

**Balance hídrico y análisis de las relaciones  
precipitación-escorrentía en la microcuenca  
de la Quebrada El Gallo, San Antonio de  
Oriente**

**Miriam Matilde Arrueta Antequera**

**Zamorano, Honduras**

Diciembre, 2009

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

# **Balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación-escorrentía en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Miriam Matilde Arrueta Antequera**

**Zamorano, Honduras**  
Diciembre, 2009

# **Balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación-escorrentía en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente**

Presentado por:

Miriam Matilde Arrueta Antequera

Aprobado:

---

Erika Tenorio, M.Sc.  
Asesora principal

---

Arie Sanders, M.Sc.  
Director  
Carrera de Desarrollo Socioeconómico  
y Ambiente

---

Luis Caballero, M.Sc.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

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

## RESUMEN

Arrueta, A. 2009. Balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación-escorrentía en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Valle de Yeguaré, Honduras. 47p.

En Honduras las cuencas hidrográficas enfrentan procesos de degradación de sus recursos naturales, reflejando cambios en los patrones hídricos e incrementando su vulnerabilidad. Por ello se desarrolló un estudio hidrológico en la Microcuenca El Gallo durante los meses de junio a septiembre que permitió evaluar las relaciones oferta-demanda hídrica y modelar las relaciones precipitación-escorrentía. Para estimar el balance hídrico, se consideró: la precipitación, la evapotranspiración real, la escorrentía y la demanda. Para medir la precipitación se ubicaron tres pluviómetros en los extremos de la microcuenca. La evapotranspiración potencial se calculó con la ecuación Penman Monteith y la real con el método Thornthwaite- Mather. La escorrentía se estimó a partir de datos de altura de agua, por lo que se creó una curva de relación altura-caudal. Para calcular la demanda se consideró un suministro de 150 litros, por persona, por día, conociendo la población (7,414 personas). Para la aplicación de hidrogramas, se empleó un modelo hidrológico de relación precipitación escorrentía mediante el procedimiento de “Soil Conservation Service” para obtener el Número de curva de escorrentía y a partir de ello la abstracción inicial. Adicionalmente se obtuvo el hidrograma con el programa HEC-HMS. El resultado del balance hídrico fue de -101.69 mm y la precipitación resultó 469.62 mm para el periodo de estudio, la evapotranspiración 353.32 mm, la escorrentía 205.05 mm y la demanda 12.93 mm. El número de curva de escorrentía es 58.07. El hidrograma predice que de la precipitación total, el 53% genera escorrentía directa.

**Palabras Clave:** Abstracción inicial, escorrentía, evapotranspiración, hidrograma, número de curva de escorrentía, precipitación.

## CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| Portadilla .....                          | i   |
| Página de firmas.....                     | ii  |
| Resumen .....                             | iii |
| Contenido .....                           | iv  |
| Índice de cuadros, figuras y anexos ..... | v   |
| <br>                                      |     |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                      | 7   |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA .....           | 10  |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....              | 13  |
| 4. RESULTADOS .....                       | 26  |
| 5. DISCUSIÓN .....                        | 34  |
| 6. CONCLUSIONES.....                      | 36  |
| 7. RECOMENDACIONES .....                  | 37  |
| 8. BIBLIOGRAFÍA.....                      | 38  |
| 9. ANEXOS .....                           | 40  |

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

### Cuadro

|   |    |
|---|----|
| 1. Datos generales de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.....  | 13 |
| 2. Localización de pluviómetros en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.....                               | 15 |
| 3. Corrección de la abstracción inicial (Po) según el grado de humedad previa. ....   | 24 |
| 4. Área de influencia de pluviómetros (Polígonos de Thiessen) en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente Honduras. .... | 27 |
| 5. Datos para el cálculo de evapotranspiración real para la microcuenca El Gallo, San Antonio de Occidente Honduras. ....       | 28 |

### Figura

|   |    |
|---|----|
| 1. Microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....   | 14 |
| 2. Ubicación de los tres pluviómetros en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.....                                 | 16 |
| 3. Demostración del método de polígonos de Thiessen. ....   | 17 |
| 4. Equipo para medir el nivel de agua instalado en la Microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....                      | 19 |
| 5. Aforos con molinete, descripción del proceso de medición. ....   | 20 |
| 6. Polígonos de Thiessen para la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....   | 26 |
| 7. Precipitación semanal en mm en la Microcuenca del Gallo en las semanas del 1 de junio al 6 de septiembre de 2009. ....               | 27 |
| 8. Evapotranspiración real y potencial en mm de la microcuenca El Gallo en las semanas del 1 de junio al 6 de septiembre 2009.....      | 28 |
| 9. Curva de relación altura-caudal microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....   | 29 |
| 10. Escorrentía medida y estimada diaria en mm de la microcuenca El Gallo en el periodo del 1 de junio al 6 de septiembre de 2009. .... | 29 |
| 11. Estimación del balance hídrico para la microcuenca El Gallo en el periodo 1 de junio al 6 de septiembre de 2009. ....               | 30 |
| 12. Mapa de pendientes de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....   | 31 |

|  |    |
|--|----|
| 13. Clasificación de suelos hidrológicos de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Occidente, Honduras. ....                | 32 |
| 14. Mapa de uso de suelos de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....                                 | 32 |
| 15. Hidrograma para la tormenta del 1° de julio de 2009 en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Occidente, Honduras. .... | 33 |

## **Anexo**

|   |    |
|---|----|
| 1. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas.....  | 40 |
| 2. Precipitación diaria en San Antonio de Occidente, Cerro Uyuca, Estación de Zamorano y para la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. .... | 41 |
| 3. Datos diarios de elementos del balance hídrico en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....  | 44 |
| 4. Cálculo de precipitación neta de la tormenta 1 de julio de 2009 en microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras. ....                            | 47 |

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo sustentable de las comunidades. Sin embargo, a nivel mundial y Honduras en particular, las cuencas hidrográficas enfrentan serios procesos de degradación de sus recursos naturales que se reflejan en el cambio de patrones hídricos y en el incremento de la vulnerabilidad de estos sectores. Los fenómenos naturales, como los huracanes, son entre otros factores, los que permiten que se evidencie la falta de un buen manejo de las cuencas; una referencia reciente es el huracán Mitch que en 1998 afectó a la mayor parte de la región centroamericana.

Dentro de este contexto, el conocimiento de las condicionantes naturales y sociales que determinan las relaciones entre oferta y demanda de agua en cuencas o microcuencas son elementos fundamentales para su monitoreo, manejo eficiente, planificación de uso, diseño de obras de ingeniería orientadas para el control de amenazas por inundación o contaminación, entre otros. Tanto las estimaciones de balance hídrico a pequeña escala como los análisis de las relaciones precipitación-escorrentía con fines de predicción de avenidas, constituyen herramientas básicas para la planificación del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas.

En algunos países centroamericanos se han desarrollado algunas iniciativas de estudios de balances hídricos puntuales. Entre estas experiencias se encuentran las de Costa Rica realizados por el SENARA y el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (UNA, 2008) y las realizadas por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales en El Salvador (SNET). En Honduras, en el año 2003 se desarrolló el segundo y más actualizado balance hídrico para todo el territorio (SERNA, 2004), sin embargo, existen muy escasas experiencias de estudios hidrológicos que determinen balances hídricos a nivel de microcuencas en el país y el resto de Centroamérica.

El presente estudio se desarrolló en la microcuenca el Gallo que soporta a las comunidades de Joya Grande, Jicarito, Suringa y San Antonio de Occidente, los cuales contienen una población de 7,414 usuarios (USAID/MIRA, 2005). Junto con la microcuenca de Santa Inés, El Gallo es una fuente para suplir las necesidades de riego de Zamorano ya que alimenta a una de las lagunas de almacenamiento con una capacidad de 6,900 m<sup>3</sup> (Ceballos, 2008). La microcuenca El Gallo contiene una población creciente con demandas asimismo crecientes en torno al uso del recurso hídrico y muy poco se conoce hasta la fecha sobre las relaciones oferta-demanda y los procesos de precipitación-escorrentía en esta microcuenca.



Adicionalmente, la microcuenca El Gallo es conocida por su vulnerabilidad ante eventos hidrológicos extremos. El Proyecto USAID/MIRA (2005) define dentro de las problemáticas de la microcuenca: los deslizamientos, las inundaciones y los periodos prolongados de escasez de agua. Las zonas de protección del recurso hídrico (150 metros de margen), están pobladas, con algunas viviendas con más de 25 años de construidas.

Mediante instrumentalización, mediciones en campo y la aplicación de modelos hidrológicos, la presente investigación proporciona un cálculo de balance hídrico en la Microcuenca Quebrada El Gallo durante los meses de junio a septiembre de 2009. Adicionalmente el estudio sienta las bases para las predicciones de avenidas y escorrentía superficial como respuesta a eventos de precipitación. Ambos análisis constituyen un aporte al conocimiento hidrológico que se tiene de las fuentes de agua para Zamorano y las comunidades del Valle del Yeguaré.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

Desarrollar un estudio hidrológico en la Microcuenca de la Quebrada El Gallo que permita evaluar las relaciones oferta-demanda hídrica y modelar las relaciones precipitación-escorrentía.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar un balance hídrico para la microcuenca el Gallo durante los meses de junio a septiembre de 2009 mediante la cuantificación simultánea de precipitación, escorrentía superficial, evapotranspiración y extracciones.
- Aplicar un modelo hidrológico en la microcuenca que permita predecir la respuesta de la misma ante eventos de precipitación.
- Sentar las bases técnicas para el estudio hidrológico de la microcuenca el Gallo a largo plazo, con fines de aplicación pedagógica en Zamorano.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

En 1998 durante el huracán Mitch la quebrada El Gallo dejó a 24 familias de Jicarito sin hogar por lo que se considera necesario realizar estudios de riesgo a eventos de inundación (Zamoticias, 2009). Conocer relaciones precipitación escorrentía es una línea base para estimar crecidas ante tormentas e identificar lugares vulnerables.

En el 2005, el Proyecto MIRA, elaboró el Plan de Manejo de Recursos Naturales de la Microcuenca Quebrada El Gallo, donde se identificó la necesidad de tener un análisis de la cantidad y calidad de agua de esta quebrada que beneficia a las comunidades de Joya Grande, Jicarito, Suringa y San Antonio de Occidente. Para Zamorano, la microcuenca El

Gallo es una fuente temporal (junio a febrero) de agua para riego; su aporte es necesario para cumplir con el caudal requerido, para riego, en horticultura y agricultura orgánica (Ceballos, 2008). Cabe mencionar también que dentro del área de la microcuenca se encuentran algunas obras de captación de Zamorano de agua para consumo humano.

Por otra parte, existe la necesidad de contar con un sitio experimental en la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente (DSEA) para estudios hidrológicos, que se encuentre próximo al campus central y que cuente con infraestructura adecuada. Además, por ser este un estudio a pequeña escala, la información de este microcuenca puede ser aplicada a otras microcuencas de la región que tengan características similares.

Bajo este contexto, este estudio permitirá ayudar a tomar decisiones e iniciar otras investigaciones que promuevan la conservación de la cantidad de agua de esta microcuenca, tanto para sostenibilidad del recurso o suplir demandas futuras.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 CUENCA HIDROGRÁFICA**

La cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas hacia un mismo punto de salida. En la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales que generan diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano (Visión Mundial, 2004).

Las cuencas hidrográficas son consideradas sistemas hidrológicos, por lo cual existen entradas y salidas que pueden ser cuantificables. En ellas se producen interacciones entre sus distintos elementos y existe una alta interdependencia entre usos y usuarios (Visión Mundial, 2004).

### **2.2 CICLO HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico es un modelo de circulación general que implica un despliegue complejo de los movimientos y transformaciones del agua (Lee, 1980). Su constante dinamismo define diferentes etapas o fases que por su manera de enlazarse, generan un verdadero ciclo.

El ciclo del agua o ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para las plantas, los animales y el hombre. Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado, por ejemplo, desde el momento en que es lluvia, hasta volver a ser lluvia. Este recorrido puede cerrarse por distintas vías; el ciclo hidrológico no tiene un camino único. Se parte de la nube como elemento de origen, desde ella se tienen distintas formas de precipitación, con lo que se puede considerar que inicia el ciclo; cualquiera que sea la fase del ciclo que se considere, siempre al final se tendrá el retorno a la atmósfera por evaporación (Maderey, 2005).

### **2.3 BALANCE HÍDRICO**

El tema del ciclo del agua conduce a un planteamiento matemático: el balance hidrológico. Si se considera la cuenca de un río como unidad hidrogeográfica y se

considera también un período de tiempo, es factible estimar el agua que entra y sale en el ciclo a través de dicha superficie y durante ese lapso (Maderey, 2005). En el balance hídrico de cuencas hidrográficas las entradas son generalmente por precipitación y las salidas por evapotranspiración, infiltración a fuentes subterráneas, demandas de usuarios y exportaciones de agua. Esta diferencia de entradas y salidas proporciona información básica para la planificación del recurso agua y generalmente se realiza para conocer sobre la oferta de agua superficial en cuencas, para poder incrementar el aprovechamiento de este recurso sin utilizar más agua de la que puede renovarse.

### **2.3.1 Precipitación**

La precipitación es en general, el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como a lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada (Monsalve, 2000). Adicionalmente la precipitación se considera la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, por lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología (Maderey, 2005).

### **2.3.2 Evapotranspiración**

La evapotranspiración es el término que engloba en una variable única la evaporación y la transpiración de los seres vivos. La evaporación es el fenómeno físico en el que el agua pasa de estado líquido a vapor, incluye también de sólido a vapor. La transpiración es el fenómeno biológico por el cual los seres vivos pierden agua a la atmósfera (Sánchez, 2003). Este fenómeno es relevante en hidrología por su importancia en el entendimiento de pérdidas de agua en las corrientes, canales y embalses (Monsalve, 2000).

Se ha establecido el término de evapotranspiración potencial, al que Thornthwaite (1948) definió como la cantidad máxima posible de agua que perdería el suelo por evaporación y transpiración, suponiendo que éste estuviera saturado. Sólo en condiciones ideales la evapotranspiración real coincidirá con la potencial, en los demás casos, generalmente, la real será menor (Rosenberg, 1974).

### **2.3.3 Escorrentía superficial**

#### **2.3.3.1 Caudal**

El caudal es la cantidad de unidades de volumen de agua que pasan en un tiempo dado a través de un conducto natural o artificial (Chacón *et al.*, 1993). El caudal se expresa en  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ . A continuación se definen algunos conceptos referentes a caudal:

- Nivel de agua, es la altura alcanzada por el nivel de agua en relación a un nivel de referencia. Se expresa en metros o centímetros.
- Creciente, es la elevación normal del nivel de agua dentro de la corriente de agua.

- Inundación, elevación no usual del nivel de agua, que provoca desbordamiento y posibles perjuicios.

## 2.4 HIDROGRAMAS UNITARIOS

Se denomina hidrograma a la representación gráfica de la variación de caudal en relación con el tiempo. Si se aíslan picos de hidrogramas de crecientes, se puede analizar algunos fenómenos de interés en hidrografía. Para analizar un hidrograma es necesario conocer el hietograma de la lluvia productora como el hidrograma del caudal producido; sin embargo, la manera más fácil de analizar estos fenómenos es con un hidrograma unitario. El hidrograma unitario se refiere al hidrograma de escorrentía superficial total resultante de un volumen unitario de lluvia neta (Monsalve, 2000).

Según Monsalve (2000) existen dos supuestos básicos en la teoría del hidrograma unitario:

- Se considera que las precipitaciones antecedentes no influyen en la distribución del tiempo de la escorrentía superficial producida por una lluvia determinada.
- Para calcular la escorrentía superficial producida por cualquier otra lluvia neta, diferente a la lluvia unitaria, se supone que el sistema es lineal e invariante en el tiempo.

Además se debe considerar los siguientes conceptos:

- Precipitación neta o efectiva, es la parte de precipitación total que genera escorrentía directa.
- Abstracciones, precipitación que no genera escorrentía directa y está formada por retención superficial o infiltración. Disminuye a medida que la precipitación se prolonga y es entonces cuando comienza el escurrimiento (Campos, 1992). Los factores que lo influyen son: el tipo de suelo, el grado de humedad o saturación del suelo, cubierta vegetal y la acción del hombre sobre el suelo.
- Tiempo de concentración, se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: el extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el gasto pluvial (Cepeda, 1998).
- Tiempo de retardo de la cuenca, tiempo entre centro geométrico de la distribución de la lluvia neta y el pico del hidrograma de escorrentía superficial.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca de la Quebrada El Gallo se encuentra localizada en el municipio San Antonio de Oriente, departamento Francisco Morazán, cumpliendo como fuente receptora de agua de las quebradas: Agua Amarilla, Arriba y Cuevitas. Está ubicada entre las siguientes coordenadas geográficas extremas UTM 91800 y 97750 longitud y 49000 y 55200 latitud. Su ámbito de elevación va desde los 725 msnm hasta los 2,008 msnm. Ocupa un área total de 2,440 ha hasta su desembocadura con el río Yeguaré (para fines de estudio se consideró un área hasta el punto de aforo que es 2,253 ha). Del área total de la microcuenca Zamorano protege 108 ha pertenecientes a la zona de reserva biológica del Cerro Uyuca en la porción noroeste de la microcuenca. El cuadro 1 y la figura 1 presentan los datos generales de la microcuenca.

Cuadro 1. Datos generales de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras

| <b>Parámetro</b>                 | <b>Medidas</b> |
|----------------------------------|----------------|
| Perímetro de la microcuenca      | 29.85 km       |
| Área de drenaje de la cuenca     | 2,440 ha       |
| Área de drenaje de la cuenca (2) | 2,253 ha       |
| Altura máxima                    | 2,008 m.s.n.m. |
| Altura mínima                    | 725 m.s.n.m.   |
| Longitud del cauce               | 11.62 km       |
| Longitud del cauce (2)           | 9.17 km        |
| Pendiente del canal principal    | 4.16 %         |
| Forma de la cuenca               | Elongada       |
| Orden de los tributarios         | Segundo orden  |

(2): Área y Longitud del cauce hasta la sección de aforo del presente estudio.  
Tomado de: USAID/MIRA (2005) adaptado por el autor.

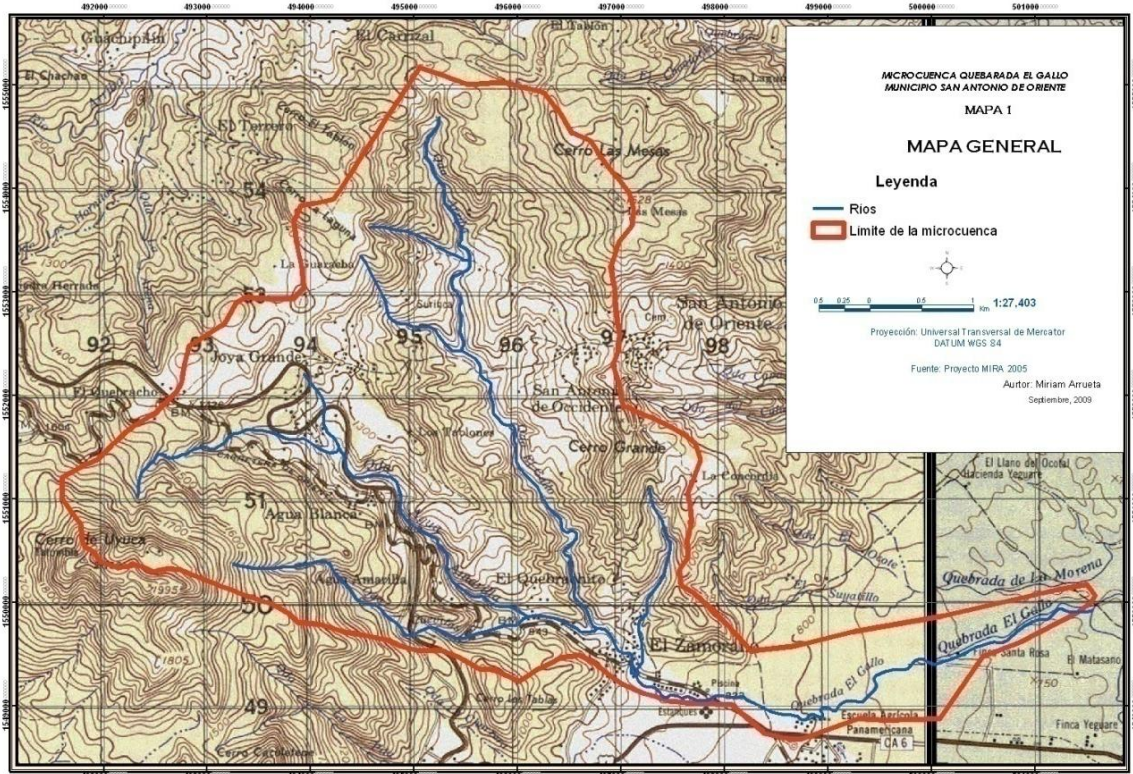


Figura 1. Microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

### 3.2 CÁLCULO DE BALANCE HÍDRICO

Como se definió anteriormente el cálculo de balance hídrico es la estimación de entradas y salidas en un periodo de tiempo determinado. Las aportaciones de agua que se efectúan son las precipitaciones. Las pérdidas se deben esencialmente a la combinación de la evaporación y la transpiración de todos los organismos vivos, lo cual se designa bajo el término evapotranspiración. La infiltración se considera una puesta en reserva como agua subterránea. Además se consideran la demanda de agua que tienen los pobladores, para sus diferentes usos y las extracciones de agua potable para consumo por parte de Zamorano. Las magnitudes de estas variables se evalúan en cantidad de agua por unidad de superficie (mm). Al ser estas magnitudes físicamente homogéneas, se pueden comparar calculando su diferencia.

La ecuación general de balance hídrico es la siguiente:

$$\Delta A = P - ETR - Q - D \quad [1]$$

Donde:

$\Delta A$  = Cambio en almacenamiento (mm)

$P$  = Precipitación incidente (mm)

ETR = Evapotranspiración real (mm)  
 Q = Escorrentía (mm)  
 D = Demanda de agua y extracciones

A continuación se explica el procedimiento para el cálculo de cada uno de los componentes de esta ecuación.

### 3.2.1 Precipitación

Para la medición de precipitación en el estudio se instalaron pluviómetros con dispositivo de balancín, Onset® “Data Logging Rain Gauge”, que consta de un aparato con un balancín en su interior montado sobre un pivote ajustado para volcar cuando haya recibido una cantidad conocida de precipitación. Cada vuelco del balancín equivalente a 0.2 mm es registrado en un “data logger” o la memoria del aparato. Asimismo, se registra la fecha y hora con el fin de realizar análisis posteriores en términos de precipitación en milímetros.

Se colocó un pluviómetro en San Antonio de Occidente y otro en la Reserva Biológica Uyuca (Chalet Cabot). Adicionalmente se obtuvieron datos para el mismo periodo de la Estación meteorológica de Zamorano. La ubicación de los tres pluviómetros se muestra en el cuadro 2 y figura 2.

Cuadro 2. Localización de pluviómetros en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

| <b>Lugar</b>              | <b>Ubicación Geográfica (UTM)</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|
| San Antonio de Occidente  | 46708, 1552684                    |
| Cerro Uyuca               | 492030, 1551557                   |
| Zamorano, Estación zona 1 | 500404, 1549015                   |

UTM: Sistema Universal de Medida Transversal



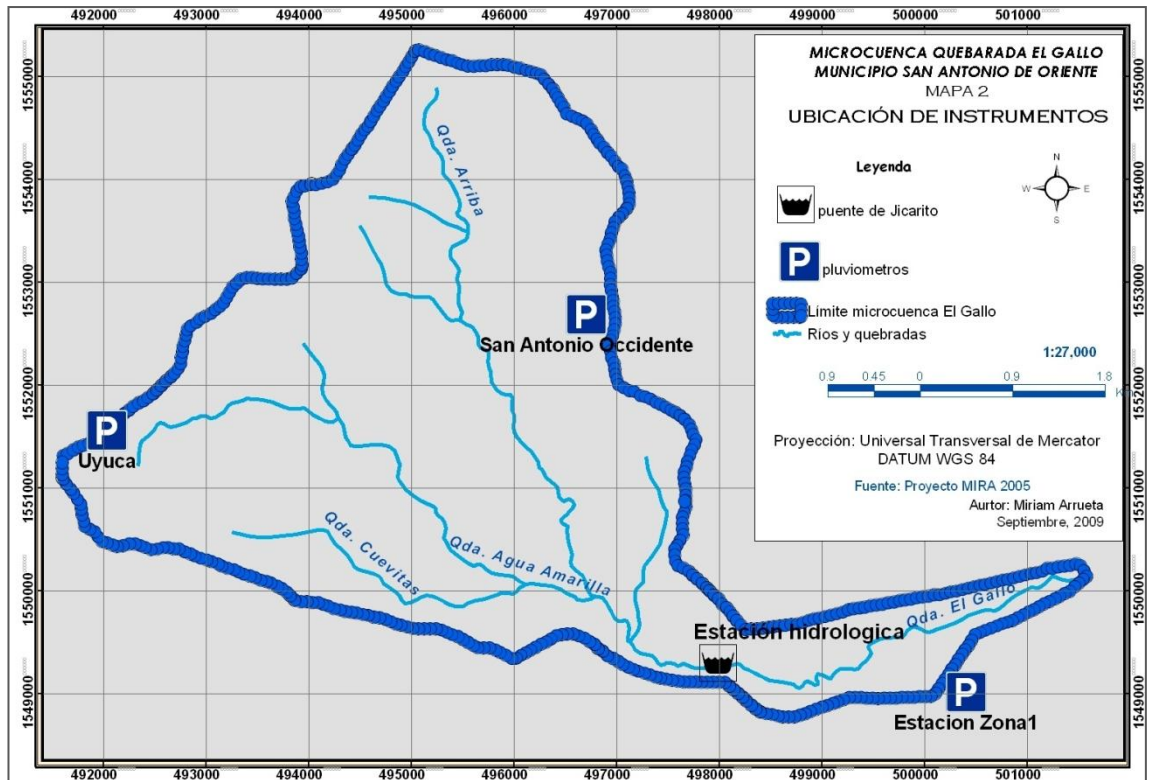


Figura 2. Ubicación de los tres pluviómetros en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

La descarga de los datos registrados por los pluviómetros a la computadora se hizo mediante el programa HOBOWare Pro que permite configurar los registradores o pluviómetros, ayuda a descargar datos, analizarlos y además exportarlos a otro tipo de programas (Equipos Instrumentación y control, 2008). Por otra parte, los datos faltantes en los registros, por ausencia de aparato durante un determinado periodo, se completaron con datos de las otras estaciones aplicando la ecuación que se muestra a continuación.

$$P_x = 1/n [(N_x/N_1)P_1 + (N_x/N_2)P_2] \quad [2]$$

En donde:

- n = Número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanas a la estación "x", la cual va a ser completada en su registro
- $P_x$  = Precipitación de la estación "x" durante el período de tiempo por completar
- $P_1$ - $P_2$ = Precipitación de las dos estaciones restantes en el período de tiempo por completar
- $N_x$  = Precipitación media mensual de la estación "x"
- $N_1$ - $N_2$ = Precipitación media mensual de las estaciones 1 y 2

Es importante para la estimación del balance hídrico determinar la precipitación media en la microcuenca. Para ello se utilizó el método de polígonos de Thiessen para distribución no uniforme de aparatos. El método consiste en atribuir un factor de peso a los totales de precipitación en cada aparato, proporcional al área de influencia de cada uno. Las áreas de influencia se determinan en el mapa de la microcuenca con la ubicación de los pluviómetros, uniendo dichos puntos de ubicación por medio de líneas rectas y trazando las mediatrices de estas rectas, formando polígonos. Los lados de los polígonos son los límites de las áreas de influencia de cada estación (figura 3).

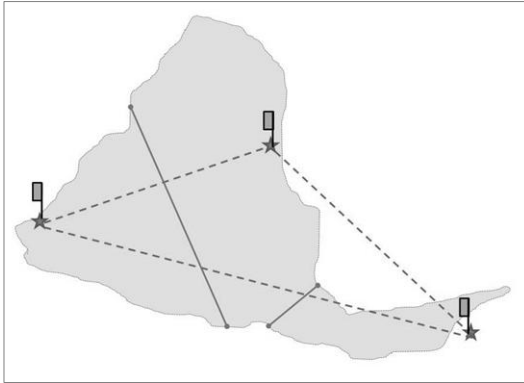


Figura 3. Demostración del método de polígonos de Thiessen.

A partir de la determinación de las áreas se aplica la siguiente ecuación:

$$P(\text{media}) = (\sum p_n \times a_n) \times A^{-1} \quad [3]$$

|                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| $P_{(\text{media})}$ | = | Precipitación media de la cuenca  |
| $p_n$                | = | Precipitación registrada en cada aparato pluviométrico                                |
| $a_n$                | = | Área correspondiente al aparato pluviométrico respectivo, resultante de los polígonos |
| $A$                  | = | Área total de la cuenca   |

### 3.2.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial se estimó con los datos de la estación de Zamorano en Zona 1, mediante la ecuación Penman Monteith (ecuación 4). Esta ecuación combina los métodos de balance de energía y el aerodinámico basado en el proceso de difusión de vapor.

[4]

Donde:

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| $\lambda ETP$ | = | Evapotranspiración Potencial (mm)   |
| $R_n$         | = | Flujo de radiación neta ( $W m^{-2}$ )  |
| $G$           | = | Flujo de calor del suelo, ( $W m^{-2}$ )  |
| $(e_s - e_a)$ | = | Déficit de presión de vapor (kPa)   |
| $p_a$         | = | Densidad del aire ( $kg m^{-3}$ )   |
| $c_p$         | = | Calor específico del aire (cal)   |
| $r_a$         | = | Resistencia aerodinámica ( $s m^{-1}$ )   |
| $\gamma$      | = | Constante psicrométrica ( $kPa ^\circ C^{-1}$ )                                       |
| $r_s$         | = | Resistencia de la cubierta vegetal a la transferencia de vapor de agua ( $s m^{-1}$ ) |

A partir de los datos de evapotranspiración potencial se obtuvo la evapotranspiración real mediante el método de Thornthwaite-Mather (1955) adaptado por Mehta (2006). El método indica que la evapotranspiración real será igual a la potencial, si la precipitación es mayor o igual a la evapotranspiración potencial. Por otra parte, si la diferencia de precipitación y evapotranspiración potencial es menor a cero, entonces la evapotranspiración real será igual a la precipitación más el contenido de agua en el suelo (SW) el día evaluado. Este último dato se determina mediante la siguiente ecuación:

$$SW = (AWC)^{(APWL/AWC)} \quad [5]$$

Donde:

|      |   |  |
|------|---|--|
| SW   | = | Contenido de agua en el suelo                  |
| AWC  | = | Contenido de agua disponible ( $d \times FC$ ) |
| APWL | = | Agua disponible acumulada                      |

El método de Thornthwaite-Mather (1955) adaptado por Mehta (2006) indica que el contenido de agua (AWC) esta en función de la profundidad de las raíces promedio de la microcuena (d) y la capacidad de retención de agua disponible (FC). A continuación se explica como se obtuvieron estos componentes.

- Profundidad de raíces (d)

Se atribuyó un dato de profundidad de raíces dependiendo de los usos de suelo de la microcuena. Según Canadell *et. al.* (1996), los árboles en el bosque siempre verde tropical tienen en promedio  $6.5 \pm 2.5$  m de profundidad de raíces, se considera que los valores máximos son registrados en bosques que no son densos puesto que estos individuos tienen mayor resistencia a vientos. Según Weaver (1919), el estudio más completo, sobre profundidad de raíces de plantas anuales o temporales, indica que tienen de 1.5-2.1 m de profundidad. Finalmente estos datos se ponderaron con el porcentaje de

área que abarca cada uso de suelo y su suma se considera la profundidad de raíces de la microcuenca.

- Capacidad de retención de agua disponible (FC)

De acuerdo al método Thornthwaite-Mather la capacidad de retención de agua disponible depende de la textura del suelo. Los suelos con textura arenosos tendrán 6% de capacidad de campo, limosos 29% y arcillosos 41% (Neitsch *et. al.*, 2005). De igual manera se atribuye estos valores a las áreas de la microcuenca y posteriormente se pondera con el porcentaje de área que abarcan y la suma es el resultado.

### 3.2.3 Escorrentía

Se determinó escorrentía continua mediante el desarrollo de una curva de relación caudal-altura para lo cual se realizaron mediciones de caudal (aforos) y registro datos de elevación bajo diferentes condiciones hidrológicas. Posteriormente se hizo una regresión para relacionar altura y caudal.

Para obtener los datos de elevación en el sitio, se instaló una estación hidrométrica (Figura 4), para lo cual se seleccionó una sección de cauce con poca pendiente, en línea recta y donde fácilmente se pueda establecerse el equipo y realizarse las mediciones. Este sitio se ubicó en el primer puente que de Zamorano conduce a la comunidad de Jicarito (coordenadas 497993 y 1549299 (WGS 1984)). Se procedió a instalar un transductor de presión, Global Water® “WL16S Water Level Logger” (PN# series AS), protegido por un tubo de PVC con varias perforaciones para permitir el paso del agua, este aparato registró el nivel de agua que pasa en esa sección de la quebrada (figura 4).

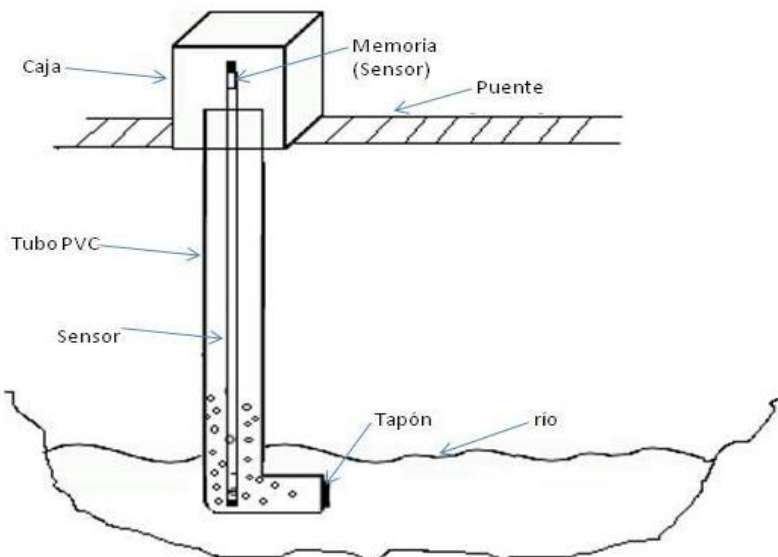


Figura 4. Equipo para medir el nivel de agua instalado en la Microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

De acuerdo al nivel de agua en el río, los datos de caudal se obtuvieron mediante dos tipos de aforos. Aforos con molinete para corrientes medianas o grandes y aforos químicos para corrientes pequeñas o niveles menores a diez centímetros. A continuación se describen estos dos tipos de aforos.

Para los aforos con molinete se dividió el ancho de la sección del río en sub-secciones de 50 cm (figura 5). En cada sub-sección se midió profundidad y por la velocidad del río mediante un molinete tipo Pigmy. Para obtener el caudal se aplicó la ecuación 6 la cual considera todos los factores mencionados anteriormente.

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad [6]$$

$$q_i = v_i \frac{(b_{i+1} - b_{i-1})}{2} d_i$$

Donde:

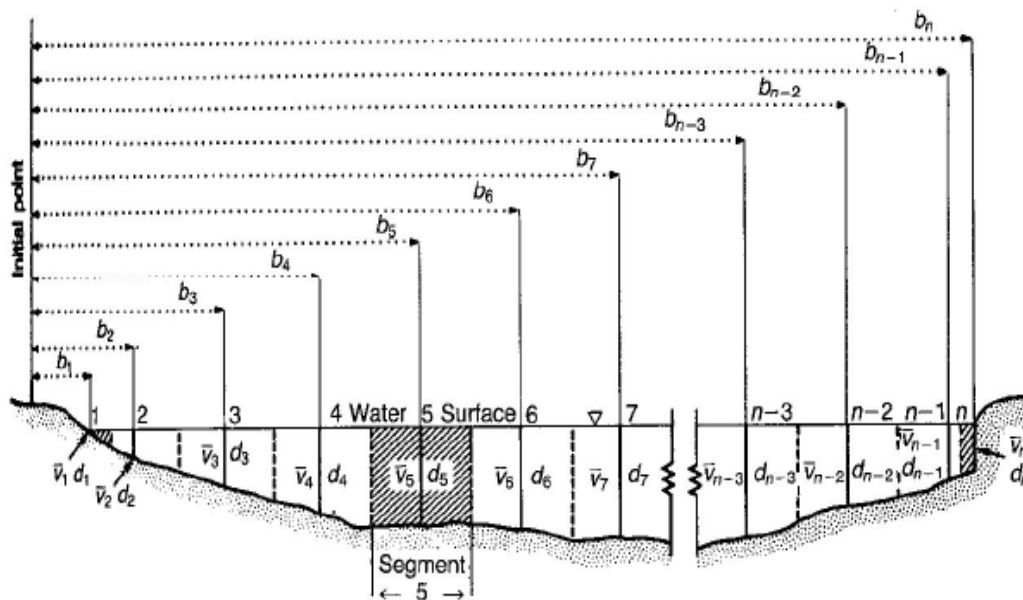
Q = Caudal del río

$q_i$  = Caudal parcial de la sección

$v_i$  = Velocidad de la corriente en el punto i

$b_i$  = Distancia desde el margen izquierdo en el punto i

$d_i$  = Profundidad en el punto i



Source: Herschy, R. W., 1995: *Streamflow Measurement*. Second Edition, E&FN Spon, London, 524 pp.

Figura 5. Aforos con molinete, descripción del proceso de medición.

Fuente: Herschy, R. 1995, tomado de Tenorio (2008)

Los aforos químicos se hicieron con cloruro de sodio (NaCl). Su fundamento indica que si arrojamos una sustancia de concentración conocida a un cauce, este soluto se diluye en la corriente y aguas abajo se toman varias mediciones a intervalos de tiempo iguales. Las concentraciones de todas las muestras aguas abajo se promediaron para esta aplicación (Sanchez, 2003). El cálculo se realiza con la ecuación de Nijssen (2003) (ecuación 7).

$$Q \int_{t_0}^T (C_2(t) - C_o(t)) dt - V_1 C_1 \quad [7]$$

Donde:

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| Q                | = | Caudal  |
| V <sub>1</sub>   | = | Volumen del vertido                           |
| C <sub>1</sub>   | = | Concentración del vertido                     |
| t                | = | intervalos de tiempo                          |
| $\overline{C_2}$ | = | Concentración promedio registrada aguas abajo |

Adicionalmente a la estimación de caudal con datos de nivel de agua, se estimó caudal mediante el método de Thornthwaite-Mather, el cual indica la fracción de precipitación que genera escorrentía. Para su cálculo se utilizó la ecuación 9 que indica que la escorrentía esta en función a un coeficiente lineal de reserva y el excedente de la precipitación, este último se calculó con la ecuación 8.

$$S = P - EP + SW - AWC \quad [8]$$

Donde:

|     |   |                                |
|-----|---|--------------------------------|
| S   | = | Excedente                      |
| P   | = | Precipitación diaria           |
| EP  | = | Evapotranspiración real diaria |
| SW  | = | Agua del suelo                 |
| AWC | = | Contenido de agua disponible   |

Entonces:

$$R = \left( ((1 - f) \times S_2) + S \right) f \quad [9]$$

Donde:

|                |   |  |
|----------------|---|--|
| R              | = | Escorrentía diaria                             |
| f              | = | Coefficiente lineal de reserva (se asume 0.50) |
| S              | = | Excedente                                      |
| S <sub>2</sub> | = | Excedente del día anterior                     |

### 3.2.4 Demanda y exportaciones de agua

El cálculo de la demanda de agua para la microcuenca se realizó en función a la población de las comunidades beneficiarias. Las comunidades de Joya Grande, Jicarito, Suringa y San Antonio de Occidente contienen 7,414 usuarios (USAID/MIRA, 2005) y el consumo estimado por día es 150 litros por persona (SANAA, 2009). Por otra parte se asumió que las exportaciones son iguales a la entrada de agua a los tanques de Zamorano que es igual a 1,879.80 m<sup>3</sup> por día.

## 3.3 HIDROGRAMAS UNITARIOS

Los datos de precipitación permitieron disponer de un hietograma, que refleja la precipitación total caída durante cualquier evento del periodo de estudio. Sin embargo, la predicción de la escorrentía requiere de la separación de la precipitación bruta de la precipitación neta (fracción de esa precipitación que ha generado escorrentía directa) (Sánchez, 2003). Este procedimiento fue establecido por el “Soil Conservation Service” USA (1964). El cálculo que se utilizó corresponde a la versión adaptada en España por MOPU (1990). Los pasos son los siguientes:

### 3.3.1 Cálculo de la abstracción inicial (Po)

El método de “Soil Conservation Service” de los Estados Unidos de América (SCS), denominado número de curva de escorrentía CN, se utiliza para calcular abstracciones de una tormenta. Este método fue desarrollado basado en datos de precipitación y escorrentía de 24 horas y realiza una clasificación previa de los factores que intervienen en la capacidad de infiltración (Monsalve, 2000) en función de las siguientes propiedades:

- Clasificación hidrológica de suelos

Con datos del proyecto MIRA (2005) los suelos han sido clasificados en cuatro grupos A, B, C y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento.

- A. (Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración aún cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas bien drenadas y con alta transmisión de agua.
- B. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesa y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
- C. (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente finas a finas, suelos, con infiltración lenta debido a niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad.

D. (Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta y poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión de agua muy lenta.

- Uso y tratamiento del suelo

Esta información se obtuvo de los mapas y base de datos generados por el proyecto USAID/ MIRA (2005). Incluye todo tipo de vegetación (prado, suelos cultivados y bosques), tierras en descanso (suelo limpio), usos no agrícolas, superficies de agua, superficies impermeables (camino, techos y otros) y áreas urbanas. Por otra parte los datos de tratamiento de suelos se obtuvieron mediante inspecciones en campo y solo se aplica a áreas agrícolas. La asignación de valores por tratamiento incluye la consideración de existencia de prácticas mecánicas, perfilado de curvas de nivel (terraceados), cultivos en hilera y prácticas de manejo como control de pastoreo y rotación de cultivos (Monsalve, 2000).

- Condición hidrológica

En prados se refiere al porcentaje del área cubierta con pasto natural y la intensidad de pastoreo que fueron estimadas visualmente. Una condición hidrológica pobre corresponde a menos del 50 por ciento de área cubierta y alta intensidad de pastoreo. Una condición hidrológica aceptable corresponde al 50 a 75 por ciento del área cubierta y media intensidad de pastoreo. Una condición hidrológica buena corresponde a más del 75 por ciento del área cubierta y ligera intensidad de pastoreo (Monsalve, 2000).

Por otra parte la condición hidrológica para los bosques se determinó visualmente como indica la siguiente clasificación. Pobre es densamente pastado o bosques regularmente quemados, con pocos arbustos, aceptable son pastos pero no quemados con algunos arbustos y muy pequeña cantidad de humus vegetal, condición hidrológica buena son áreas protegidas con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie (Monsalve, 2000).

- Determinación del número de curva de escorrentía (CN)

Con el programa Arc GIS 9.3® se elaboró una base de datos con todos los elementos descritos para calcular el número de curva de escorrentía (CN) a partir de 1183 polígonos en el área de estudio. Se asignó un valor a cada uno de los polígonos de acuerdo a la referencia del método (Anexo I) y se hizo una media ponderada a partir del área de cada polígono.

- Determinación de la abstracción inicial o umbral de escorrentía ( $P_o$ )

La abstracción inicial ( $P_o$ ) se calculó a partir del número de curva se aplica la siguiente ecuación:

$$P_o = 0.2 \times \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad [10]$$



Donde:

Po = Abstracción inicial o umbral de escorrentía

CN = Número de curva de escorrentía

- Condición de humedad antecedente

Se consideran tres niveles de humedad antecedente dependiendo de la abstracción inicial resultante (Po). La condición de humedad previa seca (Po (I)) tiene el menor potencial de escorrentía. La condición de humedad previa promedio (Po (II)) tiene un potencial de escorrentía normal y es la que resulta de la ecuación 10. La condición de humedad previa húmeda (Po (III)) tiene el mayor potencial de escorrentía, esta prácticamente saturada de precipitaciones anteriores (Sánchez, 2003). Las correcciones de humedad de acuerdo a la condición de humedad antecedente se muestran en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Corrección de la abstracción inicial (Po) según el grado de humedad previa.**

|                |                                 |                       |
|----------------|---------------------------------|-----------------------|
| Días previos   | $Po_{(I)} = Po_{(II)} * 2.31$   |                       |
| <b>secos</b>   |                                 |                       |
| Días previos   | $Po_{(III)} = Po_{(II)} * 0.43$ | Para $Po_{(II)} > 35$ |
| <b>húmedos</b> |                                 |                       |

### 3.3.2 Cálculo de la Precipitación Neta

El procedimiento que estableció el Servicio Nacional de Suelos de los Estados Unidos de América (1964) indicó que la precipitación neta se calcula mediante la ecuación 11. A partir los de datos de precipitación neta se obtiene el hidrograma de una tormenta.

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4 P_o} \quad [11]$$

Donde:

P = precipitación total registrada

P<sub>n</sub> = precipitación neta

P<sub>o</sub> = Abstracción inicial o Umbral de escorrentía

- Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se estimó mediante la ecuación de Kirpich (1940) (ecuación 12), para su aplicación previamente se definió la longitud del cauce (L) y pendiente (s). La primera fue considerada hasta el punto de aforo y, la segunda se obtuvo a partir del mapa de pendientes. Ambos elementos de esta ecuación fueron computados con el programa Arc GIS 9.3 ®.

$$T_c = 3.97 \times \left( \frac{L^{0.77}}{s^{0.385}} \right) \quad [12]$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L$  = Longitud del cauce (km)

$s$  = Pendiente promedio de la cuenca en porcentaje

- Tiempo de retardo

El tiempo de retardo se estimó a partir del tiempo de concentración, mediante la ecuación 13.

$$Tr = Tc \times 0.6 \quad [13]$$

Donde:

$Tr$  = Tiempo de retardo (min)

$Tc$  = Tiempo de concentración (min)

- Hidrogramas de precipitación neta

Finalmente, se hizo uso del programa HEC-HMS Versión 3.4® del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos el cual calcula el hidrograma producido por una cuenca si se le facilita datos físicos (precipitación en periodos de tiempo, número de curva de escorrentía, abstracción inicial, tiempo de retorno y área). HEC-HMS incluye varios procedimientos, el seleccionado para el estudio fue el “Soil Conservation Service” adaptación de MOPU, como se menciono antes. El programa dividió cuatro fases para la obtención del hidrograma: separación de lluvia neta, cálculo de escorrentía directa, suma de la escorrentía directa a la escorrentía básica y evolución del hidrograma en el tiempo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 PRECIPITACIÓN

De acuerdo al método de Polígonos de Thiessen el pluviómetro que tiene mayor área de influencia fue el de San Antonio de Occidente que abarca aproximadamente el 61% del área total de la microcuenca; sin embargo, para la estimación de balance hídrico se considero un área de influencia de 68% para este mismo pluviómetro. La figura 6 y cuadro 4 indican los resultados del área de influencia de los pluviómetros en la microcuenca.

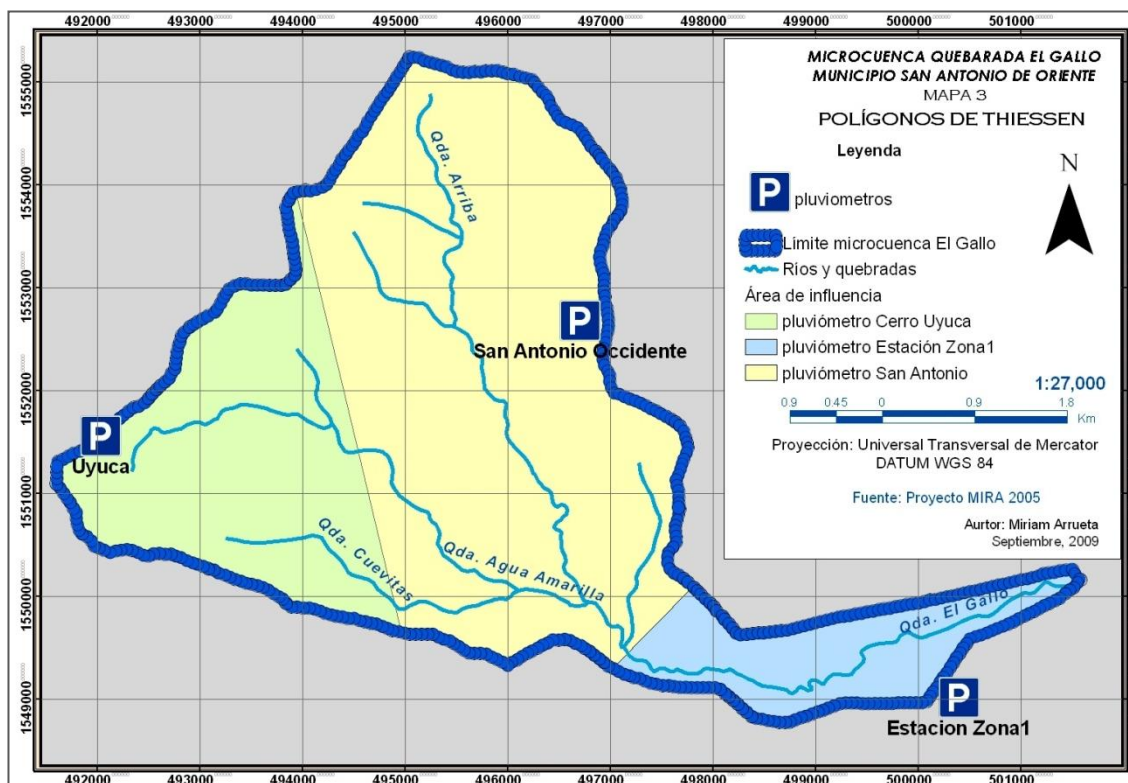


Figura 6. Polígonos de Thiessen para la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras

Cuadro 4. Área de influencia de pluviómetros (Polígonos de Thiessen) en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente Honduras.

| Ubicación                | Área (%)    | Área (ha)      | Área (%) (2) | Área (ha) (2)  |
|--------------------------|-------------|----------------|--------------|----------------|
| San Antonio de Occidente | 61%         | 1522.27        | 68%          | 1522.27        |
| Cerro Uyuca              | 27%         | 662.52         | 29%          | 662.52         |
| Estación Zona 1          | 12%         | 308.58         | 3%           | 68.10          |
| <b>Total</b>             | <b>100%</b> | <b>2493.37</b> | <b>100%</b>  | <b>2252.90</b> |

(2): Área de la microcuenca El Gallo hasta la sección de aforo.

La acumulación de los promedios de precipitación diarios para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2009 y 6 de septiembre de 2009 fue 469.62 mm. Los datos de precipitación diaria promedio de la microcuenca para este mismo periodo se muestran en el anexo 2, la figura 7 presenta la acumulación semanal de estos datos, en ella se puede observar que el registro de precipitación más alto es el de la segunda semana de junio, lo que se debe a las tormentas del 9 y 24 de junio, esta última es el registro diario más alto durante el periodo de estudio.

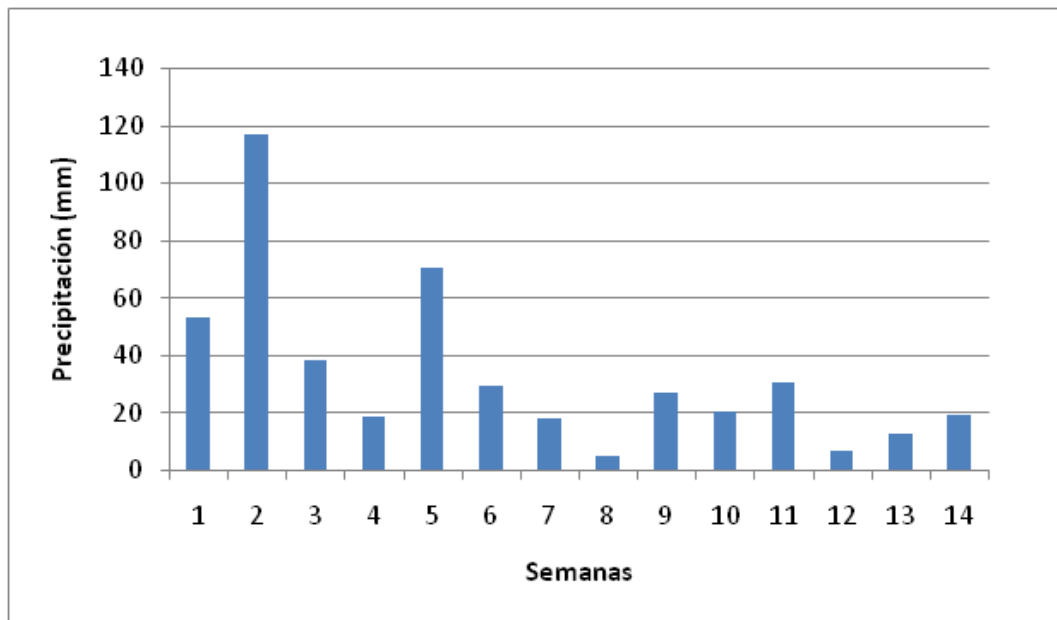


Figura 7. Precipitación semanal en mm en la Microcuenca del Gallo en las semanas del 1 de junio al 6 de septiembre de 2009.

## 4.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para el periodo 1 de junio al 6 de septiembre de 2009 la evapotranspiración potencial acumulada fue 340.62 mm. Por otra parte, previo al cálculo de evapotranspiración real se determinó la capacidad e retención de agua disponible, la profundidad de las raíces y el contenido de agua disponible los resultados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Datos para el cálculo de evapotranspiración real para la microcuenca El Gallo, San Antonio de Occidente Honduras.

| Descripción                                    | Datos      |
|--|------------|
| Capacidad de retención de agua disponible (FC) | 21%        |
| Profundidad de la raíces (d)                   | 2250.00 mm |
| Contenido de agua disponible (d* FC)           | 472.50 mm  |

La evapotranspiración real acumulada entre el 1 de junio y el 6 de septiembre de 2009 fue 353.52 mm. En la figura 8 se muestran los datos semanales acumulados para este mismo periodo e indican las bajas condiciones de humedad de la microcuenca por lo que en casi todas las semanas la evapotranspiración potencial supera la real.

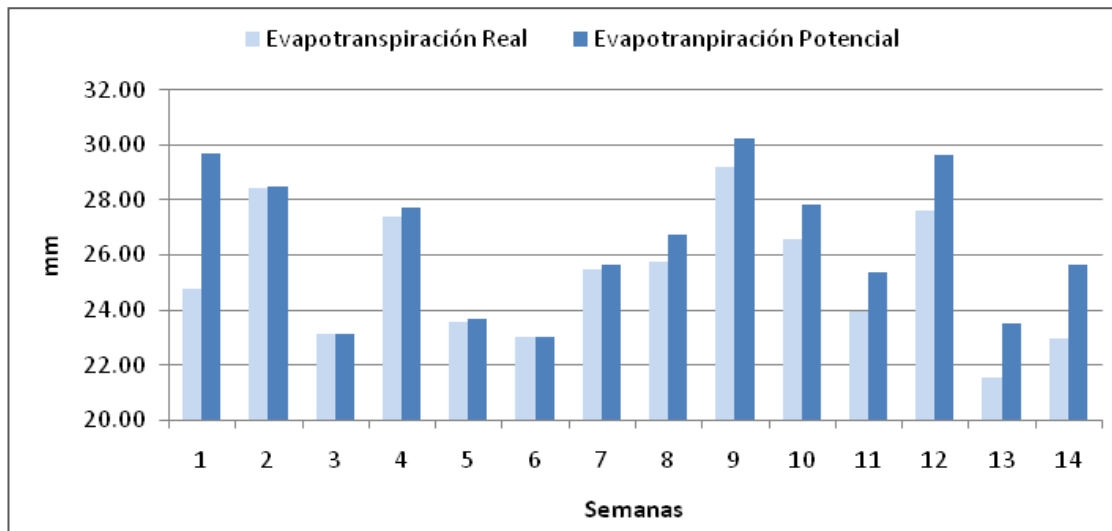


Figura 8. Evapotranspiración real y potencial en mm de la microcuenca El Gallo en las semanas del 1 de junio al 6 de septiembre 2009

### 4.3 ESCORRENTÍA

La curva determinada para la relación caudal-altura fue dada por  $y = 0.00583 \ln(x) + 0.304$  (figura 9) con un  $R^2 = 0.9315$ . Donde “y” es la altura y “x” el caudal registrado a esa altura de agua.

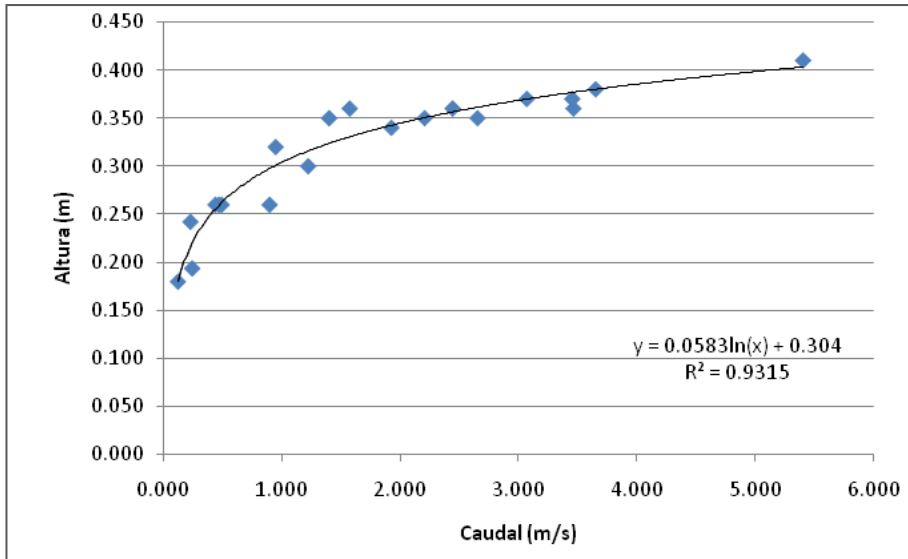


Figura 9. Curva de relación altura-caudal microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

Aplicando la ecuación de relación caudal-altura, procedente de la figura 9, se determinaron los datos de escorrentía diaria, estos datos se expresan en mm (Anexo 3). Por otra parte, con el método de Thornthwaite-Mather se separó la fracción de precipitación que genera escorrentía. Se muestran los resultados diarios de ambas metodologías en la siguiente figura.

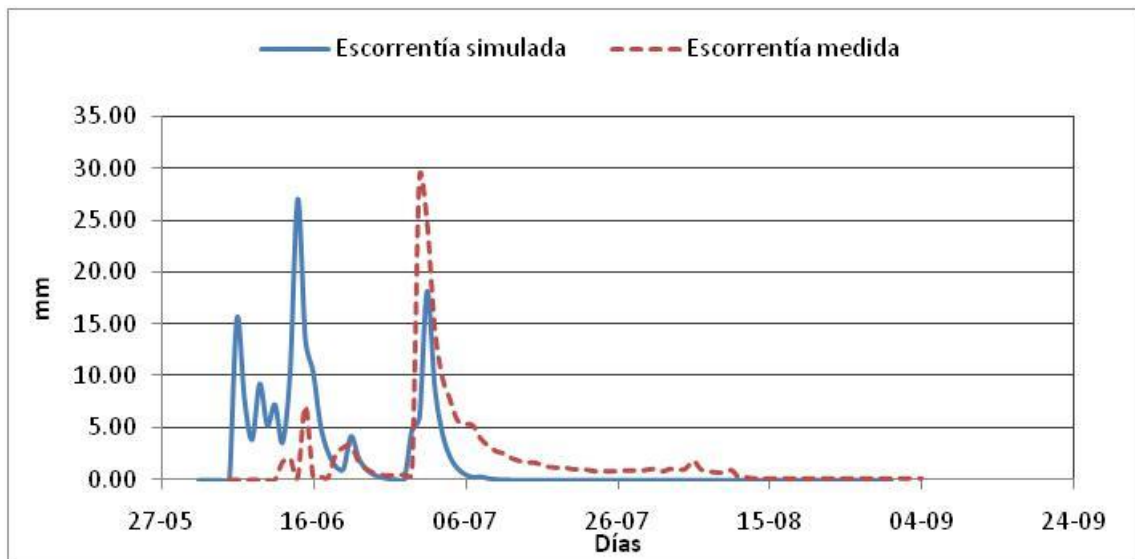


Figura 10. Escorrentía medida y estimada diaria en mm de la microcuenca El Gallo en el periodo del 1 de junio al 6 de septiembre de 2009.

#### 4.4 DEMANDA Y EXTRACCIONES DE AGUA

De acuerdo a la población de las comunidades beneficiarias (7,414 usuarios) y al consumo promedio estipulado por el SANAA (150 litros por persona por día), la demanda de agua en la microcuenca es  $1112.1 \text{ m}^3$  por día, este dato expresado en mm es 0.05. Para el periodo del 1 de junio al 6 de septiembre fue 4.84 mm. Se considera que el retorno al sistema es 0% porque las comunidades no tienen tratamiento de aguas residuales. Por otra parte, la entrada de agua al sistema de Zamorano en el periodo del 1 de junio al 6 de septiembre de 2009 fue  $184,220.40 \text{ m}^3$ , lo que expresado en mm es 8.09 mm.

#### 4.5 CAMBIO EN ALMACENAMIENTO

El cambio en almacenamiento como resultado del balance hídrico de la microcuenca fue de -101.69 mm para el periodo establecido, lo que indica que hay un déficit en el sistema. La precipitación representó la única entrada, el 75% de esa entrada al sistema se perdió por evapotranspiración, el 44% salió por escorrentía y el 3% represento la demanda y exportaciones (figura 11). La figura 11 muestra que únicamente hay cambios positivos durante las semanas 1, 2, 6, y 11 del estudio.

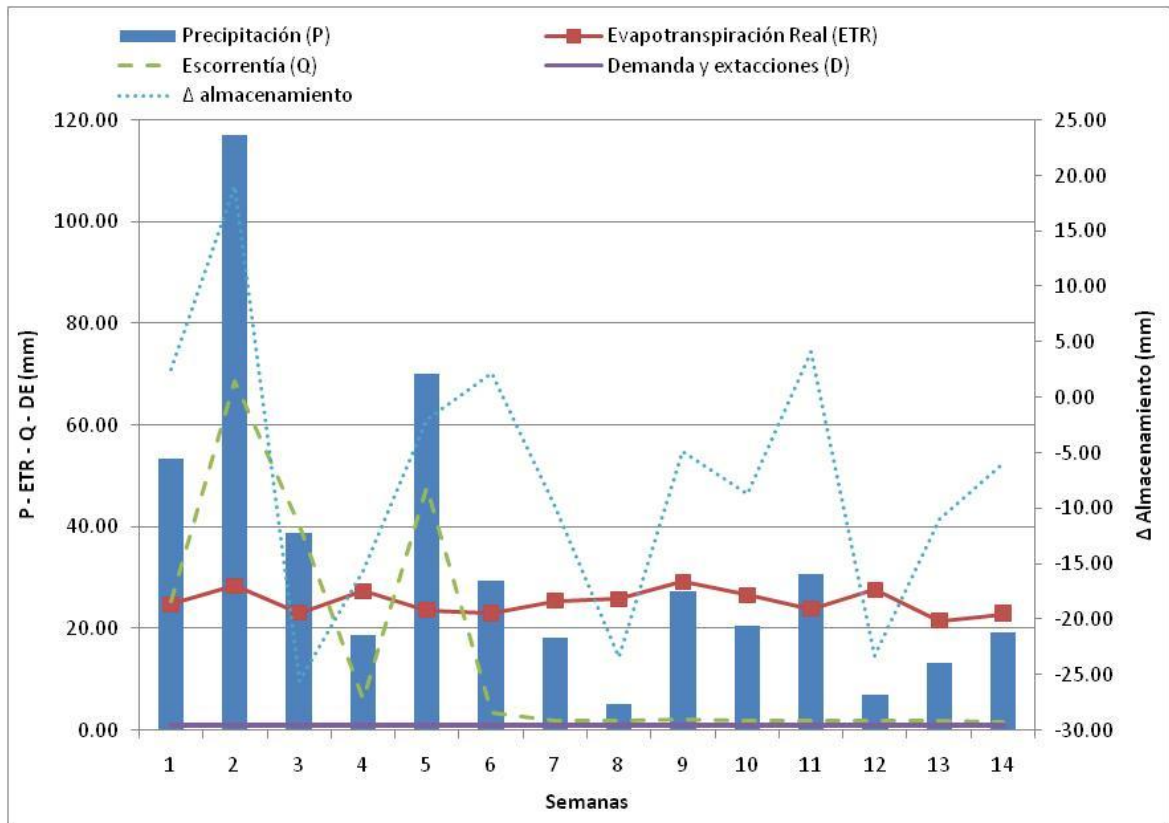


Figura 11. Estimación del balance hídrico para la microcuenca El Gallo en el periodo 1 de junio al 6 de septiembre de 2009.

## 4.6 HIDROGRAMAS UNITARIOS

### 4.6.1 Abstracción inicial (Po)

El número de curva de escorrentía para la microcuenca fue 58.07, este número representa las características biofísicas de la microcuenca que influyen en la tasa de escorrentía producida. De acuerdo al método establecido por “Soil Conservation Service” de los Estados Unidos de América (SCS), a partir de bases de datos se creó el mapa de clasificación hidrológica de suelo (figura 13) y adicionalmente se adaptó los mapas de pendientes (figura 12), y uso de suelo (figura 14) para realizar el cálculo de este número.

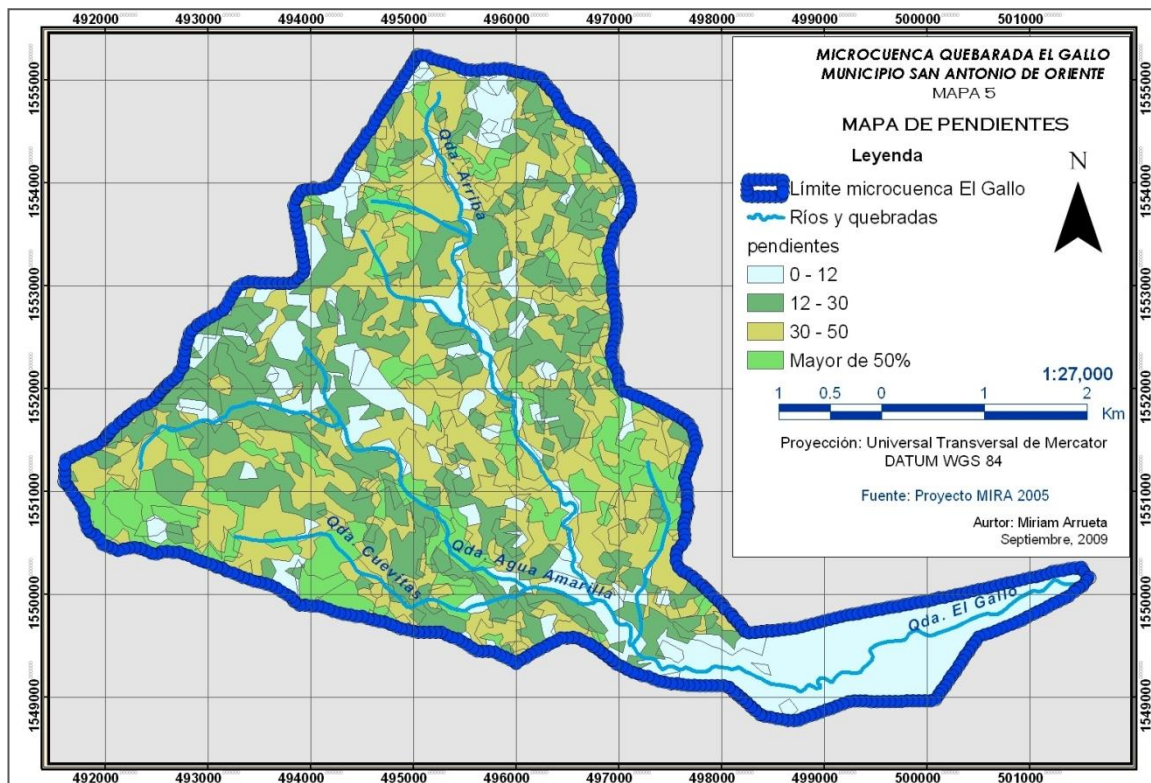


Figura 12. Mapa de pendientes de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.



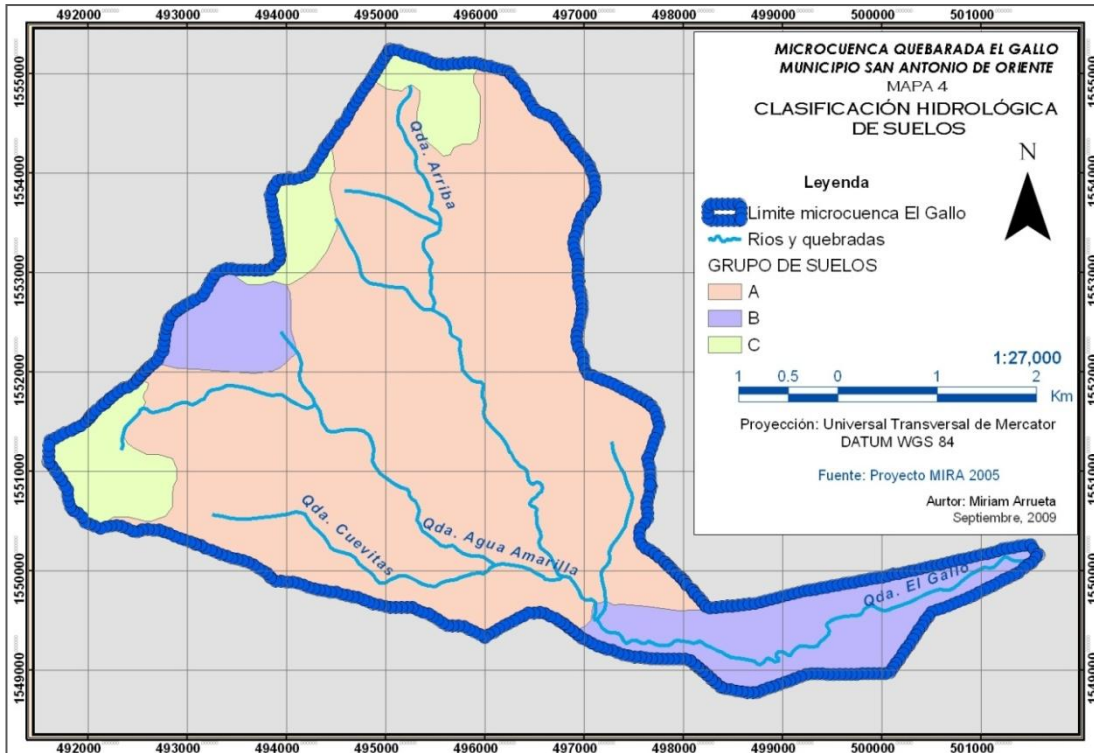


Figura 13. Clasificación de suelos hidrológicos de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Occidente, Honduras.

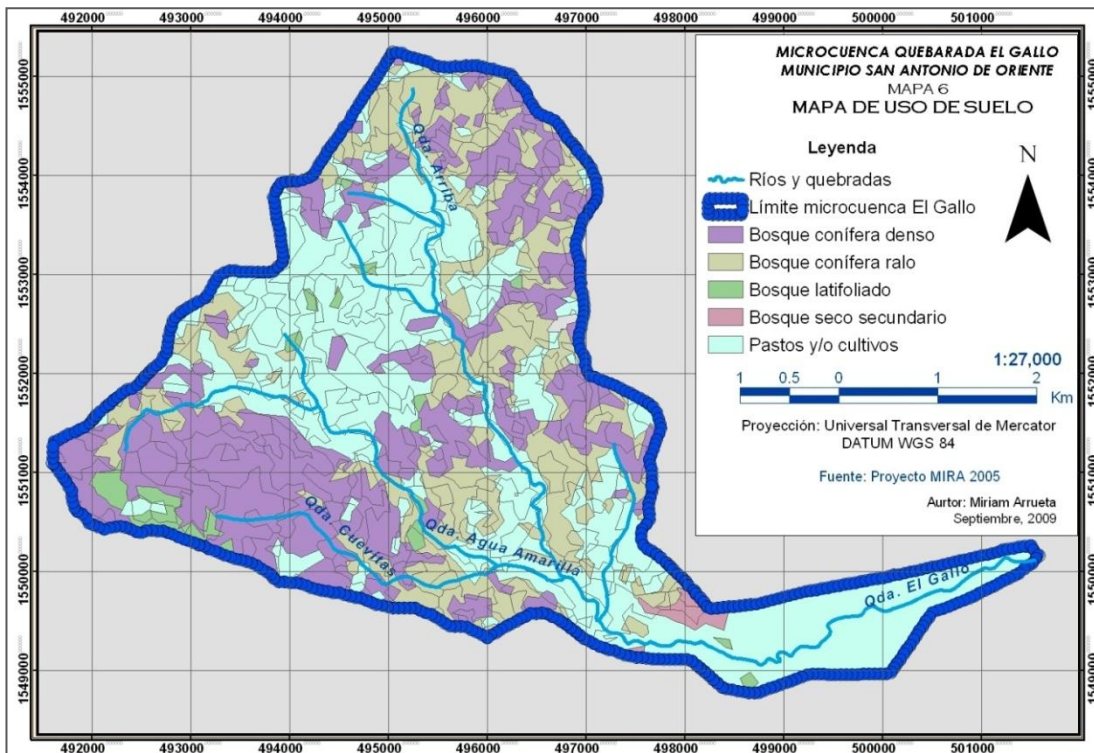


Figura 14. Mapa de uso de suelos de la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

Con el fin de aplicar el modelo que permita separar la precipitación neta de la total, se seleccionó la tormenta del 1° de julio de 2009 en la que se registró 34.01 mm de precipitación durante 1 hora 50 minutos (intensidad de precipitación de  $19 \text{ mm hr}^{-1}$ ). Para su análisis se consideraron intervalos de 10 minutos. A partir del Número de curva de escorrentía (CN) y del cálculo de la abstracción inicial ( $P_o$ ), se puede hacer una estimación de precipitación neta y abstracciones para cualquier evento. Esta tormenta tuvo una duración mayor que el tiempo de concentración (35 minutos), lo cual es una condición necesaria para poder obtener un modelo de precipitación neta a partir del hietograma de la tormenta. Adicionalmente, se estimó que el tiempo de retardo es 21 minutos. A las 20:21 p.m. se experimentó el pico de caudal generado por esta tormenta el cual fue de  $12.40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . De acuerdo a las condiciones de humedad previas a la tormenta, la abstracción inicial ( $P_{o(II)} > 43 \text{ mm}$ ) tuvo que corregirse (Cuadro 3), por lo tanto la abstracción inicial ( $P_{o(III)}$ ) resultó en 15.77 mm. El hidrograma generado (Figura 14), indica que el 53% del total caído forma escorrentía directa. Las abstracciones disminuyen con el tiempo y después de la abstracción inicial el porcentaje de escorrentía directa aumenta progresivamente.

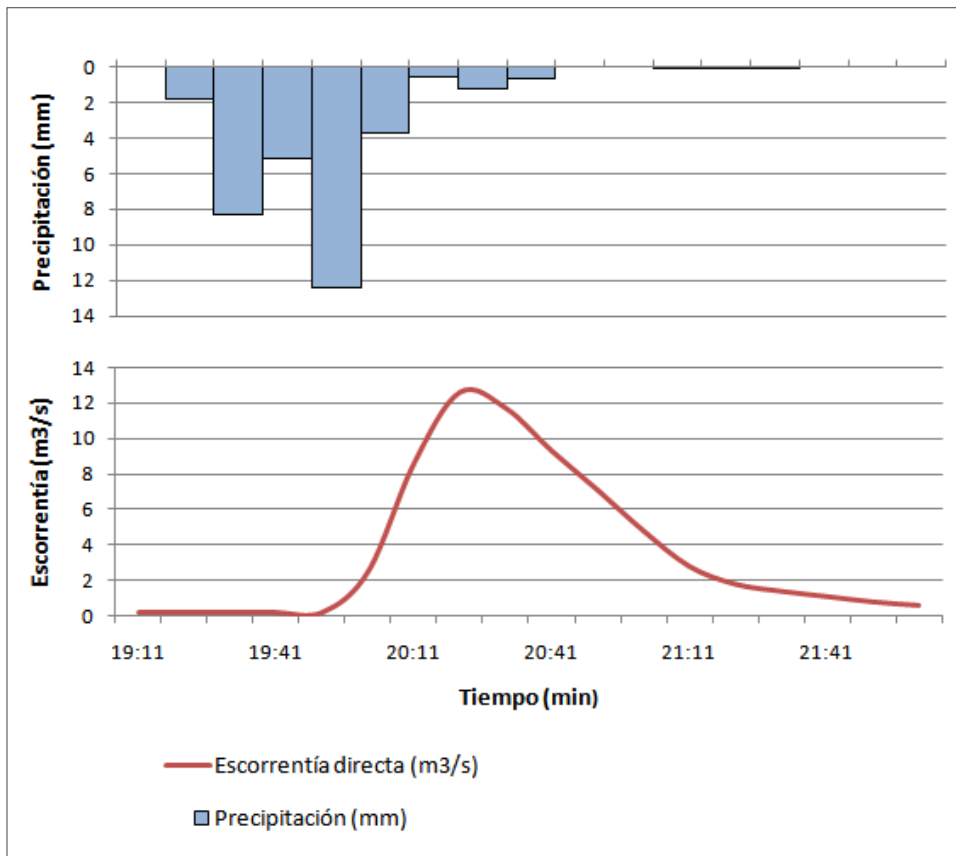


Figura 15. Hidrograma para la tormenta del 1° de julio de 2009 en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Occidente, Honduras.

## 5. DISCUSIÓN

El balance hídrico (Figura 11) para los meses de junio a septiembre fue de -101.69 mm, lo que demostró que las entradas son menores que las salidas en este periodo por lo que no hubo una recarga hídrica favorable al sistema y por el contrario se incurrió en pérdidas. Este dato negativo no corresponde a valores esperados durante épocas lluviosas, lo cual puede explicarse por el hecho de que Honduras está pasando por un año de sequía causado por el fenómeno La Niña. La precipitación para el periodo evaluado disminuyó en comparación a años anteriores. De igual manera se registraron temperaturas altas, ampliamente diferenciadas a otros años, que resultaron en el incremento de la evapotranspiración real (Servicio Meteorológico Nacional de Honduras, 2009).

El presente estudio de relación oferta-demanda se realizó solo en una época del año, por lo que el balance hídrico debe complementarse con datos de los meses faltantes, sin embargo, se predice que el resultado será menor al expuesto, por la distribución de lluvias de la región a lo largo del año. Datos históricos de la región muestran que los meses más lluviosos son junio y septiembre (SERNA, 2003). Cabe mencionar que para el cálculo de balance hídrico se consideró que no hay entradas subterráneas de agua hacia la microcuenca y es probable que del Cerro Uyuca haya un aporte subterráneo adicional a la misma, lo que probablemente resultaría un cambio de almacenamiento mayor.

Si se estima el balance hídrico con datos de precipitación solo del pluviómetro de Zamorano (parte baja) y se mantienen las demás condiciones, este balance resulta en un cambio en almacenamiento de 3.03 mm, lo cual comparado con los resultados de balance hídrico inicial (-101.69 mm), difiere en 104.72 mm. Esto se debe a que existe una diferencia de precipitación acumulada entre los pluviómetros de la estación de Zamorano y Uyuca con el pluviómetro de San Antonio de Occidente de 149.75 mm, lo que indica la precipitación no es uniforme en esta microcuenca de 2,493.37 ha.

La precipitación para los meses de junio, julio y agosto fue: 260.4, 112.5 y 73.4 mm respectivamente. De acuerdo al balance hídrico nacional de Honduras la precipitación histórica para estos meses es de 200-300 mm para junio, de 100-200 mm para julio y de 80-100 mm para agosto en esta región del país (SERNA, 2003). Al encontrarse los datos de precipitación del estudio dentro de los rangos nacionales mensuales registrados para la región, se incrementa la validez estos datos.

Por otra parte, los datos de evapotranspiración real de la microcuenca para los meses de junio a agosto son: 110.6, 108.42 y 111.4 mm; las estimaciones de escorrentía superficial,

son 150.5, 44.27 y 7.5 mm. Los datos del Balance Nacional de Honduras indican los siguientes rangos de evapotranspiración para la región: de 100 a 125 para junio y julio, y de 125 a 150 mm para agosto; y los rangos de escorrentía superficial son: de 50 a 100 mm para junio y de 0 a 50 para los meses julio y agosto (SERNA, 2004). Si se comparan estos datos se concluye que las estimaciones de evapotranspiración y escorrentía superficial son válidas para esta microcuenca y que las diferencias en evapotranspiración el mes de agosto se deben a las bajas precipitaciones inusuales del presente año.

La demanda los de los pobladores de las comunidades beneficiarias Joya Grande, Jicarito, Suringa y San Antonio de Occidente, que contienen 7,414 usuarios, es 4.84 mm en el periodo estudiado, la misma representa el 1% de la precipitación total. Sin embargo, las comunidades de la microcuenca reportan periodos de escasez durante la época seca. Esto revela la necesidad de mejorar la infraestructura de captación y almacenamiento para garantizar un suministro adecuado de agua durante todo el año. Desde el punto de vista productivo, durante el estudio se pudo constatar que existe una alta dependencia de la precipitación; los cultivos dependen exclusivamente de la precipitación caída, lo que aumenta su vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos como el Fenómeno El Niño. De acuerdo a este estudio las poblaciones de la microcuenca podrían entrar en estrés hídrico aun en periodos lluviosos puesto que se prevé que el Fenómeno El Niño aumente su frecuencia, por causa del calentamiento global (Instituto de Investigación y Desarrollo de los Océanos de Corea en Ansan, 2008).

De acuerdo a la relación entre precipitación y escorrentía (figura 14) la escorrentía directa representa hasta el 53% de la precipitación total en la microcuenca y de acuerdo al tiempo de concentración calculado una gota tardará 35.23 minutos en llegar desde la parte más alta de la microcuenca hasta el punto de aforo. Al disponer de herramientas para separar la precipitación neta de la efectiva para la microcuenca, se podrá elaborar el hidrograma producido por cualquier otra precipitación mediante las propiedades de afinidad y aditividad del hidrograma unitario (Sánchez, 2008).

## 6. CONCLUSIONES

- El balance hídrico para la microcuenca El Gallo, para los meses de junio a septiembre fue de -93.60.
- La metodología propuesta se pudo aplicar de manera correcta en el presente estudio. La precipitación representó la única entrada de agua al sistema. Se reportó una precipitación acumulada para el periodo 1 de junio al 6 de septiembre de 2009 de 469.62 mm. De este total, el 75% se perdió por evapotranspiración, el 44% como escorrentía y el 1% representan extracciones.
- Para fines de estudios hidrológicos, contar con la instrumentalización y metodología adecuada es fundamental.
- El modelo hidrológico utilizado predijo que de la precipitación total, el 53% genera escorrentía directa y el 47% abstracciones, lo que indica que por cada mm de precipitación 0.53 mm llegarán a la estación hidrológica como escorrentía directa.
- El presente estudio estimó un número de curva de escorrentía (CN) de 58.07 para la microcuenca El Gallo. A partir de este dato es posible estimar la abstracción inicial ( $P_0$ ) y con proyecciones de precipitación se pueden realizar predicciones de escorrentía para cualquier evento.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Crear la infraestructura para captaciones de escorrentía superficial o agua lluvia que les permita suplir sus necesidades. Adicionalmente, para asegurar el bienestar económico de los agricultores, se debe brindar información que permita mejorar las condiciones de riego y reducir su dependencia de las precipitaciones.
- Dar continuidad a este estudio y establecer las alturas máximas de crecientes del río para todos los tramos habitados, para evitar pérdidas por inundaciones en la comunidad de Jicarito.
- Construir un vertedero en la estación hidrológica que permita unificar los procedimientos tanto para caudales pequeños, como para medianos y grandes y que además brinde mayor exactitud en las mediciones y facilite el proceso de aforo.
- Afinar y actualizar los datos de suelos de la microcuenca para poder tener mayor exactitud en las predicciones de crecientes.
- Completar el balance hídrico para un periodo de al menos un año. Asimismo, se recomienda dar continuidad al presente estudio, aplicar otros modelos hidrológicos y profundizar en los análisis.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Campos, A. 1992. Procesos del ciclo hidrológico: Infiltración. UASLP. San Luis Potosí, México. 132 p.

Canadell, J. 1996. OECOLOGIA: Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale: Rooting depth. Springer-Verlag. Estados Unidos. p. 13.

Cepeda, L. 1998. Procesos de hidrología: Método de Kirpich (1940) de tiempo de concentración. México, Editorial Armendaris. 368 p.

Cevallos, C. 2008. Diseño y cálculo de un sistema de riego por goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha de cultivos orgánicos en El Zamorano, Honduras: Fuentes de agua. Tesis Ing. Ciencia y producción agropecuaria. p. 48.

Chacón, M; Garcia, E; Guier, E. 1993. Introducción a la problemática costarricense: principios básicos y posibles soluciones. Programa de Educación Ambiental a Distancia. San José, Costa Rica. 217 p.

FAO, 2005. Penman-Monteith Equation. FAO Edition. Estados Unidos de América. p. 7.

Lee, R. 1980. Forest Hydrology. Columbia University Press. New York, Estados Unidos de América. 349 p.

Maderey, L. 2005. Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía (en línea). México. 139 p. Consultado el 27 de Mayo de 2009. Disponible en: [www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia](http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia)

Monsalve, E. 2000. Hidrología en la Ingeniería: Evapotranspiración. Editorial Alfaomega. Ed 2. México. 382 p.

Penman, L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Londres. p. 146.

Rosenberg, N. 1974. Microclimate: The biological environment (en línea). New York, Estados Unidos de América. p. 12. Consultado el 27 de Mayo de 2009. Disponible en: [www.alibris.com/search/books/qwork/4346811/used/Microclimate:%20The%20Biological%20Environment](http://www.alibris.com/search/books/qwork/4346811/used/Microclimate:%20The%20Biological%20Environment)

Sánchez, F. 2003. Evaporación (en línea). p. 22. Consultado el 28 de Mayo de 2009. Disponible en Internet: <http://web.usal.es/~javisan/hidro>

Sánchez, F. 2003. Manual HEC-HMS (en línea). p. 12. Consultado el 30 de Agosto de 2009. Disponible en Internet: <http://web.usal.es/~javisan/hidro>

Sánchez, F. 2003. Cálculo de la precipitación neta mediante el método del S.C.S (en línea). p. 7. Consultado el 26 de Agosto de 2009. Disponible en Internet: <http://web.usal.es/~javisan/hidro>

SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, HN). 2004. Balance Hídrico Nacional. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Tegucigalpa, Honduras. Serie 1. 205 p.

Servicio Meteorológico Nacional de Honduras. 2009. Reporte trimestral del clima: Pronosticos octubre. Tegucigalpa, Honduras. 32 p.

Steenhuis, S; Van Der Molen, W. 1986. The Thornthwaite-Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge. Hydrology. p. 4.

Tenorio, E. 2008. El ciclo hidrológico: Escorrentía superficial introducción a los Recursos Hídricos. p. 7.

Thorntwaite-Mather, R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Editorial Climatol. p. 14.

UNA (Universidad Nacional de Costa Rica). 2005. Informe del centro de Estudios Generales. San José. p. 34.

USAID/MIRA (Manejo Integrado de Recursos Ambientales).2005. Plan de Manejo de Recursos Naturales en la Microcuenca Quebrada El Gallo Municipio de San Antonio de Oriente. Departamento Francisco Morazán, Honduras. p. 9, 11-18.

Visión Mundial, 2004. Manual de Manejo de Cuencas: Trabajando con Enfoques y Cuencas Hidrográficas. San Salvador- El Salvador. Serie 1. p. 4-5.



## 9. ANEXOS

Anexo 1. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas

| Uso de la Tierra                                       | COBERTURA                  |                       | GRUPO DE SUELOS |    |    |    |
|--|----------------------------|-----------------------|-----------------|----|----|----|
|  | Tratamiento o práctica     | Condición hidrológica | A               | B  | C  | D  |
| Rastrojo   | Hileras Rectas             | ---                   | 77              | 86 | 91 | 94 |
| Cultivos en hileras                                    | Hileras Rectas             | Mala                  | 71              | 81 | 88 | 91 |
|  |                            | Buena                 | 67              | 78 | 85 | 89 |
|  | Curvas de nivel            | Mala                  | 70              | 79 | 84 | 88 |
|  |                            | Buena                 | 65              | 75 | 82 | 86 |
|  | Curvas de nivel y terrazas | Mala                  | 66              | 74 | 80 | 82 |
| Buena  |                            | 62                    | 71              | 78 | 81 |    |
| Cultivos en hileras estrechas                          | Hileras rectas             | Mala                  | 65              | 76 | 84 | 88 |
|  |                            | Buena                 | 63              | 75 | 83 | 87 |
|  | Curvas de nivel            | Mala                  | 63              | 74 | 82 | 85 |
|  |                            | Buena                 | 61              | 73 | 81 | 84 |
|  | Curvas de nivel y terrazas | Mala                  | 61              | 72 | 79 | 82 |
| Buena  |                            | 59                    | 70              | 78 | 81 |    |
| Leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación | Hileras rectas             | Mala                  | 66              | 77 | 85 | 89 |
|  |                            | Buena                 | 58              | 72 | 81 | 85 |
|  | Curvas de nivel            | Mala                  | 64              | 75 | 83 | 85 |
|  |                            | Buena                 | 55              | 69 | 78 | 83 |
|  | Curvas de nivel y terrazas | Mala                  | 63              | 73 | 80 | 83 |
| Buena  |                            | 51                    | 67              | 76 | 80 |    |
| Pastos de pastoreo                                     | ---                        | Mala                  | 68              | 79 | 86 | 89 |
|  |                            | Regular               | 49              | 69 | 79 | 84 |
|  |                            | Buena                 | 39              | 61 | 74 | 80 |
|  | Curvas de nivel            | Mala                  | 47              | 67 | 81 | 88 |
|  |                            | Regular               | 25              | 59 | 75 | 83 |
| Buena  | 6                          | 35                    | 70              | 79 |    |    |
| Bosque   |                            | Mala                  | 45              | 66 | 77 | 83 |
|  |                            | Regular               | 36              | 60 | 73 | 79 |
|  |                            | Buena                 | 25              | 55 | 70 | 77 |
| Patios   |                            | ---                   | 59              | 74 | 82 | 86 |
| Caminos de Tierra                                      |                            | ---                   | 72              | 82 | 87 | 89 |
| Pavimentos   |                            | ---                   | 74              | 84 | 90 | 92 |

Fuente: Monsalve (2000)

Anexo 2. Precipitación diaria en San Antonio de Occidente, Cerro Uyuca, Estación de Zamorano y para la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

| Fecha | Estación Zona 1 | Cerro Uyuca | San Antonio de Occidente | Microcuenca | Microcuenca(2) |
|-------|-----------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------|
| 01-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 02-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 03-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 04-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 05-06 | 17.20           | 10.00       | 9.18*                    | 10.39       | 9.66           |
| 06-06 | 47.60           | 61.00       | 36.14*                   | 44.17       | 43.80          |
| 07-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 08-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 09-06 | 31.70           | 31.30       | 21.07*                   | 25.10       | 24.40          |
| 10-06 | 3.40            | 9.30        | 4.17*                    | 5.44        | 5.66           |
| 11-06 | 10.10           | 21.20       | 10.33*                   | 13.19       | 13.52          |
| 12-06 | 4.00            | 5.40        | 3.13*                    | 3.84        | 3.82           |
| 13-06 | 28.00           | 37.20       | 16.26                    | 23.27       | 22.77          |
| 14-06 | 35.50           | 46.10       | 47.75                    | 45.80       | 46.90          |
| 15-06 | 3.80            | 4.40        | 0.00                     | 1.64        | 1.41           |
| 16-06 | 18.20           | 43.40       | 0.00                     | 13.78       | 13.31          |
| 17-06 | 25.10           | 0.00        | 0.76                     | 3.57        | 1.27           |
| 18-06 | 7.40            | 14.48       | 0.00                     | 4.76        | 4.48           |
| 19-06 | 2.00            | 13.72       | 0.00                     | 3.89        | 4.09           |
| 20-06 | 4.40            | 14.22       | 0.00                     | 4.32        | 4.32           |
| 21-06 | 39.10           | 29.72       | 0.00                     | 12.74       | 9.92           |
| 22-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 23-06 | 29.50           | 1.02        | 0.00                     | 3.92        | 1.19           |
| 24-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 25-06 | 2.70            | 1.02        | 0.00                     | 0.60        | 0.38           |
| 26-06 | 0.00            | 0.00        | 0.00                     | 0.00        | 0.00           |
| 27-06 | 0.30            | 6.35        | 3.56                     | 3.90        | 4.28           |
| 28-06 | 23.70           | 8.64        | 14.22                    | 13.91       | 12.87          |
| 29-06 | 8.90            | 17.02       | 24.38                    | 20.51       | 21.75          |
| 30-06 | 20.20           | 7.11        | 11.68                    | 11.52       | 10.60          |
| 01-07 | 17.90           | 25.65       | 38.86                    | 32.76       | 34.34          |
| 02-07 | 7.30            | 1.02        | 1.78                     | 2.26        | 1.72           |
| 03-07 | 2.00            | 1.27        | 2.03                     | 1.83        | 1.81           |
| 04-07 | 0.20            | 0.25        | 0.00                     | 0.09        | 0.08           |
| 05-07 | 0.10            | 0.00        | 0.00                     | 0.01        | 0.00           |
| 06-07 | 0.80            | 7.62        | 8.13                     | 7.09        | 7.76           |
| 07-07 | 0.00            | 0.51        | 5.08                     | 3.24        | 3.58           |

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 08-07 | 12.40 | 14.99 | 7.62  | 10.17 | 9.93  |
| 09-07 | 0.60  | 0.25  | 0.00  | 0.14  | 0.09  |
| 10-07 | 5.60  | 4.06  | 4.83  | 4.72  | 4.63  |
| 11-07 | 1.10  | 1.78  | 1.52  | 1.54  | 1.59  |
| 12-07 | 2.90  | 1.27  | 2.03  | 1.94  | 1.83  |
| 13-07 | 0.70  | 1.52  | 1.27  | 1.27  | 1.33  |
| 14-07 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 15-07 | 7.90  | 9.40  | 8.64  | 8.75  | 8.84  |
| 16-07 | 5.10  | 4.83  | 4.57  | 4.70  | 4.66  |
| 17-07 | 0.60  | 1.52  | 1.78  | 1.56  | 1.67  |
| 18-07 | 0.60  | 1.52  | 2.03  | 1.72  | 1.84  |
| 19-07 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 20-07 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 21-07 | 0.70  | 1.27  | 0.51  | 0.73  | 0.74  |
| 22-07 | 0.10  | 0.25  | 0.51  | 0.39  | 0.42  |
| 23-07 | 0.30  | 1.78  | 1.02  | 1.13  | 1.22  |
| 24-07 | 0.50  | 0.25  | 0.25  | 0.28  | 0.26  |
| 25-07 | 2.00  | 2.29  | 2.54  | 2.41  | 2.45  |
| 26-07 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 27-07 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 28-07 | 0.80  | 3.05  | 3.56  | 3.08  | 3.32  |
| 29-07 | 4.00  | 2.29  | 2.29  | 2.50  | 2.34  |
| 30-07 | 8.70  | 11.94 | 11.68 | 11.38 | 11.67 |
| 31-07 | 2.30  | 4.83  | 4.32  | 4.20  | 4.41  |
| 01-08 | 6.90  | 0.00  | 7.87  | 5.66  | 5.53  |
| 02-08 | 0.00  | 0.25  | 0.00  | 0.07  | 0.07  |
| 03-08 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 04-08 | 0.00  | 0.25  | 0.25  | 0.22  | 0.25  |
| 05-08 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 06-08 | 0.00  | 4.83  | 6.86  | 5.47  | 6.05  |
| 07-08 | 19.50 | 11.18 | 11.94 | 12.67 | 11.94 |
| 08-08 | 1.20  | 2.03  | 2.29  | 2.08  | 2.18  |
| 09-08 | 0.00  | 0.00  | 0.25  | 0.16  | 0.17  |
| 10-08 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 11-08 | 0.40  | 0.00  | 0.25  | 0.20  | 0.18  |
| 12-08 | 0.00  | 0.76  | 0.00  | 0.20  | 0.22  |
| 13-08 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 14-08 | 6.80  | 1.52  | 2.29  | 2.64  | 2.20  |
| 15-08 | 2.20  | 28.70 | 14.48 | 16.74 | 18.29 |
| 16-08 | 12.60 | 11.43 | 8.13  | 9.56  | 9.23  |
| 17-08 | 0.20  | 0.76  | 0.51  | 0.54  | 0.57  |
| 18-08 | 2.50  | 1.78  | 1.27  | 1.56  | 1.46  |
| 19-08 | 0.80  | 0.25  | 0.00  | 0.17  | 0.10  |

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20-08 | 0.50  | 1.02  | 0.51  | 0.64  | 0.66  |
| 21-08 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 22-08 | 0.60  | 0.25  | 0.00  | 0.14  | 0.09  |
| 23-08 | 3.00  | 3.56  | 4.32  | 3.95  | 4.05  |
| 24-08 | 2.40  | 0.51  | 0.76  | 0.90  | 0.74  |
| 25-08 | 0.50  | 1.02  | 1.02  | 0.95  | 1.00  |
| 26-08 | 0.20  | 0.00  | 0.00  | 0.02  | 0.01  |
| 27-08 | 0.00  | 0.00  | 0.25  | 0.16  | 0.17  |
| 28-08 | 1.70  | 0.25  | 0.00  | 0.28  | 0.13  |
| 29-08 | 1.00  | 0.25  | 2.29  | 1.59  | 1.65  |
| 30-08 | 10.50 | 6.60  | 10.92 | 9.72  | 9.64  |
| 31-08 | 4.90  | 0.76  | 0.51  | 1.12  | 0.72  |
| 01-09 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 02-09 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 03-09 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 04-09 | 0.00  | 1.02  | 4.32  | 2.91  | 3.22  |
| 05-09 | 15.60 | 13.21 | 17.27 | 15.99 | 16.03 |
| 06-09 | 0.10  | 0.51  | 0.00  | 0.15  | 0.15  |

\*Datos calculados

(2): Área hasta la sección de caudal

Anexo 3. Datos diarios de elementos del balance hídrico en la microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

| <b>Día</b> | <b>P</b> | <b>EPT</b> | <b>ET</b> | <b>Escorrentía</b> | <b>Escorrentía (2)</b> | <b>Demanda</b> |
|------------|----------|------------|-----------|--------------------|------------------------|----------------|
| 01-06      | 0.00     | 4.70       | 0.00      | 0.00               | .                      | 0.08           |
| 02-06      | 0.00     | 4.27       | 4.25      | 0.00               | .                      | 0.08           |
| 03-06      | 0.00     | 4.66       | 4.59      | 0.00               | .                      | 0.08           |
| 04-06      | 0.00     | 5.32       | 5.19      | 0.00               | .                      | 0.08           |
| 05-06      | 9.66     | 4.20       | 4.20      | 0.00               | .                      | 0.08           |
| 06-06      | 43.80    | 4.04       | 4.04      | 15.59              | .                      | 0.08           |
| 07-06      | 0.00     | 2.51       | 2.50      | 7.80               | 0.31                   | 0.08           |
| 08-06      | 0.00     | 2.98       | 2.95      | 3.90               | 0.34                   | 0.08           |
| 09-06      | 24.40    | 4.31       | 4.31      | 9.26               | 0.37                   | 0.08           |
| 10-06      | 5.66     | 4.34       | 4.34      | 5.29               | 0.37                   | 0.08           |
| 11-06      | 13.52    | 4.28       | 4.28      | 7.27               | 0.37                   | 0.08           |
| 12-06      | 3.82     | 4.74       | 4.74      | 3.63               | 0.70                   | 0.08           |
| 13-06      | 22.77    | 4.58       | 4.58      | 10.45              | 1.07                   | 0.08           |
| 14-06      | 46.90    | 3.24       | 3.24      | 27.05              | 7.12                   | 0.08           |
| 15-06      | 1.41     | 3.98       | 3.97      | 13.53              | 7.81                   | 0.08           |
| 16-06      | 13.31    | 3.27       | 3.27      | 10.51              | 2.96                   | 0.08           |
| 17-06      | 1.27     | 3.35       | 3.34      | 5.25               | 14.66                  | 0.08           |
| 18-06      | 4.48     | 3.25       | 3.25      | 2.63               | 3.31                   | 0.08           |
| 19-06      | 4.09     | 3.64       | 3.64      | 1.31               | 2.91                   | 0.08           |
| 20-06      | 4.32     | 3.09       | 3.09      | 1.08               | 2.82                   | 0.08           |
| 21-06      | 9.92     | 2.55       | 2.55      | 4.22               | 8.59                   | 0.08           |
| 22-06      | 0.00     | 3.22       | 3.21      | 2.11               | 9.66                   | 0.08           |
| 23-06      | 1.19     | 4.78       | 4.75      | 1.06               | 9.95                   | 0.08           |
| 24-06      | 0.00     | 4.63       | 4.54      | 0.53               | 7.23                   | 0.08           |
| 25-06      | 0.38     | 3.94       | 3.84      | 0.26               | 5.54                   | 0.08           |
| 26-06      | 0.00     | 3.34       | 3.22      | 0.13               | 4.53                   | 0.08           |
| 27-06      | 4.28     | 3.79       | 3.79      | 0.07               | 3.77                   | 0.08           |
| 28-06      | 12.87    | 4.02       | 4.02      | 0.03               | 3.62                   | 0.08           |
| 29-06      | 21.75    | 3.51       | 3.51      | 4.81               | 3.74                   | 0.08           |
| 30-06      | 10.60    | 3.38       | 3.38      | 6.01               | 7.04                   | 0.08           |
| 01-07      | 34.34    | 3.99       | 3.99      | 18.18              | 10.84                  | 0.08           |
| 02-07      | 1.72     | 2.86       | 2.85      | 9.09               | 54.71                  | 0.08           |
| 03-07      | 1.81     | 1.75       | 1.75      | 4.55               | 27.52                  | 0.08           |
| 04-07      | 0.08     | 4.26       | 4.23      | 2.27               | 21.09                  | 0.08           |
| 05-07      | 0.00     | 3.92       | 3.86      | 1.14               | 17.31                  | 0.08           |
| 06-07      | 7.76     | 3.81       | 3.81      | 0.57               | 15.31                  | 0.08           |
| 07-07      | 3.58     | 3.94       | 3.93      | 0.28               | 13.12                  | 0.08           |
| 08-07      | 9.93     | 4.04       | 4.04      | 0.35               | 12.74                  | 0.08           |
| 09-07      | 0.09     | 3.43       | 3.41      | 0.17               | 12.57                  | 0.08           |
| 10-07      | 4.63     | 2.58       | 2.58      | 0.09               | 10.97                  | 0.08           |
| 11-07      | 1.59     | 2.39       | 2.38      | 0.04               | 9.97                   | 0.08           |
| 12-07      | 1.83     | 2.85       | 2.84      | 0.02               | 9.13                   | 0.08           |
| 13-07      | 1.33     | 3.31       | 3.29      | 0.01               | 8.73                   | 0.08           |
| 14-07      | 0.00     | 4.63       | 4.56      | 0.01               | 7.95                   | 0.08           |
| 15-07      | 8.84     | 2.19       | 2.19      | 0.00               | 7.44                   | 0.08           |
| 16-07      | 4.66     | 3.39       | 3.39      | 0.00               | 6.99                   | 0.08           |

|       |       |      |      |      |      |      |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 17-07 | 1.67  | 3.52 | 3.51 | 0.00 | 7.11 | 0.08 |
| 18-07 | 1.84  | 4.32 | 4.29 | 0.00 | 6.59 | 0.08 |
| 19-07 | 0.00  | 4.31 | 4.23 | 0.00 | 6.12 | 0.08 |
| 20-07 | 0.00  | 4.56 | 4.44 | 0.00 | 5.91 | 0.08 |
| 21-07 | 0.74  | 4.38 | 4.25 | 0.00 | 6.02 | 0.08 |
| 22-07 | 0.42  | 3.64 | 3.51 | 0.00 | 5.57 | 0.08 |
| 23-07 | 1.22  | 3.56 | 3.45 | 0.00 | 5.47 | 0.08 |
| 24-07 | 0.26  | 4.03 | 3.82 | 0.00 | 5.36 | 0.08 |
| 25-07 | 2.45  | 2.56 | 2.55 | 0.00 | 4.98 | 0.08 |
| 26-07 | 0.00  | 3.99 | 3.75 | 0.00 | 4.98 | 0.08 |
| 27-07 | 0.00  | 4.61 | 4.29 | 0.00 | 4.98 | 0.08 |
| 28-07 | 3.32  | 3.89 | 3.84 | 0.00 | 4.97 | 0.08 |
| 29-07 | 2.34  | 4.23 | 4.08 | 0.00 | 5.13 | 0.08 |
| 30-07 | 11.67 | 3.58 | 3.58 | 0.00 | 5.22 | 0.08 |
| 31-07 | 4.41  | 1.69 | 1.69 | 0.00 | 5.07 | 0.08 |
| 01-08 | 5.53  | 3.11 | 3.11 | 0.00 | 5.43 | 0.08 |
| 02-08 | 0.07  | 4.69 | 4.43 | 0.00 | 5.61 | 0.08 |
| 03-08 | 0.00  | 4.44 | 4.15 | 0.00 | 4.98 | 0.08 |
| 04-08 | 0.25  | 4.84 | 4.50 | 0.00 | 5.62 | 0.08 |
| 05-08 | 0.00  | 3.27 | 3.00 | 0.00 | 5.33 | 0.08 |
| 06-08 | 6.05  | 4.59 | 4.59 | 0.00 | 5.67 | 0.08 |
| 07-08 | 11.94 | 3.69 | 3.69 | 0.00 | 7.40 | 0.08 |
| 08-08 | 2.18  | 2.71 | 2.67 | 0.00 | 5.45 | 0.08 |
| 09-08 | 0.17  | 3.71 | 3.47 | 0.00 | 4.92 | 0.08 |
| 10-08 | 0.00  | 5.05 | 4.66 | 0.00 | 4.62 | 0.08 |
| 11-08 | 0.18  | 3.13 | 2.88 | 0.00 | 4.57 | 0.08 |
| 12-08 | 0.22  | 4.40 | 4.02 | 0.00 | 5.28 | 0.08 |
| 13-08 | 0.00  | 4.45 | 4.00 | 0.00 | 0.24 | 0.08 |
| 14-08 | 2.20  | 3.95 | 3.76 | 0.00 | 0.24 | 0.08 |
| 15-08 | 18.29 | 4.18 | 4.18 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 16-08 | 9.23  | 2.32 | 2.32 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 17-08 | 0.57  | 2.93 | 2.78 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 18-08 | 1.46  | 3.56 | 3.41 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 19-08 | 0.10  | 4.50 | 4.16 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 20-08 | 0.66  | 3.57 | 3.33 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 21-08 | 0.00  | 4.90 | 4.46 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 22-08 | 0.09  | 4.66 | 4.20 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 23-08 | 4.05  | 4.01 | 4.01 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 24-08 | 0.74  | 4.44 | 4.04 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 25-08 | 1.00  | 2.23 | 2.09 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 26-08 | 0.01  | 4.17 | 3.68 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 27-08 | 0.17  | 3.88 | 3.42 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 28-08 | 0.13  | 4.09 | 3.57 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 29-08 | 1.65  | 2.97 | 2.79 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 30-08 | 9.64  | 4.13 | 4.13 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 31-08 | 0.72  | 2.03 | 1.87 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 01-09 | 0.00  | 4.28 | 3.71 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 02-09 | 0.00  | 5.00 | 4.30 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 03-09 | 0.00  | 5.19 | 4.41 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 04-09 | 3.22  | 4.70 | 4.47 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |

|       |       |      |      |      |      |      |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 05-09 | 16.03 | 3.11 | 3.11 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |
| 06-09 | 0.15  | 3.38 | 2.95 | 0.00 | 0.15 | 0.08 |

Escorrentía (2): Escorrentía calculada por el método directo.

∴ Datos no medidos.

Anexo 4. Cálculo de precipitación neta de la tormenta 1 de julio de 2009 en microcuenca El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras.

| Tiempo     | P. total<br>(mm) | P. acumulada<br>(mm) | P. neta<br>acumulada<br>(mm) | P. neta<br>(mm) | Abstracción | P. neta<br>% | Abstracción<br>% |
|------------|------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| 07:31 p.m. | 1.80             | 1.80                 | 0.00                         | 0.00            | 1.80        | 0.00         | 100.00           |
| 07:41 p.m. | 8.30             | 10.10                | 0.00                         | 0.00            | 8.30        | 0.00         | 82.20            |
| 07:51 p.m. | 5.10             | 15.20                | 0.00                         | 0.00            | 5.10        | 0.00         | 33.50            |
| 08:01 p.m. | 12.40            | 27.60                | 0.50                         | 0.50            | 11.90       | 4.20         | 43.20            |
| 08:11 p.m. | 3.70             | 31.20                | 1.10                         | 0.60            | 3.10        | 16.30        | 9.90             |
| 08:21 p.m. | 0.60             | 31.80                | 1.20                         | 0.10            | 0.50        | 19.40        | 1.50             |
| 08:31 p.m. | 1.20             | 33.10                | 1.50                         | 0.30            | 1.00        | 20.70        | 2.90             |
| 08:41 p.m. | 0.70             | 33.80                | 1.60                         | 0.20            | 0.60        | 22.10        | 1.70             |
| 08:51 p.m. | 0.00             | 33.80                | 1.60                         | 0.00            | 0.00        | 0.00         | 0.00             |
| 09:01 p.m. | 0.00             | 33.80                | 1.60                         | 0.00            | 0.00        | 0.00         | 0.00             |
| 09:11 p.m. | 0.10             | 33.90                | 1.70                         | 0.02            | 0.10        | 22.60        | 0.20             |
| 09:21 p.m. | 0.10             | 33.90                | 1.70                         | 0.02            | 0.10        | 22.70        | 0.20             |
| 09:31 p.m. | 0.10             | 34.00                | 1.70                         | 0.02            | 0.10        | 22.80        | 0.20             |