresponden a la sumatoria de las pérdidas por erosión y lixiviación y los requerimientos de cada cultivo (anualmente en el caso del café y por ciclo de cultivo en el caso del maíz)

Cuadro 13. Cantidad de nutrientes a suplir según pérdidas por erosión, lixiviación y requerimientos nutricionales de cada cultivo

	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha/año				
CAFÉ	361.6	61.65	166.8	152.51	63.52
MAÍZ	959.75	62.92	331.3	---	---

Fuente: Ixmatá, 2003.

Las cantidades a aplicar de cada nutriente en las parcelas de café y maíz, son dadas por la diferencia entre los valores del Cuadro 13 y el contenido nutricional de los suelos (Cuadro 10), expresado en Kg/ha.

Cuadro 14. Cantidades a aplicar de cada nutriente en cada parcela

	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha/año				
CAFÉ	253.6	58.76	--	---	---
MAÍZ	873.35	57.8	--	---	---

Fuente: Ixmatá, 2003.

Para la parcela de maíz, la recomendación de fertilización nitrogenada es bastante elevada, dada que la tasa de erosión es también elevada en dicha parcela, por lo tanto se recomienda realizar buenas prácticas de conservación y manejo de la fertilidad a través de incorporación de materia orgánica, fertilizantes nitrogenados, intercalar el maíz con alguna leguminosa, etc. El contenido de Potasio en los suelos del sitio de estudio supera las cantidades a aplicar, por lo tanto no se necesita aplicación alguna de dicho elemento.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 15 se observa que existe una correlación directa entre la precipitación y la intercepción, escorrentía e infiltración en los tres microdrenajes estudiados, esto quiere decir que a medida que aumenta el volumen de precipitación, también aumenta la intercepción, la escorrentía y la infiltración en términos generales; caso contrario sucede con la baja correlación existente entre la intensidad de la lluvia y las tasas de intercepción e infiltración, que a medida que aumenta la intensidad, la intercepción se reduce por efecto de la fuerza que llevan las gotas de lluvia que no permite que se atrapen en la cobertura vegetal, ocasionando un fuerte impacto sobre el suelo, lo que provoca una mayor escorrentía superficial y por lo tanto una reducción en las tasas de infiltración (Fallas, 1996), lo cual se observó especialmente en el microdrenaje con maíz.

Cuadro 15. Coeficientes de correlación entre precipitación e intensidad de la misma y las variables de intercepción, escorrentía e infiltración, para cada microdrenaje.

	Intercepción	Escorrentía	Infiltración
CAFÉ			
Precipitación	0.923	0.891	0.922
Intensidad	0.271	0.85	0.268
MAÍZ			
Precipitación	0.905	0.91	0.957
Intensidad	0.26	0.93	0.266
BOSQUE			
Precipitación	0.959	0.918	0.963
Intensidad	0.304	0.75	0.275

Fuente: Ixmatá, 2003.

Cuadro 16. Comparación de medias de la intercepción en los microdrenajes estudiados.

	N	Media (mm)	D.E.
CAFÉ	72	7.09a	6.35
MAÍZ	37	2.27b	2.25
BOSQUE	80	3.75c	4.07

Fuente: Ixmatá, 2003.

Valores con letras distintas difieren significativamente entre sí ($P < 0.05$)

N = número de datos, D.E. = Desviación estándar.

Como se puede observar en el Cuadro 16, existe varianza significativa de las variables de intercepción entre cada microdrenaje, debido a que son porcentajes bastante distintos de intercepción los que se encontraron en el estudio.

Cuadro 17. Comparación de medias de la escorrentía en los microdrenajes estudiados.

	N	Media (mm)	D.E.
CAFÉ	72	1.02ac	0.9
MAÍZ	61	1.914bd	1.6
BOSQUE	80	1.124cd	1.09

Fuente: Ixmatá, 2003.

Valores con letras distintas difieren significativamente entre sí ($P < 0.05$)

N = número de datos, D.E. = Desviación estándar.

Cuadro 18. Comparación de medias de la infiltración en los microdrenajes estudiados.

	N	Media (mm)	D.E.
CAFÉ	72	7.4ac	6.66
MAÍZ	61	6.38bd	3.34
BOSQUE	80	7.97cd	8.43

Fuente: Ixmatá, 2003.

Valores con letras distintas difieren significativamente entre sí ($P < 0.05$)

N = número de datos, D.E. = Desviación estándar.

Para el caso de la escorrentía y la infiltración, únicamente se observó diferencia significativa entre los microdrenajes de café y maíz. Esto ayuda a entender la importancia de los trabajos de extensión del proyecto PROCUENCAS y FAO, en la promoción de cultivos permanentes (frutales, café, otros.) y sistemas agroforestales en la microcuenca.

CONCLUSIONES

- Los análisis de los eventos de precipitación indican que en la microcuenca se presentan pocos eventos de altas intensidades, mayores de 40 mm/h, los cuales se presentan al inicio de la época lluviosa, cuando los suelos agrícolas se encuentran sin ninguna cobertura vegetal y por lo tanto expuestos a ser erosionados.
- El cambio de uso de la tierra de bosque o agroforestería a cultivos anuales, afecta la intercepción de la precipitación y por lo tanto, más cantidad de lluvia llega al suelo generando mayor potencial de escorrentía y erosión de los suelos.
- En el sitio de estudio los suelos con cultivos anuales como maíz están más sujetos a erosión y pérdida de nutrientes comparados con suelos con coberturas múltiples como café y bosque, en iguales condiciones de origen y bajo las mismas características climáticas.

RECOMENDACIONES

- Los programas de manejo de la microcuenca deben promover el manejo de cobertura de las parcelas agrícolas existentes, con la finalidad de proteger los suelos contra la erosión, especialmente durante el inicio de la temporada de lluvias.
- Continuar con la promoción de la protección forestal, el incentivo a sistemas agroforestales y frutales, que Zamorano a través de los proyectos FAO, ACDI Y USAID, han estado promoviendo ya que presentan la mejor alternativa para mantener y mejorar el balance hídrico en microcuencas productoras de agua para comunidades rurales.
- Desarrollar un programa que promueva el pago por servicio de agua de parte de los consumidores que se encuentran en la parte media y baja de la microcuenca, con la finalidad de proteger la zona de recarga de la misma.
- Instalar una estación hidrometereológica en la microcuenca para obtener un flujo de información con mayor frecuencia y así crear un registro de datos de la zona.
- Llevar a cabo un balance hídrico en toda la microcuenca para identificar las áreas más críticas de mayor impacto sobre la cantidad y calidad del agua captada.
- Corroborar los datos de escorrentía e infiltración a nivel de los tres microdrenajes mediante la instalación de medidores de flujos automáticos, para disminuir el error en la colección de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrantes, G. y Vega, M. 2000. Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca del río Savegre con fines de ordenamiento territorial. Costa Rica. 30 p.
- Benites, J.; Saintraint, D.; y Morimoto, K. 1994. Degradación de suelos y producción agrícola. Consultado el 20 de abril del 2003.
Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S08.htm>
- Caballero, L. 1995. Guidelines for developing a small experimental watershed for research and educational purposes, Panamerican School of Agriculture, Honduras Central America. Colorado State University.
- De las Salas, G. y García C. 1995. Balance hídrico bajo tres coberturas vegetales en la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal, Bogotá. Universidad Distrital, Bogotá Colombia. Consultado el 20 de septiembre del 2003. Disponible en: <http://iufro.boku.ac.at/iufro/iufro.net/d6/wu60304/ponencias/tema1/delassalasg.html>
- Donaire, G. 2002. Establecimiento de una red de monitoreo hidrológico en tres tipos de cobertura en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 38 p.
- Dunne, T. y Leopold, L., 1978. Water in Environmental Planning. W.H. Freeman and Company, United States. 818 p.
- Fallas, J. 1996. Cuantificación de la intercepción en un bosque nuboso, monte de los Olivos, cuenca del río Chiquito, Guanacaste Costa Rica. Notas técnicas. San José Costa Rica.
- Ferrati, R., Ruiz, D. y Canziani, G. 2000. Modelos de balance hídrico para analizar el cambio de régimen en un humedal sujeto a perturbaciones antrópicas y climáticas. Departamento de Matemática Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Consultado el 01 de octubre del 2003. Disponible en: http://agua.rediris.es/conferencia_iberdrola_2000/conferencia/documentos/ferrati.doc
- García, L. 2001. Estudio de línea base de suelos en un sitio de referencia en la microcuenca de El Zapotillo, Güinope, Honduras.. Tesis Ing. Agr., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 59 p.
- Gauggel, C. 2003. Apuntes de clase nutrición vegetal. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

- Hernández, J. 2002. Comparación costo-beneficio entre sistemas productivos y su relación con el estado nutricional de los suelos en tres microdrenajes en la microcuenca El Zapotillo, Güinope. Tesis Ing. Agr., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 104 p.
- Hewlett, J. 1982. Principles of Forest Hydrology. University of Georgia Press, Athens, Georgia. 183 p.
- Hot, R. 1999. Intercepción de lluvia por parte de la cubierta vegetal de una plantación de *Pseudotsuga menziessi* y un bosque nativo del tipo Coihue Raulí Tepa en la Reserva Forestal Malalcahuello IX región. Tesis de grado de ingeniería forestal. Universidad Austral de Chile. 109 p. Consultado el 14 de septiembre del 2003. Disponible en: <http://www.uach.cl/webantiguo/docen/facultades/facfor/extencio/tesis/1999/1999-hotklerob-e.htm>
- Medina, P. 2001. Plan de manejo participativo orientado a la protección y conservación del recurso agua en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Tesis Ing. Agr., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 98 p.
- Pereyra, D., Gomez, L. y Pérez A. 1999. Ecurrimientos máximos estimados para las cuencas de los ríos Tecolutla y Bobos del 3 al 9 de octubre de 1999. Universidad Veracruzana, Veracruz, México. Consultado el 11 de octubre del 2003. Disponible en: <http://www.smsp.org.mx/rhigiene/docs/Escurrimientos.doc>
- Plaster, E.J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 419 p.
- Romero, O. 2003. Línea de base de fertilidad, condiciones físicas de suelo y relación beneficio-costos de un sistema agroforestal y un cultivo anual en ladera. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 55 p.
- Schwab, G.; Frevert, R.; Edminster, T.; Barnes, K. 1990. Ingeniería de conservación de suelos y aguas. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México, D.F. 559 p.
- Solís, H. 1991. Curso de Hidrología. Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque, Honduras.
- Tucios, W. 1995. Producción y valoración económica del componente hídrico y forestal de los robledales de altura bajo intervenciones silviculturales. Tesis de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 80p.
- Vega, J. 2000. Evaluación de la cantidad, calidad y fuentes de contaminación de agua de la microcuenca El Zapotillo. Ing. Agr. Tesis. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 58 p.