

**Establecimiento de una red de monitoreo  
hidrológico en tres tipos de cobertura en la  
microcuenca El Zapotillo, Güinope, El  
Paraíso, Honduras**

**Guillermo Enrique Donaire Ramos**

**HONDURAS**  
Diciembre 2002

ZAMORANO  
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTE

**Establecimiento de una red de monitoreo  
hidrológico en tres tipos de cobertura 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

**Guillermo Enrique Donaire Ramos**

Honduras  
Diciembre, 2002

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

---

Guillermo Enrique Donaire Ramos

Zamorano, Honduras  
Diciembre, 2002

**Establecimiento de una red de monitoreo  
hidrológico en tres tipos de cobertura en la  
microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso,  
Honduras**

Presentado por

Guillermo Enrique Donaire Ramos

Aprobada:

---

Luis Caballero, M.Sc.  
Asesor Principal

---

Peter Doyle, M.Sc.  
Coordinador de la Carrera de  
Desarrollo Socioeconómico y  
Ambiente

---

Carlos Gauggel, Ph. D.  
Asesor

---

Antonio Flores, Ph. D.  
Decano Académico

---

Mario Contreras, Ph. D.  
Director General

## **DEDICATORIA**

A mi Dios por haberme dado la oportunidad de estudiar en Zamorano y por darme sabiduría todo este tiempo.

A mis padres, Hernán Donaire y Belquis Ramos por todo su amor y apoyo.

A mis hermanos, Belquis Maribel Donaire y Francisco Hernán Donaire.

A mi abuelita Mariana López Díaz.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Diosito santo porque sin su ayuda no hubiera logrado culminar mi carrera.

A mis padres, Hernán Donaire y Belquis Ramos por todo su amor y apoyo.

A mis hermanos, Belquis Maribel y Francisco Hernán por todo su cariño.

A mi tía Carmen y mi prima Yolandina por toda la ayuda que me brindaron y por sus consejos.

A mis asesores, Luis Caballero y Carlos Gauggel por todo el tiempo que dedicaron en enseñarme.

A Jorge Hernández, Rodolfo Díaz, Jorge Madrigal y Darling Ventura por toda su ayuda.

A Rony Estrada, Claudio Trabanino, Felipe Gonzáles, Paulo Cesar Flores, Manuel Padilla y Carlos Ardon por todo el apoyo brindado durante el tiempo en que realice mi tesis.

## RESUMEN

Donaire Ramos, Guillermo Enrique. 2002. Establecimiento de una red de monitoreo hidrológico en tres tipos de cobertura en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Zamorano, Honduras.

En muchas zonas de Honduras existe una falta de registros climáticos e hidrológicos debido a que no se cuenta con los instrumentos de medición necesarios. A través del presente estudio se estableció una red de monitoreo hidrológico en un sitio de referencia ubicado en la microcuenca El Zapotillo para la medición de variables hídricas (precipitación, temperatura, intercepción, escorrentía, infiltración y caudal). También se hizo un cálculo preliminar del balance hídrico para el sitio de referencia utilizando el método propuesto por Holdridge el cual hace uso de datos históricos de precipitación y temperatura. El sitio de referencia esta formado por tres microdrenajes cada uno con usos de suelo diferente (Inga, Café-inga, cultivos anuales) los cuales se equiparon con: dos pluviómetros horizontales; una parcela de escorrentía de 80 x 80 cm. y un vertedero para la medición de caudal. Además se instaló un pluviómetro y un termómetro digital a campo abierto representativo para todo el sitio. Los resultados de intercepción por coberturas muestran que café-ingas intercepta la mayor cantidad de lluvia (47%), seguido de la cobertura inga (32 %) y por último maíz (25%). Según el balance hídrico realizado por el método de Holdridge los suelos en esta zona tienen una capacidad de campo de 125 milímetros y un potencial de escorrentía de 83 milímetros mensuales para la época lluviosa (Mayo-Octubre), sin embargo, debido a que los instrumentos para medición de escorrentía no pudieron ser instalados a tiempo este dato no se pudo corroborar. Es importante que se le de continuidad a este estudio para poder hacer un balance hídrico con datos reales de la microcuenca que nos permita conocer su estado real.

**Palabras claves:** Balance hídrico, infiltración, intercepción microdrenajes, parcela de escorrentía, pluviómetros horizontales, precipitación, vertedero.

## **NOTA DE PRENSA**

### **EL BALANCE HIDRICO COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS**

Los recursos naturales del planeta se destruyen y degradan a un ritmo sin precedentes. Esta situación es particularmente crítica en los países de las regiones tropicales y subtropicales. El agua es el recurso que más preocupa a la población mundial, se estima que para el año 2050 habrá una grave escasez de agua, tanto en cantidad como en calidad en todo el mundo. Podríamos asegurar que el desarrollo de estos países pobres podría basarse en la producción de agua, un negocio que con el transcurso del tiempo se vuelve más interesante y rentable. Es por ello que se necesitan herramientas útiles para administrar las cuencas hidrográficas.

La hidrología de cuencas permite identificar el movimiento de agua a través de las coberturas vegetales y suelo, esta información es esencial para diseñar modelos de manejo de la cuenca orientados a maximizar la producción de agua y proteger su calidad. Una alternativa para que los países en vías de desarrollo manejen eficientemente las zonas productoras de agua, es que éstos tomen decisiones con base a mediciones objetivas del balance hídrico. Una de las dificultades es la obtención de datos climáticos e hidrológicos debido al alto costo de los instrumentos.

Este año se instalaron los instrumentos básicos para la medición de variables hidrológicas en un sitio de referencia en la Microcuenca El Zapotillo, Güinope. El propósito es iniciar un proceso continuo de monitoreo de datos hidrológicos y evaluar como estos parámetros son afectados por cambios en el uso de la tierra. La meta final es entender mejor el comportamiento hídrico de la cuenca a fin de proponer prácticas de manejo sostenibles a los productores de la zona.

---

Licda. Sobeyda Alvarez

## CONTENIDO

	Portadilla.....	ii
	Autoría.....	iii
	Página de firmas.....	iv
	Dedicatoria.....	v
	Agradecimientos.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Índice de cuadros.....	xi
	Índice de figuras.....	xii
	Índice de fotos.....	xiii
	Índice de anexos.....	xiv
<b>1</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1	ANTECEDENTES .....	2
1.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	2
1.4	OBJETIVOS.....	3
<b>2</b>	<b>REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1	CUENCA HIDROGRÁFICA.....	4
2.2	CICLO HIDROLÓGICO.....	4
2.3	BALANCE HÍDRICO.....	5
2.3.1	Precipitación.....	5
2.3.1.1	Tormentas ciclónicas o de frente.....	6
2.3.1.2	Tormentas Convectivas.....	6
2.3.1.3	Tormentas orográficas.....	6
2.3.2	Infiltración.....	7
2.3.3	Escorrentía.....	7
2.3.4	Evapotranspiración.....	8
2.3.5	Intercepción.....	9
2.3.5.1	Componentes de la intercepción.....	9
2.4	COBERTURAS VEGETALES.....	10
2.5	EROSIÓN.....	11
2.6	AGUAS SUBTERRANEAS.....	11
2.7	SWAT ( <i>Soil and Water Assessment Tool</i> ).....	12
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	13
3.2	SELECCIÓN DEL SITIO .....	13

3.3	MAPA DEL SITIO DE REFERENCIA .....	13
3.4	MEDICIÓN DE LAS VARIABLES HÍDRICAS.....	14
3.4.1	Precipitación bruta.....	14
3.4.2	Precipitación que llega al suelo.....	14
3.4.3	Intercepción por la cobertura.....	14
3.4.4	Infiltración y escorrentía.....	14
3.4.5	Porcentaje de humedad en el suelo.....	15
3.5	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO POR EL MÉTODO DE HOLDRIDGE.....	15
4	RESULTADOS Y DISCUSION.....	18
4.1	INSTRUMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA EL ZAPOTILLO.....	18
4.1.1	Vertederos de flujo "V-notch-weir".....	18
4.1.2	Medidores de infiltración y escorrentía.....	20
4.1.3	Pluviómetros horizontales.....	21
4.1.4	Pluviómetro y termómetro digital.....	22
4.2	BALANCE HÍDRICO POR EL MÉTODO DE HOLDRIDGE.....	23
4.3	INTERCEPCIÓN POR LAS COBERTURAS.....	25
4.4	HUMEDAD DEL SUELO.....	25
5	CONCLUSIONES.....	28
6	RECOMENDACIONES.....	29
7	BIBLIOGRAFIA.....	30
8	ANEXOS.....	32

## INDICE DE CUADROS

### Cuadro

1	Balance hídrico por el método de Holdridge.....	25
2	Porcentaje de humedad del suelo en las diferentes coberturas.....	27

**INDICE DE FIGURAS**

## Figura

1	Ilustración del proceso de infiltración y escorrentía.....	8
2	Instrumentación de coberturas para medir intercepción.....	11
3	Ilustración de los vertederos “V-notch”.....	20
4	Relación precipitación vrs. evapotranspiración.....	24
5	Intercepción de las coberturas en porcentaje de la precipitación bruta.....	26

## INDICE DE FOTOS

Foto

1	Vertedero de flujo a la salida del drenaje con cobertura Inga.....	21
2	Cuadro metálico para medición de infiltración y escorrentía.....	22
3	Pluviómetro horizontal en la cobertura café-inga.....	23
4	Pluviómetro digital en campo abierto.....	24

**INDICE DE ANEXOS**

## Anexo

1	Tabla de cálculos para la precipitación que llega al suelo en septiembre.....	32
2	Tabla de cálculos para la precipitación que llega al suelo en octubre.....	32
3	Resumen de la intercepción por tipo de cobertura.....	33
4	Intensidad de las precipitaciones para septiembre y octubre.....	34
5	Resumen de las variables climáticas de precipitación y temperatura.....	35
6	Grafica de precipitación y temperaturas diarias para septiembre y octubre.....	36
7	Resumen de la precipitación que llega al suelo (mm).....	37
8	Resumen de costos en la instrumentación.....	38
9	Mapa del sitio de referencia.....	39

## 1. INTRODUCCION

Según la FAO, los bosques naturales de las regiones tropicales y subtropicales del mundo se destruyen a una tasa de 15.4 millones de ha/año. A este ritmo, estos ecosistemas forestales desaparecerán en un periodo de unos 127 años. Los bosques de América Central para el año 1995 exhibían una tasa de deforestación de 411720 ha/año (47 ha/hora). Sin duda la degradación de los recursos naturales es acelerada lo que traerá consecuencias negativas a nuestro entorno tales como: degradación del suelo, reducción en la disponibilidad y calidad del agua y el aumento de la vulnerabilidad a desastres naturales tal como ocurrió hace cuatro años con el paso del huracán Mitch.

El agua es el recurso natural que mayormente influirá en el desarrollo sostenible de muchos países sin importar si estos son desarrollados o si se encuentran en vías de desarrollo. A medida que la población se duplica la demanda de agua incrementa por un factor de siete. Paralelo a esto crece la necesidad de espacio para la ubicación de nuevas poblaciones convirtiéndose así las partes altas de las cuencas hidrográficas en un espacio para el establecimiento de estas personas y sus actividades económicas. Esto en otros términos se traduce en degradación de los recursos naturales por la excesiva y acelerada deforestación para destinar las tierras a actividades agrícolas que a la larga son insostenibles. Lo anterior tiene un fuerte impacto sobre las fuentes de agua entre los que se señalan el aumento de la cantidad de coliformes fecales, disminución de la cantidad y calidad del agua, disminución de la diversidad acuática etc. En términos generales la carencia de acciones de manejo integral de las cuencas provoca pérdidas económicas, sociales y ambientales drásticas a escala mundial.

Las cuencas hidrográficas en los países en vía de desarrollo se caracterizan por un continuo deterioro producto del uso irracional de los recursos naturales. Este comportamiento de las sociedades es continuo debido al alto crecimiento poblacional y a la falta de estrategias de desarrollo sostenible. Es por ello imperativo iniciar procesos de manejo de los recursos naturales a nivel de cuencas antes de que la degradación llegue a niveles irreversibles. Si no se toman acciones concretas a corto y mediano plazo, la escasez de agua será inminente, ya que la ausencia de bosques va a causar cambios drásticos en el régimen hídrico, disminuyendo la cantidad de agua de los ríos en la época seca y provocando inundaciones, arrastre de sedimentos y desborde de cauces en la época lluviosa.

Debido a esta problemática se incrementa el interés por realizar estudios enfocados al manejo integrado y sostenible de cuencas. Con el presente estudio se estableció una red de monitoreo hidrológico que servirá para medir los diferentes parámetros que participan en el ciclo hidrológico. La finalidad es poder cuantificar los efectos sobre la erosión y la

producción de agua causados por el cambio en el uso de las tierras y con base a esto formular un plan de manejo que se enfoque en corregir estos problemas.

### **1.1 ANTECEDENTES**

El proyecto UNIR-Zamorano realizó estudios descriptivos de la comunidad de Güinope, incluyendo la comunidad barrio Arriba y barrio la Reforma pertenecientes a la microcuenca, el cual describe y cuantifica recursos naturales, servicios y economía de la comunidad (UNIR, 1997). También como estudio de tesis, se realizó una caracterización y evaluación participativa de aspectos biofísicos y socioeconómicos. La información generada en el aspecto biofísico consiste en los mapas de uso, capacidad de uso y de conflicto en el uso de la tierra (Rodríguez, 1999). Asimismo Vega (2000) realizó una evaluación de la calidad, cantidad y fuentes de contaminación del agua de la microcuenca, este estudio determinó que en la época de verano existían problemas de coliformes fecales en el agua de consumo.

La primera etapa de investigación para este estudio la realizó García (2001) que fue “Estudio de línea base de suelos en un sitio de referencia en la microcuenca El Zapotillo” donde se caracterizó las condiciones físicas y químicas de los suelos del sitio.

### **1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA**

El 86% del territorio Hondureño cuenta con una topografía montañosa y un 60% de su población vive en el área rural ante una situación de extrema pobreza. Esto en conjunto ha contribuido a que los habitantes no tengan otra opción que utilizar las tierras de laderas en actividades agrícolas. El problema es aun mayor debido a que no toman en cuenta las medidas adecuadas para la conservación de suelos, provocando así, procesos de erosión, contaminación de las fuentes de agua y pérdidas en la fertilidad de los suelos.

En el municipio de Güinope departamento de El Paraíso existe un caso muy particular de esta problemática en una zona alta de la montaña. Se trata de la microcuenca El Zapotillo la cual presenta un estado de degradación avanzado producto de la deforestación con fines agrícolas y ganaderas. La erosión es el factor más preocupante ya que afecta la fertilidad del suelo, producción de los cultivos, contaminación de las fuentes de agua y pérdida de agua por escorrentía. Este es un problema serio ya que la microcuenca brinda agua a unas 60 familias del barrio La Reforma.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Es esencial estudiar los procesos hidrológicos para determinar el estado de degradación en que se encuentra la microcuenca y con base a esto tomar decisiones acertadas hacia su manejo. La importancia de este estudio se basa en la creación de un marco de referencia para la valorización económica de los impactos que tiene el cambio en el uso de la tierra a nivel de microcuencas. Para poder llegar a esto se debe calcular un balance hídrico que sin la red de monitoreo sería imposible ya que se necesitan mediciones de los parámetros

que forman parte del proceso del ciclo hidrológico. Este estudio ayudara a mejorar el entendimiento de los efectos del cambio en el uso de la tierra sobre la contaminación y reducción de las fuentes de agua. Además, brindará información relacionada a los procesos de erosión y esto podrá ser utilizado como base para futuros estudios relacionados al pago por servicios ambientales.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general:**

Establecer la red de monitoreo hidrológico para la Microcuenca El Zapotillo con fines de elaborar un balance hídrico.

### **1.4.2 Objetivos específicos:**

- ✎ Establecer instrumentos para la medición de variables hídricas en un sitio de referencia dentro de la microcuenca El Zapotillo.
- ✎ Desarrollar el balance hídrico preliminar para el sitio de estudio por el método de Holdridge a partir de datos históricos.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 CUENCA HIDROGRÁFICA**

Cuenca hidrográfica es un área que drena en un cauce común y en la cual interactúan hombre, animales y plantas, generando ecosistemas específicos, cuyo funcionamiento involucra muchos procesos geológicos, físicos, químicos, biológicos y humanos (Hynes, 1972). Según Aparicio, 1997, la cuenca es una zona de superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida y que responde al estímulo que recibe del ciclo hidrológico; ambos están controlados por las características de la cuenca y su urbanización.

Las cuencas hidrográficas están en constante modificación. Su grado de alteración depende de la intensidad de los procesos erosivos de los suelos debido a las lluvias, a degradación de la cobertura vegetal, de su geología y especialmente de la acción de la sociedad humana que en su afán de un “mejor acondicionamiento” no repara en destruir el ordenamiento natural que es el más armónico y permanente dentro de un ecosistema (Gordon, 1999).

### **2.2 CICLO HIDROLÓGICO**

Para estudiar el comportamiento de una cuenca hidrográfica es necesario entender las entradas y las salidas físicas del área de captación, es decir, el ciclo hidrológico y sus procesos en la cuenca. Se necesita también entender que las funciones hidrológicas están determinadas por un cierto número de factores, entre ellos: clima local, condiciones fisiográficas e impactos del uso de la tierra, todos los cuales deben ser estudiados y entendidos antes de formular un plan de manejo y de desarrollo de la cuenca (Salas, 1987).

El ciclo hidrológico se define como los movimientos y cambios de estado que realiza el agua dentro de la naturaleza (Holdridge, 1987). Las tres fases del ciclo hidrológico de particular interés en la agricultura son la infiltración, la evaporación y la transpiración (Schwab *et al.*, 1990).

## 2.3 BALANCE HÍDRICO

El fenómeno biofísico más importante dentro de una cuenca lo constituye la entrada y salida del agua del sistema, lo cual determina el balance hídrico (Townsend, 1980). Para estudiar el comportamiento de una cuenca hidrográfica, es necesario entender esas entradas y salidas que se presentan en el área de captación, y comprender que las funciones hidrológicas están influenciadas por varios factores, entre ellos, el tamaño y la intensidad de los eventos de precipitación y las características de la cobertura vegetal (Turcios, 1995).

Según Turcios (1995), el balance hídrico de una cubierta forestal puede expresarse en términos de las siguientes formulas:

$$P = ETR + R + I + H$$

Donde:

P = precipitación sobre el bosque

ETR = evapotranspiración

R = escorrentía

I = infiltración

H = variaciones de la reserva de agua del suelo

$$P = P \text{ suelo} + P \text{ tallo} + I$$

Donde:

P suelo = precipitación que atraviesa el dosel

E tallo = escurrimiento por el tallo

I = intercepción

### 2.3.1 Precipitación

La precipitación es la variable principal del ciclo hidrológico, y puede definirse como el agua en forma líquida o sólida que alcanza la superficie terrestre (Elias y Castellvi, 1996). La medición se expresa en forma de milímetros de lluvia, y equivale al espesor de una lamina de agua que se acumularía sobre una superficie horizontal donde no hubiera filtración, evaporación ni escorrentía (Fuentes, 1989).

La medida de precipitación se expresa, también, en forma de litros de agua caída por metro cuadrado de superficie horizontal. Un milímetro de altura de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado de superficie.

Las precipitaciones líquidas son de tres tipos: llovizna, lluvia y chubasco:

La **llovizna** procede de nubes densas y muy bajas. Esta formada por gotas muy pequeñas y muy numerosas que caen pausadamente.

La **lluvia** es un tipo de precipitación líquida formada por gotas grandes que caen de un modo uniforme. Las nubes que producen lluvia son nubes bajas, espesas y de desarrollo horizontal. La lluvia puede durar varias horas, ya que las nubes que la producen suelen ocupar una gran extensión.

Se llama **chubasco**, **aguacero** o **chaparrón** a un tipo de precipitación por gotas muy gruesas, que empieza y termina de una forma brusca, y que varía violentamente su intensidad a lo largo de la precipitación. Los chubascos duran poco tiempo porque las nubes que los producen son de desarrollo vertical y, aunque tienen un gran espesor, alternan con claros en el cielo.

Parte de la precipitación se evapora parcial o totalmente antes de llegar al suelo. La que llega a la superficie de la tierra puede ser interceptada por la vegetación, infiltrarse a través de la superficie del suelo, evaporarse o escurrir por la superficie (Schwab *et al*, 1990).

Los tipos de tormenta pueden clasificarse en:

#### **2.3.1.1 Tormentas ciclónicas o de frentes**

Esta asociada con el movimiento de masas de aire desde regiones de altas presiones a regiones de bajas presiones. Estas diferencias de presión se crean como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre.

#### **2.3.1.2 Tormentas convectivas**

Resulta por un calentamiento del aire en la superficie terrestre, con la consiguiente expansión y disminución de su densidad. El ascenso convectivo que tiene lugar convierte al aire húmedo y caliente en inestable, desarrollándose corrientes verticales pronunciadas. El enfriamiento dinámico o adiabático que se produce causa la condensación y la precipitación.

#### **2.3.1.3 Tormentas orográficas**

Se forma cuando el aire se eleva y enfría a causa de un obstáculo orográfico como ser una montaña. Las masas de aire húmedo tienden a elevarse produciéndose un enfriamiento originando nubes que pueden desembocar en precipitación.

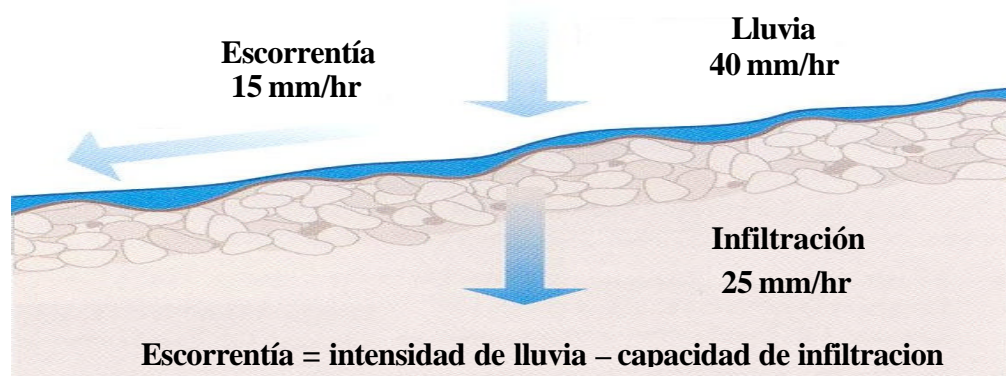
### 2.3.2 Infiltración

Según Aparicio (1997), la infiltración es el movimiento de agua a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de la fuerza gravitacional. El término infiltración se refiere específicamente a la entrada del agua hacia el interior del suelo (Schwab *et al*, 1990). Las velocidades de infiltración se expresan en profundidades de agua por unidad de tiempo, por ejemplo en centímetros por hora.

Las velocidades de infiltración están estrechamente relacionadas con la extensión de los espacios porosos grandes, interconectados, que hay en el suelo. Las arenas gruesas y los terrenos con partículas bien agregadas suelen tener muchos poros grandes (y mayores velocidades de infiltración) que las arcillas dispersas o que los suelos cuyos espacios porosos han disminuido de tamaño por compactación o por descomposición de los agregados edáficos (Booher, 1974).

La infiltración es de sumo interés, ya que el agua debe pasar primero a través de la superficie del suelo si es que se desea conservarla y hacerla llegar a las plantas. Cuando el grado de infiltración es alto, menor cantidad de agua correrá por la superficie del suelo y se reducirá la erosión. La infiltración es la única fuente de humedad del suelo para mantener el crecimiento de la vegetación y el suministro de agua subterránea a los pozos, veneros y arroyos (Schwab *et al*, 1990).

**Figura 1. Ilustración del proceso de infiltración y escorrentía**



Fuente: material de clases del curso Manejo Integrado de Cuencas, 2002.

### 2.3.3 Escorrentía

La escorrentía es la parte de la precipitación que llega a la red de drenaje de la cuenca y que fluye por ella dando lugar a los caudales líquidos (Tragsa, 1998). El escurrimiento es

la parte de la precipitación que en forma de corriente superficial o subterránea se abre camino hacia los arroyos, lagos u océanos.

Se pueden distinguir dos tipos de escorrentías generadoras de caudales. En primer lugar están las escorrentías rápidas, que discurren por la superficie del terreno y por tanto llegan a los cauces en poco tiempo; estos volúmenes de agua son los causantes de los caudales punta de las avenidas. En segundo lugar, están las escorrentías superficiales y subterráneas que alimentan los cauces de una forma lenta y dando como resultado el caudal base que discurre por la red entre tormenta y tormenta (Tragsa, 1998).

Los factores que intervienen en la escorrentía son numerosos y pueden citarse como principales, entre otros, los siguientes:

Factores agro climáticos: Cantidad, intensidad y duración de la lluvia; distribución de la precipitación respecto al tiempo y al área de la cuenca; condiciones precedentes de humedad en el suelo; intercepción causada por la cubierta vegetal, variable según la especie y densidad de la vegetación, época del año, etc., valor de la evapotranspiración, que es variable según la temperatura, presión y humedad atmosférica; radiación solar, etc.

Factores fisiográficos: entre estos cabe destacar la extensión; forma y pendiente media de la cuenca de recepción en estudio; condiciones de la superficie del terreno como, por ejemplo, geología, tipo de suelo, permeabilidad, labores de cultivo, densidad de la red hidrográfica y capacidad de evacuación de la misma, etc.

#### **2.3.4 Evapotranspiración**

Se define la evaporación como la vaporización de un líquido en la superficie que le separa de la fase gaseosa con la cual esta en contacto. La transpiración es un proceso consistente en la eliminación por evaporación de una parte del agua absorbida por las plantas. Estas dos definiciones introducen el concepto de uso generalizado evapotranspiración (ET), que combina los dos procesos descritos, y que se refiere a la pérdida de agua desde una superficie con cubierta vegetal (Elias y Castellvi, 1996).

Matemáticamente se expresa por la suma de los dos componentes:

$$ET = E_s + T$$

Donde:

ET: evapotranspiración

$E_s$ : evaporación del agua del suelo

T: evaporación del agua absorbida por las plantas

Se estima que alrededor del 75% de la precipitación bruta sobre los continentes es devuelta a la atmósfera por medio de la evaporación y de la transpiración; y del agua restante, la mayor parte llega a los océanos en forma de corrientes superficiales o subterráneas (Schwab *et al*, 1990).

### 2.3.5 Intercepción

En áreas provistas de cobertura vegetal, una parte de la precipitación es interceptada, una porción es devuelta a la atmósfera desde la superficie de las hojas, y la otra, gotea entre la vegetación o se desliza por sobre la misma, hasta llegar al suelo (Holdridge, 1987). Los bosques latifoliados interceptan bastante lluvia por tener una capa de vegetación densa, superficie de hojas colectivamente grandes, y acumulación de materia orgánica bajo sus copas. Estos bosques además capturan mucha lluvia y actúan como condensadores de precipitación oculta en zonas altas donde las nubes chocan con los árboles.

La especie y tipo de población forestal afectan al balance hidrológico, debido principalmente a la morfología de las ramificaciones y a la caída de la hoja durante el invierno. En experiencias llevadas a cabo en Francia y Alemania con distintas especies forestales, se ha encontrado que en general las poblaciones de coníferas interceptan bastante más agua que las poblaciones de latifoliadas. Porcentaje de intercepción del orden de un 30% son frecuentes en las poblaciones de coníferas, mientras que en las latifoliadas se han encontrado diferencias entre las épocas con hojas (19%) y sin hojas (15%) (Elias y Castellvi, 1996).

Según Pereira ya se tienen publicados suficientes datos para establecer que la intercepción depende primordialmente del carácter físico de la lluvia. Lluvias muy ligeras de tamaños de gota pueden ser interceptadas totalmente, mientras que lluvias fuertes o pesadas, en las cuales el tamaño de las gotas es muy grande, saturan rápidamente la cobertura y transmiten la mayor parte del agua hacia estratos inferiores (Salas, 1987).

#### 2.3.5.1 Componentes de la intercepción

Los componentes del proceso de intercepción, métodos de medición y deposición como resultado de la precipitación son ilustrados en la figura 2.10. La intercepción por el bosque se define como:

$$I_c = P_g - T_h - S_f.$$

Donde:

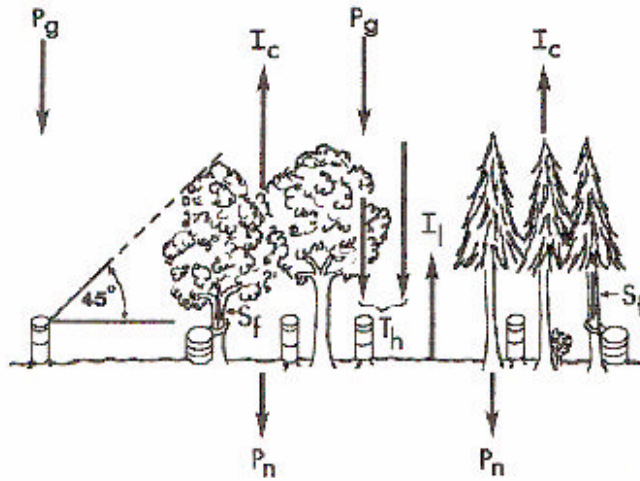
$I_c$  = pérdida por intercepción (mm)

$P_g$  = Precipitación bruta (mm)

$T_h$  = precipitación que atraviesa la vegetación

$S_f$  = agua que fluye por los tallos

**Figura 2. Instrumentación de coberturas para medir intercepción**



Intercepción total  $I = I_c + I_i$

Cantidad que alcanza el bosque =  $T_h + S_f$

Intercepción cobertura =  $I_c = P_g - T_h - S_f$

Intercepción neta  $P_n = T_h + S_f - I_i$

Fuente: Dunne, T. y Leopold, L., 1978. Water in Enviromental Planning.

## 2.4 COBERTURAS VEGETALES

Los árboles tienen un valor múltiple como defensores de la superficie de la tierra, aumentando la infiltración y precolación, captando precipitación horizontal u oculta, sombra, etc. Una adecuada cubierta forestal ayuda a regularizar el caudal de los ríos y a evitar los problemas de sedimentación, porque los grados de infiltración son por lo general mas altos bajo cobertura boscosa que en terrenos cultivados o en pastizales (Salas, 1987). Se reconoce que el bosque, en su condición natural, ofrece un óptimo régimen de aguas y capacidad de conservar el suelo; pese a ello, existen grandes extensiones de terrenos degradados y el problema de las inundaciones se hace cada día mayor.

El manejo de las coberturas vegetales en las cuencas hidrográficas es muy importante para minimizar las tazas de esorrentía superficial y el arrastre de sedimentos por unidad de superficie (Salas, 1987). En un estudio llevado acabo en Colombia se determino que un cafetal produce 2.2 ton/ha/año de sedimento y un cultivo de maíz bajo las mismas condiciones edáficas y climáticas produjo 166 ton/ha/año.

## 2.5 EROSIÓN

Los estudios sobre la erosión hídrica y modelos para evaluar las pérdidas de suelo, según los distintos tipos de erosión, comienzan prácticamente en nuestro siglo, con las investigaciones y experiencias del Servicio Forestal de los Estados Unidos (1915) y de M.F. Miller (1917), analizando los efectos de distintas coberturas vegetales y la rotación de cultivos sobre la escorrentía y la erosión en parcelas experimentales (Tragsa, 1998)

Erosión es un proceso geomorfológico que ocurre de forma natural en las laderas y consecuentemente en las cuencas hidrográficas. Pero por muchas razones ha sido acelerada como consecuencia de las modificaciones de la vegetación, de la superficie de la tierra y a la modificación del movimiento de agua por parte del ser humano entre otros.

La erosión es uno de los problemas agrícolas de mayor importancia en el mundo. Representa el origen principal de los sedimentos que contaminan las corrientes de agua que llenan los lagos y las represas. También contribuye a la degradación de los compuestos que nutren a los vegetales y que se pierden con el escurrimiento (Schawab *et al*, 1990).

Los problemas de erosión en Latinoamérica y el Caribe se han venido presentando desde hace mucho tiempo, mucho antes del establecimiento del hombre inclusive. En el transcurso de las décadas se han venido estudiando y reportando muchos efectos relacionados con los impactos erosivos, muchos de los efectos tienen directa relación con otras formas de degradación de la tierra, agotamiento de los nutrientes, deterioro de las propiedades físicas y químicas, o en la reducción en la capacidad de retención.

## 2.6 AGUAS SUBTERRÁNEAS

La zona subterránea saturada o zona freática es la mayor fuente de agua fresca descongelada en el mundo. Constituye el 21% de toda el agua fresca del mundo y 97% de toda el agua fresca descongelada en la tierra. A esta zona subterránea se le conoce también como acuífero. Un acuífero se define como cualquier capa subterránea que tiene rocas permeables capaces de contener agua. El agua que corre por los acuíferos se les llama aguas subterráneas. El agua subterránea es una fuente importante de agua fresca utilizable en muchas partes del mundo donde las fuentes superficiales son escasas. Los bosques tienen un efecto positivo sobre las subterráneas particularmente donde la tabla de agua está cerca de la superficie.

## **2.7 SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)**

El SWAT es un modelo que permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua, en cuencas hidrográficas. El modelo también permite calcular la calidad del agua por el efecto de las prácticas agronómicas de los cultivos como la utilización de herbicidas y fertilizantes.

Actualmente el SWAT posee una interfase con ArcView 3.2a, la cual hace más sencillo su manejo y utilización. Existen versiones anteriores de SWAT que trabajan en ambiente Windows y DOS que si bien, son un poco más complejos en su utilización, trabajan con el mismo fundamento teórico y matemático con el que trabaja la versión bajo Arc-View.

La información de entrada requerida por el programa para cada subcuenca es agrupada y organizada dentro de las siguientes categorías: topografía de la cuenca, suelos, uso del suelo, precipitación, clima (temperatura, viento, radiación solar), lagunas y reservorios y aguas subterráneas.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El municipio de Güinope se encuentra ubicado en el noroeste del departamento de El Paraíso, cuenta con una extensión de 204 km<sup>2</sup>, y esta naturalmente delimitada: al norte con el cerro La Pradera, al sur con el cerro Grande y cerro Los Coyotes, al este con la quebrada Caña Brava y la calle a San Lucas y al oeste con la quebrada Silisgualagua y el río Fortuna (Proyecto UNIR-Zamorano, 1997).

#### **3.2 SELECCIÓN DEL SITIO**

Se selecciono la microcuenca El Zapotillo porque sus características son representativas de toda la zona y además presenta características ideales para diversos estudios. El sitio tiene tres microdrenajes bien definidos en un área no mayor de 12 ha. Su reducido tamaño es una ventaja ya que se ahorra tiempo movilizándose dentro del mismo. Cada uno de los drenajes tiene un uso diferente de la tierra lo que permite hacer una comparación de los efectos de la cobertura vegetal sobre la degradación de los suelos.

#### **3.3 MAPA DEL SITIO DE REFERENCIA**

Este se realizo con el equipo de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), se mapeo cada uno de los drenajes y se levantaron los puntos donde se ubican las pilas de sedimento. Luego con el programa Arc-View 3.2a se editaron los puntos para obtener un producto final. Además con este programa se calculo el perímetro y área para cada uno de los drenajes.

### **3.4 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES HÍDRICAS**

#### **3.4.1 Precipitación bruta**

Se midió con el uso de un pluviómetro digital el cual se ubico a campo abierto en un punto entre las coberturas del estudio. Este pluviómetro consiste de dos componentes importantes, una cubeta colectora de precipitación y un dispositivo que almacena toda la información. La cubeta tiene un diámetro de 16.5 cm. por una altura de 25 cm. en su interior contiene una pequeña balanza que por cada 0.369 mm. de lluvia da un pulso (“tip”). El dispositivo (“logger”) que esta integrado a la cubeta es el encargado de almacenar los pulsos (“tips”) para cada evento de lluvia.

La ventaja de este aparato es que no es necesario medir todas las veces después de un evento lluvioso, también provee el día y el tiempo exacto de duración de cada evento. Para obtener los datos se utiliza el programa BoxCar 3.7 el cual puede ser instalado en cualquier computadora con Windows.

#### **3.4.2 Precipitación que llega al suelo**

Se midió por medio de pluviómetros lineales que fueron colocados debajo de las coberturas del sitio, estos fueron elaborados de tubos de PVC de 2 metros de largo por 10 cm. de diámetro. Además se coloco un recipiente con capacidad de 20 litros en el extremo inferior de cada pluviómetro para almacenar el agua captada por evento de lluvia. Después de cada evento se midió el volumen de agua almacenado en el recipiente. Luego este volumen es dividido por el área de captación del pluviómetro y del recipiente, el resultado son los milímetros de lluvia precipitados dentro de la cobertura.

#### **3.4.3 Intercepción por la cobertura**

Se obtuvo de restar la precipitación que llega al suelo de la precipitación bruta. De esta forma se determina cual de las coberturas existentes en el sitio capta mayor cantidad de agua en su follaje.

#### **3.4.4 Infiltración y escorrentía**

Estas dos variables se midieron delimitando una parcela de escorrentía con un cuadro metálico de 80 x 80 x 10 cm. Este se entierra en el suelo (5 cm. aproximadamente) de forma que quede paralelo al mismo. En la parte inferior del cuadro se coloca un colector de escurrimiento en forma de embudo el cual se conecta por medio de una manguera a un recipiente donde se almacena toda el agua escurrida. Una vez terminado el evento se mide en una probeta la cantidad de agua escurrida y se resta de la precipitación bruta, el resultado determina la cantidad de agua que se infiltra.

### 3.4.5 Porcentaje de humedad en el suelo

Se sacaron dos muestras de suelo por tipo de cobertura para hacerles el análisis de humedad. En el laboratorio se pesó una cantidad entre 150-151 g. de suelo por muestra y se pusieron en tasas metálicas, luego se metieron a un horno a una temperatura de 24 °C por 24 horas. Con el calentamiento lo que se quiere es evaporar toda el agua de la muestra de tal forma que el suelo quede completamente seco. Después de las 24 horas se sacan las muestras del horno y se pesan, a este peso se le resta el peso de la tasa metálica para obtener el peso del suelo seco. Para conocer la cantidad de agua que se evaporó se resta el peso del suelo seco del peso del suelo húmedo, el resultado se divide para el peso del suelo seco para obtener el porcentaje de humedad de la muestra.

### 3.5 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO POR EL MÉTODO DE HOLDRIDGE.

**Paso #1:** La temperatura del aire es un promedio de 22 años y se obtuvo de mapas de isotermas. Según el método de Holdridge la biotemperatura es igual a la temperatura del aire solo si esta última no es mayor de 24 °C. , en tal caso se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$T_{\text{bio}} = \frac{t - (3 * \text{grados de latitud}) * (t - 24)^2}{100}$$

Donde:

$t_{\text{bio}}$  = Biotemperatura promedia mensual

$t$  = temperatura promedia mensual

**Paso #2:** la evapotranspiración potencial es una función directa de la biotemperatura. La evapotranspiración potencial para cada mes se computa multiplicando las biotemperaturas medias de cada mes por las constantes 5.00 para los meses de 31 días 4.48 para los meses de 30 días y 4.56 para el mes de febrero.

**Paso #3:** se introducen los datos de precipitación en la línea 4. los datos utilizados son promedio mensual de 22 años obtenidos de mapas de isoyetas.

**Paso #4:** cuando la precipitación total anual es igual o mayor que la evapotranspiración potencial total durante el año (líneas 4 y 2, respectivamente), la evapotranspiración real potencial (línea 3) es igual a la evapotranspiración potencial (línea 2) por mes. Pero cuando la precipitación total anual es menor que la evapotranspiración potencial, es necesario hacer un ajuste. El ajuste se hace en la forma siguiente: a) se divide la precipitación total anual por la evapotranspiración potencial total anual, lo que dará un valor siempre inferior a 1.00; b) empleando este valor como una constante, se multiplica sucesivamente por los valores mensuales de evapotranspiración potencial ya entrados en

la línea 2, anotando los productos de la multiplicación en las columnas apropiadas de la línea 3.

**Paso #5:** se calcula el faltante de precipitación (línea 12). Para cada mes con un total de precipitación (línea 4) menor que su evapotranspiración real potencial (línea 3, o líneas 2-3 combinadas), se resta el valor de precipitación del valor de evapotranspiración real potencial y se coloca la diferencia en las columna correspondiente al mes en la línea 12. En las otras columnas se pone un cero.

**Paso #6:** se calcula la humedad disponible en el suelo al fin del mes (línea 9) y el % de agua con su uso restringido. Para el computo de la humedad disponible es necesario, primero, calcular el total de agua que puede ser almacena en el suelo. Suponiendo que se trata solamente del suelo zonal para la zona de vida en cuestión, esta cantidad debe ser equivalente a la capacidad de campo del suelo, medida en milímetros de precipitación. Con base en estudios preliminares se estima que la capacidad de campo será equivalente a aproximadamente el 10% de la precipitación total anual (este valor es tentativo). Este valor se inserta en la línea 9, bajo uno de los meses cuyo promedio mensual de precipitación sea mayor que su evapotranspiración real potencial; preferiblemente se selecciona aquel mes en el que el suelo este cargado con suficiente humedad. Se determina la relación de evapotranspiración potencial. La que es igual al total de evapotranspiración potencial dividido por la precipitación total anual. El cálculo para el porcentaje de agua con uso restringido se explica a continuación:

$$\text{Relación de evapotranspiración} = \frac{\text{total de evapotranspiración potencial}}{\text{Precipitación total anual}} = \frac{1085}{1251} = 0.86$$

$$\begin{array}{r} 0.50 \qquad \qquad 0.70 \\ 0.86 \text{ ————— } X \\ \underline{1.00} \text{ ————— } \underline{0.50} \\ 0.50 \qquad \qquad 0.20 \end{array}$$

$$\frac{0.20 * (0.86 - 0.50)}{0.50} = 0.144 - 0.70 = -0.55$$

$$\frac{0.20 * (1.00 - 0.86)}{0.50} = 0.055 + 0.50 = 0.55$$

55% es el porcentaje de agua con uso restringido

**Paso #7:** la evapotranspiración real (línea 5) es igual a la evapotranspiración real potencial.

**Paso #8:** el sobrante de lluvia (línea 6) es la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real.

**Paso #9:** el suelo se recarga en el primer mes de lluvias que en este caso es mayo.

**Paso #10:** en los meses lluviosos no hay disminución de humedad, la humedad comienza a disminuir en Noviembre donde la evapotranspiración real potencial es mayor que la precipitación. Entonces la disminución de la humedad es igual a la evapotranspiración menos la precipitación para aquellos meses donde la evapotranspiración es mayor que la precipitación.

**Paso #11:** la humedad disponible en los meses lluviosos es de 125 milímetros que es igual al 10% de la precipitación total anual. Pero esta comienza a disminuir en Noviembre ya que la evapotranspiración en este mes es mayor que la precipitación. Entonces la humedad comienza a disminuir una cantidad igual a la resta de estas dos variables.

**Paso #12:** la escorrentía es igual al sobrante de lluvia para los meses lluviosos, en los meses secos no hay escorrentía y por eso se dejan las celdas vacías o con un cero.

**Paso #13:** la deficiencia de humedad en el suelo se va acumulando a partir del segundo mes seco que en este caso es Diciembre. Básicamente lo que se hace es que se van sumando las deficiencias de precipitación hasta llegar a un punto donde sumar la siguiente deficiencia de precipitación sobre pasa la capacidad de campo del suelo.

**Paso #14:** la deficiencia de humedad total es igual a la suma de la deficiencia de precipitación mas la deficiencia de humedad en el suelo.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1 INSTRUMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA EL ZAPOTILLO**

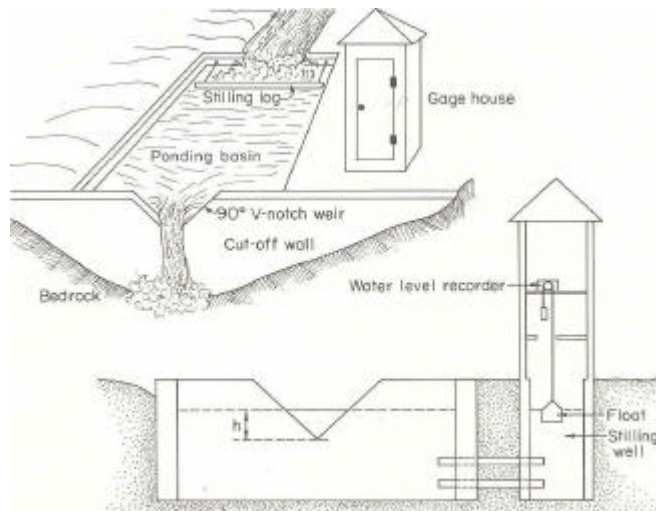
Durante el periodo lluvioso del 2002 se inicio la instalación de instrumentos de medición en el sitio de referencia situado en la microcuenca El Zapotillo. El apoyo económico para dicho estudio provino del consorcio Manejo Integrado de Suelos (MIS) y de la Escuela Agrícola Panamericana. Se instalaron tres parcelas para la medición de escorrentía, seis pluviómetros horizontales para medir precipitación neta, un pluviómetro digital para medir precipitación bruta y un termómetro digital. Además, se construyeron tres vertederos para la medición de caudal.

#### **4.1.1 Vertederos de flujo “V-notch-weir”**

Se construyeron tres vertederos, uno por cada microdrenaje con base en los diseños elaborados por un especialista miembro del consorcio MIS. La construcción de los vertederos requirió aproximadamente una cantidad de 720 ladrillos, 14 bolsas de cemento, 2 metros cúbicos de arena y unas 84 horas/hombre de mano de obra.

Estas estructuras servirán para medir flujos y sedimentos producidos por unidad de tiempo y por tipo de coberturas. Las dimensiones de la construcción son: 1.49 m. de largo, 0.89 m. de ancho, 0.80 m. de profundidad y un vertedero de 90°. Los vertederos están conectados a la caja del “Water level recorder” por dos tubos de 5 cm. en diámetro. Este aparato aun falta de instalar debido al retraso en la compra por parte del consorcio (Ver figura 3).

**Figura 3. Ilustración de los vertederos “V-notch”**



Fuente: Hewlett J. Principles of Forest Hydrology, 1982.

El vertedero está diseñado para relacionar el caudal ( $Q$ ) a la altura ( $h$ ) por una ecuación derivada de la teoría hidráulica. Para hacer los cálculos de caudal a partir de una de estos vertederos se utilizan las siguientes formulas:

$$A = h^2 \tan (90^\circ/2)$$

Donde:

$A$  = área de una sección del triángulo

$h$  = altura de agua arriba del punto mas bajo del vertedero

La tangente de 45 grados es igual a uno y por tanto la ecuación 1.0 se reduce a:

$$A = h^2 \quad \text{Ecuación 1.0}$$

A partir de principios hidráulicos se puede mostrar que la velocidad promedio  $V$  a través de  $A$  es una constante  $C$  multiplicada por la raíz cuadrada de  $h$ :

$$\bar{V} = C h^{1/2} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Combinando las ecuaciones 1.0 y 1.1 la descarga  $Q = AV$  se vuelve:

$$Q = h^2 C h^{1/2} = C h^{5/2}$$

Esta es la forma general de la ecuación para cualquier vertedero de 90 grados. El coeficiente C equivalente para vertederos de 90 grados es igual a 1.34, los coeficientes para otros vertederos se pueden encontrar en los manuales de hidrología (Hewlett, 1982).

**Foto 1. Vertedero de flujo a la salida del drenaje con cobertura Inga**



#### 4.1.2 Medidores de infiltración y escorrentía

Se construyeron tres cuadros metálicos de 80 cm. de largo, 80 cm. de ancho y 10 cm. de profundidad para la medición de escorrentía. Un cuadro metálico fue instalado por cada tipo de uso de la tierra y la escorrentía generada se colecta en recipientes plásticos de 5 galones.

El procedimiento para calcular la cantidad de agua que se infiltra es el siguiente:

$$V = A * h \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

V = Volumen de agua recolectada (cm<sup>3</sup>)

A = Área de la parcela (cm<sup>2</sup>)

h = precipitación en unidades de profundidad (mm)

Se despeja para h de la ecuación 2

$$h = V/A \quad \text{Ecuación 2.1}$$

El área de los cuadros metálicos es igual a 6400 cm<sup>2</sup>, entonces la ecuación 2.1 quedaría de la siguiente manera:

$$h = \left[ \frac{V \text{ (cm}^3\text{)}}{6400 \text{ cm}^2} \right] * 10$$

El resultado son los milímetros de escorrentía producidos por un evento de lluvia determinado. Para el cálculo de los milímetros infiltrados se resta la escorrentía de la precipitación bruta para ese mismo evento obtenida a partir del pluviómetro digital.

### Foto 2. Cuadro metálico para medición de infiltración y escorrentía



#### 4.1.3 Pluviómetros horizontales

Para medir este parámetro se construyeron 6 pluviómetros horizontales que consistieron en un tubo de PVC de 10 cm. de diámetro por 2 m. de largo cortado en forma de canal. Se instalaron 2 por tipo de cobertura a una altura aproximada de 30 cm. en el extremo inferior se colocó un recipiente de 20 litros de capacidad para almacenar el agua capturada.

El procedimiento para transferir ese volumen a milímetros de lluvia es el siguiente:

$$V = A * h \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

V = Volumen de agua recolectada (cm<sup>3</sup>)

A = Área de pluviómetro lineal mas recipiente (cm<sup>2</sup>)

h = profundidad que se traduce precipitación (mm)

Se despeja para h de la ecuación 3

$$h = V/A \quad \text{Ecuación 3.1}$$

El área del pluviómetro junto con la del recipiente suman 2490.9 cm<sup>2</sup>, entonces la ecuación 3.1 quedaría de la siguiente manera:

$$h = \left[ \frac{V \text{ (cm}^3\text{)}}{2490.9 \text{ cm}^2} \right] * 10$$

El resultado son los milímetros de precipitación que cayeron dentro de la cobertura. Para el cálculo de la intercepción se resta este valor de la precipitación bruta obtenida del pluviómetro digital.

### Foto 3. Pluviómetro horizontal en la cobertura café-inga



#### 4.1.4 Pluviómetro y termómetro digital

Se colocó un pluviómetro digital marca Onset en un espacio abierto entre las tres coberturas, la ventaja de este tipo de aparatos sobre los convencionales es que son más precisos y se pueden calcular intensidades de lluvia. Dicho aparato posee un chip integrado el cual graba los pulsos de lluvia cada 0.369 milímetros y este se conecta a una computadora para leer los datos. Adjunto al pluviómetro se colocó un termómetro digital el cual puede ser programado para almacenar datos cada cierto tiempo.

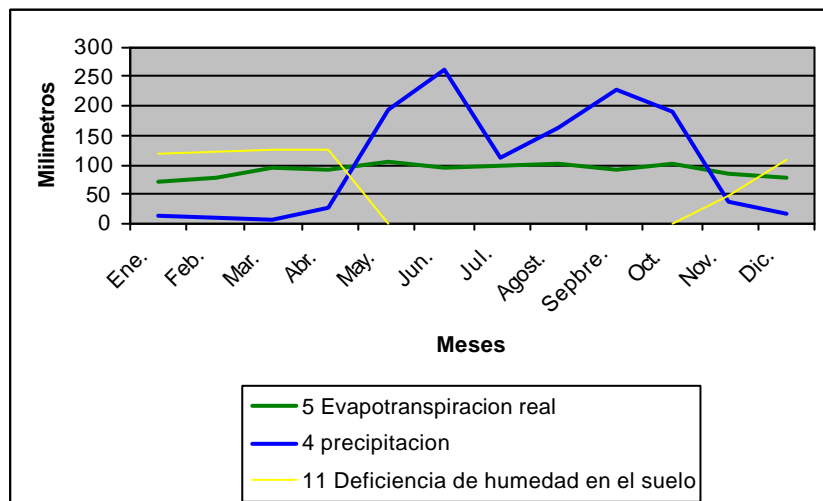
#### Foto 4. Pluviómetro digital en campo abierto



#### 4.2 BALANCE HÍDRICO POR EL MÉTODO DE HOLDRIDGE.

Para hacer el balance hídrico por el método de Holdridge se necesita información de temperatura y precipitación media mensual para un periodo largo de tiempo. Esta información se obtuvo de mapas de isotermas e isoyetas para un periodo de 22 años. La figura 4 muestra las diferencias entre la precipitación y la evapotranspiración para la cuenca.

Figura 4. Relación precipitación vs. evapotranspiración



En la figura podemos observar el déficit de precipitaciones que hay desde los primeros días de noviembre hasta los últimos días de abril. Se pueden observar dos picos de precipitación, uno para el mes de Junio y el otro en Septiembre. En el cuadro 2 se presenta con más detalle el balance hídrico.

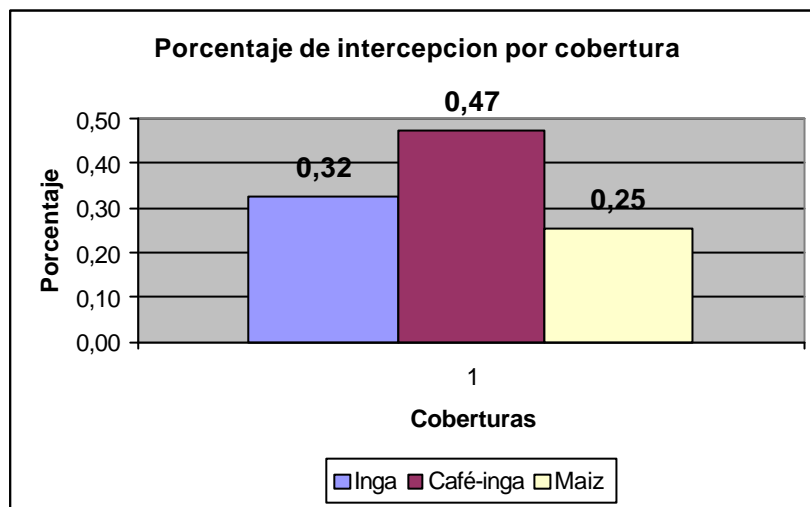
**Cuadro 1. Balance hídrico por el método de Holdridge.**

Promedio de largo tiempo en °C o en mm	Meses del Año												Año
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agost.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
<b>Temperatura del aire</b>	14	17	19	20	21	20,7	20	20,4	20	20,5	18,4	15,4	18,9
<b>1 Biotemperatura</b>	14	17	19	20	21	20,7	20	20,4	20	20,5	18,4	15,4	18,9
<b>2 Evapotranspiración potencial</b>	70	78	95	90	105	93	100	102	90	103	82	77	1085
<b>3 E.T.P Ajustada para climas secos</b>	70	78	95	90	105	93	100	102	90	103	82	77	1085
<b>4 Precipitación</b>	12,5	8	7,6	25	194	263	110	165	225	190	36	15	1251,1
<b>5 Evapotranspiración real</b>	70	78	95	90	105	93	100	102	90	103	82	77	
<b>6 Sobrante de lluvia</b>	0	0	0	0	89	170	10	63	135	87	0	0	
<b>7 Recarga de la humedad del suelo</b>	0	0	0	0	124	0	0	0	0	0	0	0	
<b>8 Disminución de la humedad del suelo</b>	9	4	2	1	0	0	0	0	0	0	46	62	
<b>9 Humedad disponible en el suelo al fin del mes</b>	8	4	2	1	125	125	125	125	125	125	79	17	
<b>10 Escorrentía</b>	0	0	0	0	35	170	10	63	135	87	0	0	
<b>11 Deficiencia de humedad en el suelo</b>	117	121	123	124	0	0	0	0	0	0	46	108	
<b>12 Deficiencia de precipitación</b>	58	70	87	65	0	0	0	0	0	0	46	62	
<b>13 Deficiencia de humedad total</b>	175	191	210	189	0	0	0	0	0	0	92	170	
<b>14 Condición de humedad</b>	SECOS				H	Muy H	H		Muy H	H	SECO		

### 4.3 INTERCEPCIÓN POR LAS COBERTURAS

La intercepción depende de las características de la vegetación y de las intensidades de lluvia. A mayor densidad de cobertura hay más intercepción y a mayores intensidades menores intercepciones. Los resultados los podemos observar en la Figura 7. donde café-inga intercepta 47%, seguida por bosque inga con 32% y maíz con 25%.

**Figura 7. Intercepción de las coberturas en porcentaje de la precipitación bruta**



Estas diferencias se deben a la densidad de follaje de cada cobertura. La cobertura café-inga es altamente densa y a eso se debe que intercepta el 47% de la precipitación bruta. El bosque inga es más ralo en follaje que el café-inga es por esto que su intercepción es menor (32%). El maíz tiene un follaje menos denso en comparación con las dos coberturas anteriores y es por eso que su intercepción es menor. Aunque los resultados anteriores concuerdan con los reportados en la literatura, los mismos pudieran estar arriba de los promedios reportados, esto producto del corto tiempo de las mediciones realizadas en el presente estudio.

### 4.4 HUMEDAD DEL SUELO

Se puede observar en el Cuadro 3. que las diferencias en humedad entre los tres tipos de cobertura son mínimas, sin embargo se puede ver que la cobertura café-inga tiene mayor humedad posiblemente producto del grosor del horizonte A y el mayor contenido de materia orgánica, según datos sacados por Hernández, 2002.

**Cuadro 2. Porcentaje de humedad del suelo en las diferentes coberturas.**

<b>Muestras</b>	<b>Bosque Inga</b>	<b>Café-inga</b>	<b>Maíz</b>
<b>#1</b>	40,8	44,7	43,0
<b>#2</b>	47,8	46,7	41,8
<b>Promedio</b>	44,3	45,7	42,4

## 5. CONCLUSIONES

Aun cuando los estudios hidrológicos a nivel de microcuencas son un instrumento importante para la toma de decisión y de manejo de las mismas, sus altos costos han hecho que estos estudios sean poco comunes en los países en vías de desarrollo.

La tasa de intercepción es mayor en las coberturas con múltiples estratos lo que refleja la importancia de los sistemas agroforestales para la protección de los suelos en las microcuencas.

Aunque no se lograron hacer mediciones de escorrentía a nivel de los tres microdrenajes se sabe por observación directa que las tormentas no excedieron la capacidad de infiltración de los suelos.

El balance hídrico estimado a través del método de Holdridge es útil para estimar los periodos de excesos de humedad en el suelo y escorrentía potencial. Esto nos da una idea de los meses a los que se debe prestar mayor atención con respecto a las mediciones.

## **6. RECOMENDACIONES**

Terminar de instalar los equipos de medición de flujo a fin de obtener mediciones completas para el próximo año.

Instalar al mínimo dos parcelas más de escorrentía para cada tipo de cobertura a fin de estimar con mayor precisión los promedios de infiltración.

Con los datos completos de una estación lluviosa se recomienda utilizar la extensión SWAT del programa Arc-View para modelar los procesos erosivos de la microcuenca y validar los hidrogramas de flujo.

Continuar con los estudios de intercepción ya que un registro de datos para periodos más largos podría arrojar cantidades menores de intercepción que las encontradas en el presente estudio para las coberturas del sitio.

Construcción de un vertedero a la salida de la microcuenca para estimar la cantidad total de agua producida.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Aparicio, F. 1997. Fundamentos de hidrológica de Superficie. México. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. 303 p.
- Booher, L. 1974. El Riego Superficial. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Paginas 8-9.
- Dunne, T. y Leopold, L., 1978. Water in Enviromental Planning. W. H. Freeman and Company, United States. 818 p.
- Elias, F. y Castellvi, F., 1996. Agrometeorología. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa, España. 420 p.
- Evapotranspiration Exercise. Disponible en <http://loki.stockton.edu/~epsteinc/etcalc.htm>
- Fuentes, J. 1989. Iniciación a la Meteorología Agrícola. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. Paginas 81-82.
- García, L. 2001. Estudio de línea base de suelos en un sitio de referencia en la microcuenca de El Zapotillo, Guinope, Honduras. Ing. Agr. Tesis. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 59 p.
- Gerrero M., 1991. El Agua. Mexico, D.F. Consultado 26 de Agosto de 2002. Disponible en [http://lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/htm/sec\\_5.htm](http://lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/htm/sec_5.htm)
- Gordon, J. 1999. What is a Watershed. Consultado el 22 de Septiembre de 2002. Disponible en [www.cwp.org](http://www.cwp.org)
- Hewlett, J. 1982. Principles of Forest Hydrology. University of Georgia Press, Athens, Georgia. 183 p.
- Holdridge, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica. 216 p.
- Hynes, H. 1972. The Ecology of running waters. University of Toronto Press. Toronto, Canada.
- Jiménez, F. 2002. Curso Internacional Manejo integrado de cuencas hidrográficas en el siglo XXI. Consultado el 22 de septiembre de 2002. Disponible en [http://www.catie.ac.cr/posgrado/cursos/ManejoCuencas\\_2002.htm](http://www.catie.ac.cr/posgrado/cursos/ManejoCuencas_2002.htm)

- Lawrence, S. 1994. *Physical Hydrology*. Macmillan Publishing Company, New York. 575 p.
- Proyecto UNIR-Zamorano. 1997. Programa de Desarrollo Sostenible de la Región del Yeguaré; Nuestra Comunidad Güinope. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 9 p.
- Rodríguez, V. 1999. Caracterización y evaluación participativa de aspectos biofísicos y socioeconómicos de las Microcuencas de El Capiro y El Zapotillo. Ing. Agr. Tesis. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 89 p.
- Salas, G. 1987. Suelos y Ecosistemas Forestales con énfasis en América Tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. Páginas 405-421.
- Schawab, 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. p. 35-121.
- Townsend, C. 1980. *The ecology of streams and rivers*. Edward Arnold Limited. London, Great Britain.
- Tragsa, 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ministerio de Medio Ambiente. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 945 p.
- Turcios, W. 1995. Producción y valoración económica del componente hídrico y forestal de los robledales de altura bajo intervenciones silviculturales. Tesis de Magíster Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 80 p.
- UNIR-Zamorano. 1997. Monografía del Municipio de Güinope. Zamorano, Honduras. P. 1-12.
- Valle, A. 2002. Estudio Hidrológico para la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla, Zamorano, Honduras, C.A. Ing. Agr. Tesis. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 63 p.
- 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.

**Anexo 1. Tabla de cálculos para la precipitación que llega al suelo en septiembre**

Fecha	Bosque inga				Café con sombra				Maíz			
	Pluv. 1	Pluv. 2	Prom.	mm	Pluv. 3	Pluv. 4	Prom.	mm	Pluv. 5	Pluv. 6	Prom.	mm
10	2630	2500	2565	10,3	2615	2500	2557,5	10,3	3915	3125	3520	14,1
13	3180	3160	3170	12,7	2460	1640	2050	8,2	3370	3180	3275	13,1
17	965	940	952,5	3,8	745	375	560	2,2	1160	810	985	4,0
18	1455	1560	1507,5	6,1	1205	835	1020	4,1	1550	1570	1560	6,3
26	4875	4800	4837,5	19,4	4000	2560	3280	13,2	4910	5000	4955	19,9
27	4470	4050	4260	17,1	4180	3645	3912,5	15,7	4085	4825	4455	17,9
28	1815	1800	1807,5	7,3	1675	1185	1430	5,7	1970	2050	2010	8,1
29	7790	7835	7812,5	31,4	7230	5375	6302,5	25,3	8715	8960	8837,5	35,5

**Anexo 2. Tabla de cálculos para la precipitación que llega al suelo en octubre**

Fecha	Bosque inga				Café con sombra				Maíz			
	Pluv. 1	Pluv. 2	Prom.	mm	Pluv. 3	Pluv. 4	Prom.	mm	Pluv. 5	Pluv. 6	Prom.	mm
2	6800	8120	7460	29,9	6975	5320	6147,5	24,7	7870	7965	7917,5	31,8
3	1302	1075	1188,5	4,8	1065	780	922,5	3,7	1355	1425	1390	5,6
4	4820	5390	5105	20,5	5220	4810	5015	20,1	5670	5365	5517,5	22,2
5	1360	1110	1235	5,0	1070	760	915	3,7	1450	1425	1437,5	5,8
11	2450	2720	2585	10,4	2390	1570	1980	7,9	2500	2775	2637,5	10,6
12	4050	4180	4115	16,5	4610	2360	3485	14,0	4105	4340	4222,5	17,0
20	550	450	500	2,0	370	220	295	1,2	590	600	595	2,4
26	1435	1500	1467,5	5,9	1290	830	1060	4,3	1810	1630	1720	6,9

## Anexo 3. Resumen de la intercepción por tipo de cobertura

Fecha	P. Bruta	Bosque inga			Café con sombra			Maíz		
		P. cobertura	Inter.	% inter.	P. cobertura	Inter.	% inter.	P. cobertura	Inter.	% inter.
26	29	19,4	9,6	0,33	13,2	15,8	0,55	19,9	9,1	0,31
27	30	17,1	12,9	0,43	15,7	14,3	0,48	17,9	12,1	0,40
28	11	7,3	3,7	0,34	5,7	5,3	0,48	8,1	2,9	0,27
29	45	31,4	13,6	0,30	25,3	19,7	0,44	35,5	9,5	0,21
2	48	29,9	18,1	0,38	24,7	23,3	0,49	31,8	16,2	0,34
3	8	4,8	3,2	0,40	3,7	4,3	0,54	5,6	2,4	0,30
4	36	20,5	15,5	0,43	20,1	15,9	0,44	22,2	13,8	0,38
5	7	5,0	2,0	0,29	3,7	3,3	0,48	5,8	1,2	0,18
11	15,1	10,4	4,7	0,31	7,9	7,2	0,47	10,6	4,5	0,30
13	22,1	16,5	5,6	0,25	14,0	8,1	0,37	17,0	5,1	0,23
20	3	2,0	1,0	0,33	1,2	1,8	0,61	2,4	0,6	0,20
26	6,3	5,9	0,4	0,06	4,3	2,0	0,32	6,9	-0,6	-0,10
<b>TOTAL</b>	<b>260,5</b>	<b>170,1</b>	<b>90,4</b>	<b>3,87</b>	<b>139,5</b>	<b>121,0</b>	<b>5,65</b>	<b>183,5</b>	<b>77,0</b>	<b>3,04</b>
<b>PROM.</b>	<b>21,7</b>	<b>14,2</b>	<b>7,5</b>	<b>0,32</b>	<b>11,6</b>	<b>10,1</b>	<b>0,47</b>	<b>15,3</b>	<b>6,4</b>	<b>0,25</b>

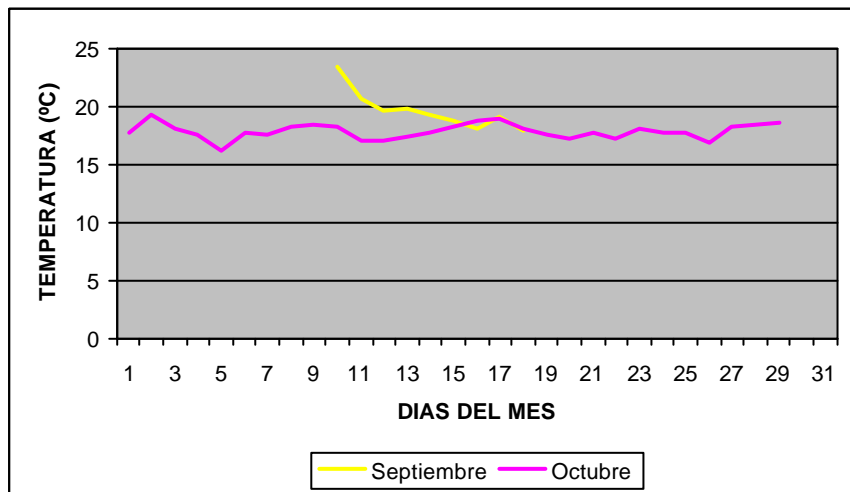
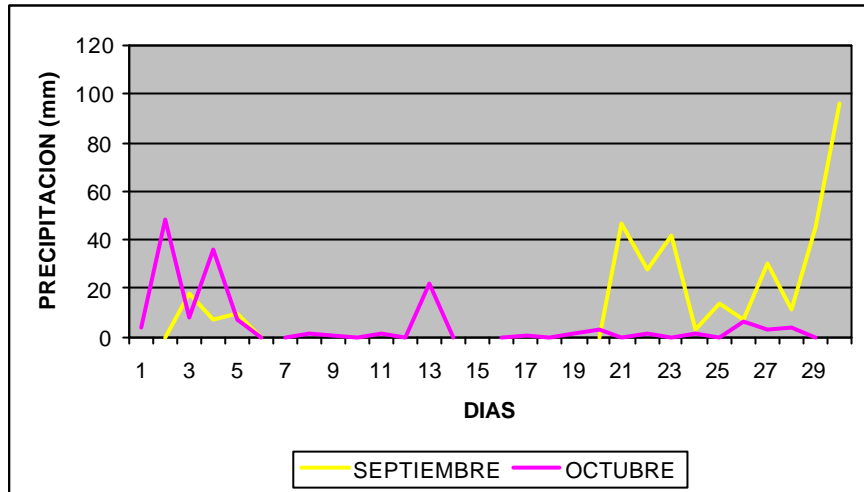
## Anexo 4. Intensidad de las precipitaciones para septiembre y octubre

SEPTIEMBRE						OCTUBRE					
Fecha	lluvia (mm)	Inicio	Fin	Duración	Intensidad (mm/min)	Fecha	lluvia (mm)	Inicio	Fin	Duración	Intensidad (mm/min)
3	7	15:21	15:29	0:08	0,88	1	0,7	10:02	10:10	0:08	0,09
3	14	23:02	0:46	1:44	0,13	1	3	5:21	7:59	2:38	0,02
4	2	11:09	11:11	0:02	1	2	1,1	12:48	13:00	0:12	0,09
5	9	19:13	21:50	2:37	0,06	2	12,2	7:17	7:35	0:18	0,68
21	45	15:26	18:10	2:44	0,27	2	33,9	19:35	21:27	1:52	0,3
21	1,5	21:24	21:52	0:28	0,05	3	7,4	18:28	19:31	1:03	0,12
22	4,4	11:27	12:49	1:22	0,05	4	35,4	16:22	17:07	0:45	0,79
22	15,9	17:13	19:58	2:45	0,1	5	3,7	13:02	13:08	0:06	0,62
22	24	22:12	4:23	6:11	0,06	5	10,0	15:11	16:06	0:55	0,18
23	1,1	11:15	11:17	0:02	0,55	8	0,7	13:12	13:13	0:01	0,74
23	2,6	12:44	13:11	0:27	0,1	11	2,2	13:51	13:59	0:08	0,28
23	17,3	14:50	21:04	6:14	0,05	11	12,9	17:17	17:52	0:35	0,37
23	2,2	22:55	23:39	0:44	0,05	13	2,2	16:57	17:04	0:07	0,32
24	2,6	1:27	2:13	0:46	0,06	13	19,6	19:04	20:01	0:57	0,34
25	1,5	13:56	14:16	0:20	0,08	19	1,1	17:33	17:37	0:04	0,28
25	12,9	17:27	18:35	1:08	0,19	20	3,0	17:24	17:34	0:10	0,30
26	3,3	3:40	6:07	2:27	0,02	22	1,5	19:12	19:17	0:05	0,30
26	3,7	21:06	21:26	0:20	0,19	24	1,1	15:42	15:54	0:12	0,09
27	5,2	5:17	5:35	0:18	0,29	26	1,1	13:16	13:19	0:03	0,37
27	24,7	20:23	23:26	3:03	0,13	26	1,8	16:08	16:23	0:15	0,12
28	11,1	18:18	21:12	2:54	0,06	26	2,6	18:03	18:47	0:44	0,06
29	45,4	17:08	20:40	3:32	0,21	27	0,7	2:14	2:40	0:26	0,03
30	1,5	1:01	1:42	0:41	0,04	27	1,1	17:42	17:48	0:06	0,18
30	32,8	11:44	13:15	1:31	0,36	28	2,6	1:03	2:27	1:24	0,03
30	61,3	15:36	18:51	3:15	0,31	28	0,7	23:49	23:56	0:07	0,11

## Anexo 5. Resumen de las variables climáticas de precipitación y temperatura

Fecha	SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
1	0	---	4	17,8
2	0	---	48	19,2
3	18	---	8	18,1
4	7	---	36	17,6
5	10	---	7	16,1
6	0	---	0	17,8
7	0	---	0	17,5
8	0	---	1	18,2
9	0	---	0,4	18,4
10	0	23,4	0	18,3
11	0	20,7	1	17,1
12	0	19,6	0	17
13	0	19,8	22	17,4
14	0	19,2	0	17,8
15	0	18,7	0	18,2
16	0	18,1	0	18,7
17	0	19,1	0,4	18,9
18	0	17,8	0	18
19	0	---	1	17,5
20	0	---	3	17,3
21	47	---	0	17,7
22	28	---	1,5	17,3
23	42	---	0	18
24	3	---	1	17,8
25	14	---	0	17,8
26	7	---	6,3	16,8
27	30	---	3	18,2
28	11	---	3,7	18,4
29	45	---	0	18,6
30	96	18,3	0	---
31	0	---	0	---
<b>PROMEDIO</b>		19,47		17,8

**Anexo 6. Grafica de precipitación y temperaturas diarias para septiembre y octubre.**



## Anexo 7. Resumen de la precipitación que llega al suelo (mm)

Fecha	Septiembre			Octubre		
	Café con sombra	Bosque inga	Maíz	Bosque inga	Café con sombra	Maíz
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	29,9	24,7	31,8
3	0	0	0	4,8	3,7	5,6
4	0	0	0	20,5	20,1	22,2
5	0	0	0	5,0	3,7	5,8
10	10,3	10,3	14,1	0	0	0
11	0	0	0	10,4	7,9	10,6
12	0	0	0	0	0	0
13	8,2	12,7	13,2	16,5	14,0	17,0
17	2,2	3,8	4,0	0	0	0
18	4,1	6,1	6,3	0	0	0
20	0	0	0	2,0	1,2	2,4
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	13,2	19,4	19,9	5,9	4,3	6,9
27	15,7	17,1	17,9	0	0	0
28	5,7	7,3	8,1	0	0	0
29	25,3	31,4	35,5	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0

**Anexo 8. Resumen de costos en la instrumentación**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (lps.)</b>	<b>Total</b>
<b>Materiales</b>				
Cemento	Bolsas	4	69.50	278
Cemento	Bolsas	6	74	444
Cemento	Bolsas	4	78	312
Arena	m <sup>3</sup>	2	150	300
Tubo # 4	unidad	1	179	179
Ladrillos	Unidad	720	0.8	576
Tubo PVC 2 pulgadas	Unidad	1	100	100
Baterías R3202	unidad	3	45	135
<b>Mano de obra</b>				
Construcción de pilas	d/h	20	100	2000
Construcción poste de pluviómetro	unidad	1	50	50
Medición de datos	d/h	12	25	300
Acarreo de materiales	d/h	2	200	400
<b>Material de tesis</b>				
Baterías	unidad	4	6	24
Masking tape roll	unidad	2	12	24
Marcador permanente	unidad	1	8.50	8.50
Bujía 6 vts.	unidad	1	12	12
Super glue	unidad	1	28	28
Caja de jeringas (3 cc)	caja	2	250	500
<b>Otros</b>				
almuerzos	unidad	5	31	155
<b>TOTAL</b>				<b>5817</b>

Anexo 9. Mapa del sitio de referencia

