

Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras

Luis Armando Huevo Sánchez

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2011

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras

Proyecto especial 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

Luis Armando Huevo Sánchez

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras

Presentado por:

Luis Armando Huevo Sánchez

Aprobado:

Erika Tenorio, M.Sc.
Asesora principal

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

Luis Caballero, M.Sc.
Asesor secundario

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Huezo Sánchez, L.A. 2011. Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 19 p.

A nivel mundial las fuentes productoras de agua están siendo degradadas y el recurso hídrico se encuentra bajo una creciente demanda, lo que hace necesario conocer el origen, la cantidad y la distribución del recurso para poder tomar decisiones acertadas de manejo. Se realizó una caracterización morfológica de la microcuenca Santa Inés, un balance hídrico para conocer la distribución del agua que entra al sistema y una curva de probabilidad de caudales para determinar cuál es la oferta hídrica segura que brinda la microcuenca. Para desarrollar el balance hídrico se consideró el año hidrológico desde Mayo 2010 hasta Abril 2011 y se cuantificaron las entradas de agua por precipitación y las salidas por evapotranspiración, escorrentía y demanda de las poblaciones dentro de la microcuenca. La precipitación se midió en tres pluviómetros: dos ubicados dentro y uno fuera de la microcuenca. La evapotranspiración potencial se estimó por el método de Penman-Monteith y se convirtió a evapotranspiración real por el método de Thornthwaite-Mather. El caudal se midió mediante aforos a la altura de la toma de agua de Zamorano y en el punto de confluencia con el río Yeguaré, se ajustaron los registros históricos de la toma de agua por medio de un factor de conversión (1.17) y se estimó la cantidad de agua que sale de la microcuenca hacia el río Yeguaré. La demanda de agua en la comunidad de El Guayabo se estimó con base en una dotación de 100 L/persona/día. Se realizaron encuestas en las comunidades Los Lirios y El Matahambre para conocer demanda y aforos en la comunidad Santa Rosa y Santa Inés. La curva de probabilidad de caudales se elaboró a partir de los registros históricos de la Unidad de Maquinaria y Riego de la Carrera de Ingeniería Agronómica. La precipitación registrada fue de 1,354 mm, la cual se distribuye en la evapotranspiración real 56%, el caudal 15%, la demanda 0.0014% y recarga en el acuífero 28%. La curva de probabilidad de caudales refleja un caudal mínimo con probabilidad de excedencia en un 100% de 50L/s lo cual tiene un potencial de abastecer una población alrededor de 19,000 habitantes.

Palabras clave: Caudal, demanda, evapotranspiración, parámetros morfológicos, probabilidad de caudales.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos	v
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS	2
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
4 CONCLUSIONES.....	12
5 RECOMENDACIONES.....	13
6 LITERATURA CITADA	14
7 ANEXOS.....	16

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Ubicación de pluviómetros y sitios de aforo en la microcuenca Santa Inés.	2
2. Características morfológicas de la microcuenca Santa Inés.....	8
3. Balance hídrico de la microcuenca Santa Inés (Mayo 2010- Abril 2011).	9
4. Consumo de agua de las comunidades de la microcuenca Santa Inés entre Mayo y Octubre 2011.	11
Figuras	Página
1. Ubicación y límites de la microcuenca Santa Inés.	3
2. Balance hídrico de la microcuenca Santa Inés (Mayo 2010- Abril 2011).	9
3. Curva de probabilidad de caudales de la microcuenca Santa Inés.	11
Anexos	Página
1. Precipitación en la microcuenca Santa Inés entre Mayo 2010 y Abril 2011.....	16
2. Evapotranspiración real de la microcuenca Santa Inés entre Mayo 2010 y Abril 2011.	16
3. Caudales medios de la microcuenca Santa Inés en el punto de confluencia con el río Yeguaré entre Mayo 2010 y Abril 2011	16
4. Mapa de ubicación de los pluviómetros, los tanques y las comunidades en la microcuenca Santa Inés.	17
5. Polígonos de Thiessen de la microcuenca Santa Inés.	17
6. Mapa de cobertura de suelo de la microcuenca Santa Inés.	18
7. Red hídrica de la microcuenca Santa Inés.	18
8. Caudal medio semanal de la microcuenca Santa Inés en el punto de toma de agua de Zamorano entre los años 2002 y 2011.	19
9. Precipitación total anual en Zamorano entre los años 1989 y 2010.	19

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una creciente demanda por el recurso hídrico en contextos urbanos y rurales a nivel global. El desarrollo económico amenaza constantemente la conservación de los recursos naturales, provocando un deterioro de los mismos, esencialmente el agua, lo que pone en riesgo a las poblaciones que de él dependen. El agua es un recurso vital que se encuentra bajo competencia entre usuarios, por lo que es importante mejorar el conocimiento de la cantidad y distribución del agua en las microcuencas para planificar y hacer uso sostenible del mismo.

La mayor parte del agua que utilizamos es captada y distribuida por cuencas hidrográficas. Una cuenca hidrográfica es un área topográficamente delimitada y delineada con un sistema de ríos o tributarios, a través de los cuales todo el escurrimiento generado en la cuenca es drenada en una misma salida, en el punto más bajo. Conocer la oferta de agua de una cuenca, ayuda a conocer su potencial para usos domésticos y de riego. La información de una cuenca específica es importante para la toma de decisiones de manejo, en cuanto a la cantidad de habitantes que la cuenca puede sustentar y el tipo de actividades agrícolas que pueden desarrollarse.

Conocer la cantidad de agua que provee una cuenca se realiza mediante el cálculo las entradas y salidas de agua de la misma, lo que se denomina balance hídrico. Un balance hídrico es la cuantificación de los parámetros que conforman el ciclo hidrológico y de los patrones de consumo y uso del agua y cómo estos se relacionan en un lugar específico. Esta cuantificación muestra la condición en que se encuentra el sistema en cuanto a la disponibilidad de demanda y oferta del recurso. Con la información que generan los balances hídricos se toman decisiones para el manejo y uso del agua, a la vez que se mantiene una cantidad y calidad constante (SNET 2005).

La Escuela Agrícola Panamericana cuenta con dos fuentes principales para suministro de agua, el Cerro Uyuca que provee agua para consumo y la microcuenca Santa Inés que provee agua para riego. Actualmente Zamorano está planificando la utilización de agua de la microcuenca Santa Inés para consumo doméstico por lo que la información resultante del presente estudio constituye un insumo en la toma de decisiones. Los objetivos de este estudio son:

- Delimitar y caracterizar morfológica e hidrológicamente la microcuenca Santa Inés.
- Cuantificar la cantidad y distribución del agua a lo largo de un año hidrológico en la microcuenca Santa Inés.
- Estimar la probabilidad de ocurrencia de caudales en la microcuenca Santa Inés y la población que puede ser abastecida con el caudal mínimo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca Santa Inés pertenece a la subcuenca del río Yeguaré y esta a su vez a la cuenca del río Choluteca. La microcuenca Santa Inés se encuentra entre los departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso. Su altura máxima es de 1,765 msnm y su altura mínima 755 msnm, se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas extremas UTM 501095 y 510160 longitud y 1547051 y 1540601 latitud. Mediante un receptor GPS marca Garmin® se digitalizaron los pluviómetros y los sitios de aforo (Cuadro 1). La microcuencas se delimitó utilizando las curvas a nivel digitalizadas cada 20 metros. Se utilizó el programa ArcGIS 9.3 para elaborar el mapa de la microcuenca desde el punto de confluencia con el río Yeguaré, hasta las partes más altas localizadas en la Reserva Biológica Yuscarán (RBY) (Figura 1).

Cuadro 1. Ubicación de pluviómetros y sitios de aforo en la microcuenca Santa Inés.

Lugar	Ubicación geográfica (UTM)
Punto de confluencia con el río Yeguaré	501286, 1546747
Toma de agua de Zamorano	504060, 1545272
Pluviómetro de Zona 1	500688, 1548656
Pluviómetro de El Guayabo	507855, 1543568
Pluviómetro de Los Lavaderos	506124, 1541901

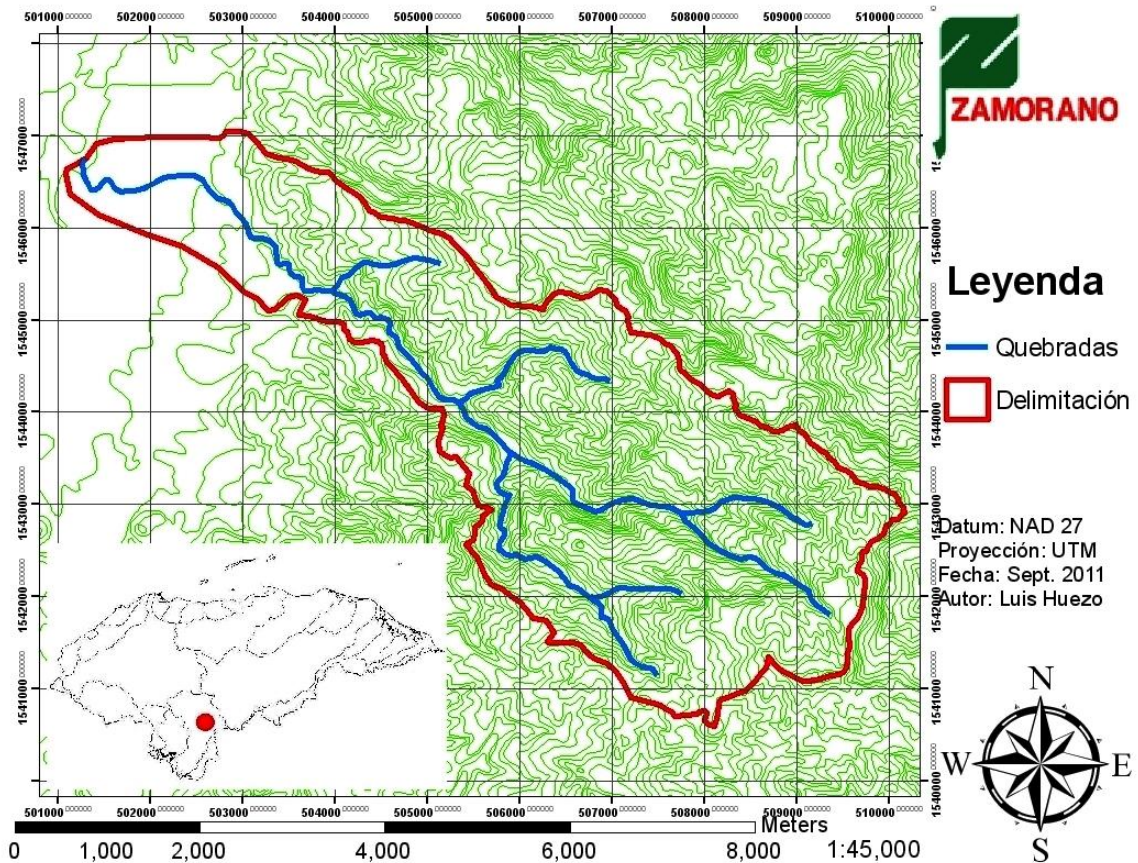


Figura 1. Ubicación y límites de la microcuenca Santa Inés.

En la microcuenca se encuentran cinco comunidades: El Guayabo, El Matahambre, Los Lirios, Santa Rosa y Santa Inés. La comunidad Santa Rosa y Santa Inés cuentan con tanques de almacenamiento y distribución de agua. Las comunidades El Guayabo, El Matahambre y Los Lirios son más pequeñas por lo que no cuentan con tanques de almacenamiento de agua.

Las características morfológicas de una cuenca tienen influencia en la respuesta hidrológica de la misma ante eventos de precipitación (Rodríguez *et al.* 2006). En la microcuenca Santa Inés se calcularon las siguientes características morfológicas: área, perímetro, longitud, forma, densidad de drenaje, tiempo de concentración de la cuenca, sumatoria total de la longitud de los cauces, longitud del cauce principal, altura máxima, mínima, pendiente de la cuenca y del cauce principal.

La forma de la microcuenca refleja la manera en que el escurrimiento saldrá del sistema y se calcula mediante la ecuación de Gravelius (Nanía 2002):

$$K_c = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad [1]$$

Donde:

Kc= Índice de Gravelius

0.282= Constante

P= Perímetro de la cuenca

A= Área de la cuenca

La densidad de drenaje es la relación entre la cantidad de kilómetros lineales de red hídrica en un kilómetro cuadrado. Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\Sigma l}{A} \quad [2]$$

Donde:

D= Densidad de drenaje

El= Sumatoria de todos los cauces de la cuenca

A= Área total de la cuenca

El tiempo de concentración es el máximo tiempo que toma una gota en viajar desde la divisoria de aguas hasta el punto más bajo de la microcuenca (Castiglioni *et al.* 1999):

$$T_c = \left(0.02 \times \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad [3]$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración

L= Longitud del cauce principal

S= Pendiente

El balance hídrico es la sumatoria de las entradas, salidas y recarga hídrica, en una unidad hidrológica (Langbein *et al.* 1995). El balance hídrico es fuertemente influenciado por la temperatura, ya que modifica la evapotranspiración (Neilson 1995). Los balances hídricos ayudan a determinar el estado actual del recurso hídrico. Estos estudios toman en cuenta su distribución espacial y temporal, lo cual ayuda a establecer lineamientos para su protección y planificación en el uso y manejo (SNET 2005). Uno de los resultados del balance hídrico es conocer el cambio en almacenamiento, el cual se refiere a las fluctuaciones en la cantidad de agua que se almacena en el suelo y los acuíferos. Si todas las salidas son mayores que la entrada, el cambio en almacenamiento será negativo y se perderá agua de la microcuenca y viceversa. El balance hídrico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta Alm = P - Q - ETR - D \quad [4]$$

Donde:

Δ Alm=Cambio en almacenamiento

P= Precipitación

Q= Cauda

ETR= Evapotranspiración Real

D= Demanda

Los registros históricos de precipitación, evapotranspiración potencial y caudal a la altura de la toma de agua de Zamorano, fueron proporcionados por la Unidad de Maquinaria y Riego de la Carrera de Ingeniería Agronómica. Para efectos del balance hídrico, todos los datos presentados se reportan en mm.

Los registros de precipitación utilizados comprenden el período de Mayo de 2010 hasta Abril de 2011 provenientes del pluviómetro ubicado en Zona 1 de Zamorano que se encuentra a 2.25 km de la desembocadura de la microcuenca y a 770 msnm. Adicionalmente se instalaron dos pluviómetros dentro de los límites de la microcuenca, un pluviómetro de balancín marca HOBOS® en la comunidad El Guayabo y un pluviómetro convencional en la comunidad Los Lavanderos. Se realizó una comparación entre los pluviómetros ubicados en la parte alta de la microcuenca y el pluviómetro de Zona 1 en Zamorano con datos de precipitación desde el 20 de Mayo hasta el 13 de Septiembre de 2011. Se calculó el área correspondiente a cada pluviómetro mediante el método Polígonos de Thiessen para conocer el área de influencia y obtener un mejor valor promedio (Aparicio *et al.* 2006).

Los registros de evapotranspiración potencial (ETP) han sido calculados desde el año 2005 en la estación climatológica ubicada en Zona 1 en Zamorano. Estos datos son calculados mediante la ecuación de Penman-Montieth (FAO 1998):

$$ETP = \frac{0.408 \Delta (R_N - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad [5]$$

Donde:

ETP=	Evapotranspiración Potencial	[mm día ⁻¹],
R _n =	Radiación neta en la superficie del cultivo	[MJ m ⁻² día ⁻¹],
G=	Densidad del flujo de temperatura del suelo	[MJ m ⁻² día ⁻¹],
T=	Temperatura del aire media diaria a 2 m de altura	[°C],
u ₂ =	Velocidad del viento a 2 m de altura	[m s ⁻¹],
e _s =	Presión del vapor de saturación	[kPa],
e _a =	Presión del vapor actual	[kPa],
e _s - e _a =	Déficit de vapor de saturación de presión	[kPa],
D=	Pendiente de curva de presión de vapor	[kPa °C ⁻¹],
G=	Constante psicrométrica	[kPa °C ⁻¹].

La evapotranspiración real (ETR) se obtuvo a partir de la ETP por el método de Thornthwaite-Mather, adaptado por Mehta (2006). Los insumos para este método son la

precipitación, ETP, profundidad de raíces y capacidad de retención de agua en el suelo y se describen a continuación:

- Los registros de precipitación y ETP del año hidrológico.
- La profundidad media de raíces para cultivos y hierbas, la cual se estimó entre 1.5 y 2.5 m y para cobertura boscosa de 6.5 ± 2.5 (Canadell *et al.* 1996). Estos datos fueron multiplicados por la fracción del área en agricultura y cobertura boscosa de la microcuenca la cual se obtuvo mediante el análisis de una imagen satelital del año 2003 y una escala de pixel de 2 m. Según el análisis la microcuenca Santa Inés tiene 80% del uso de tierra en cobertura boscosa y 20% en agricultura.
- Capacidad de retención de agua en el suelo. Según Neitsch *et al.* (2005), los suelos con texturas arenosa, limosa y arcillosa retiene 6%, 29% y 41% de agua, respectivamente. La textura del suelo en la microcuenca Santa Inés es Franco Arcillo Arenoso.

El estado de humedad del suelo depende de la Pérdida Potencial de Agua Acumulada (APWL, Accumulated Potential Water Loss). El APWL se calcula por dos métodos diferentes dependiendo del valor de la ETP y su relación con la precipitación. Cuando la ETP es mayor que la precipitación el APWL se calcula con la siguiente ecuación (Steenhuis 1985):

$$APWL_t = APWL_{t-\Delta t} + (\Sigma ETP - \Sigma P) \quad [6]$$

En este método la relación entre APWL y la cantidad de agua almacenada en la zona radicular es expresada por la siguiente ecuación:

$$ST_t = ST_{f-\Delta t} \left[\exp \frac{-APWL_t}{ST_t} \right] \quad [7]$$

Donde:

$ST_t =$ Agua almacenada disponible en la zona radicular en el tiempo “t”

$ST_f =$ Agua almacenada disponible a capacidad de campo en la zona radicular

Cuando la ETP es menor que la precipitación, el almacenamiento de agua en el suelo incrementa debido a la diferencia entre la ETP y la precipitación:

$$ST_t = ST_{t-\Delta t} + (\Sigma P - \Sigma ETP) \quad [8]$$

Los caudales se midieron usando un molinete: tres aforos a la altura de la toma de agua de Zamorano, y tres aforos en el punto de confluencia con el río Yeguaré. Con los datos anteriores se calculó la relación de los caudales entre los sitios y se obtuvo un factor de conversión. El caudal que descarga al río Yeguaré se estimó multiplicando los registros de caudal a la altura de la toma de agua de Zamorano por el factor de conversión. Los aforos en la toma de agua de Zamorano se han realizado semanalmente desde el año 2002.

En la comunidad El Guayabo la demanda se estimó con base en su población y una dotación diaria de 100 L/persona/día. En las comunidades de El Matahambre y Los Lirios

se realizó una encuesta sobre consumo y en la comunidad Santa Rosa y Santa Inés se aforaron los puntos de entrada de los tanques de almacenamiento de agua. El cálculo de la demanda se realizó solamente en época lluviosa por lo que las extracciones de agua para riego no fueron calculadas.

Con base en datos históricos de caudal se desarrolló una curva de probabilidad de caudales. Este procedimiento es un método gráfico para analizar la frecuencia de un caudal determinado y cómo este puede ser excedido o igualado en un porcentaje x de tiempo. Esta curva se representa por un gráfico donde en el eje de las “Y” se encuentran los caudales medios diarios, mensuales o anuales y en el eje de las “X” la probabilidad de que dichos caudales ocurran. Los caudales más altos tienen una menor probabilidad de ocurrencia que los caudales bajos (Quintero 2009). Para elaborar esta curva, se ordenaron los registros de caudal de mayor a menor y se asignó un número ordinal a cada uno mediante la siguiente ecuación:

$$P = 100 \left(\frac{\#}{n + 1} \right) \quad [9]$$

Donde:

P= Probabilidad de ocurrencia de los caudales

#= Número ordinal asignado a cada caudal

n= Cantidad de registros utilizados

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según la caracterización morfológica, la microcuenca Santa Inés tiene un potencial medio para generar flujos concentrados, ya que la pendiente media es relativamente baja (10%). Así mismo, la forma oblonga, la pendiente del cauce y la densidad de drenaje (Cuadro 2) tienen valores medios y bajos. La diferencia de altura es de aproximadamente 1,000 m desde el punto de confluencia con el río Yeguaré hasta la parte más alta de la microcuenca. La forma oblonga indica que la salida del caudal como respuesta a una tormenta, será prolongada y de forma atenuante. La densidad de drenaje es de 1 km/km², lo que indica la cantidad de kilómetros de red hídrica lineal en un kilómetro cuadrado. El tiempo de concentración es de 1 hora lo que indica el tiempo máximo que teóricamente toma una gota en viajar desde el punto más lejano hasta el punto de confluencia con el río Yeguaré.

Cuadro 2. Características morfológicas de la microcuenca Santa Inés.

Características morfológicas	
Área de la cuenca (km ²)	20
Perímetro (km)	27
Longitud de la cuenca (km)	10
Sumatoria de longitud de cauces (km)	21
Recorrido Principal (km)	11
Altura máxima en la cuenca (msnm)	1,765
Altura mínima en la cuenca (msnm)	755
Altura máxima cauce (msnm)	1,618
Altura mínima cauce (msnm)	755
Forma de la cuenca	Oblonga
Pendiente de la cuenca (%)	10
Pendiente del cauce principal (%)	8
Densidad de drenaje (km)	1
Tiempo de concentración (hora)	1

El balance hídrico de la microcuenca Santa Inés durante el año hidrológico refleja una recarga en el acuífero por el orden de 383 mm anuales lo que representa un 28% de la entrada por precipitación (Cuadro 3). En época seca el balance hídrico indica un cambio en almacenamiento negativo debido a que la extracción y pérdida de agua son mayores que la entrada. Las salidas de agua del sistema no son en su mayoría por extracción de las comunidades, sino por la descarga hacia el río Yeguaré y las pérdidas por evapotranspiración (Figura 2). Esto nos indica que si se desea incrementar la oferta

hídrica para los pobladores del Valle del Yeguaré, necesariamente debería planearse la regulación del flujo, mediante la construcción de estructuras de almacenamiento o reservorios. Como es de esperarse, tanto el caudal como la evapotranspiración son mayores en época lluviosa debido a la disponibilidad de agua y energía respectivamente en el sistema.

Cuadro 3. Balance hídrico de la microcuenca Santa Inés (Mayo 2010- Abril 2011).

Mes	Precipitación (mm)	ETR (mm)	Caudal (mm)	Demanda (mm)	Almacenamiento (mm)
Mayo	244	85	11	0.0016	147
Junio	198	86	14	0.0016	96
Julio	178	88	21	0.0016	67
Agosto	381	103	28	0.0016	249
Septiembre	249	117	26	0.0016	106
Octubre	49	88	27	0.0016	-66
Noviembre	16	62	18	0.0016	-64
Diciembre	3	44	12	0.0016	-53
Enero	6	33	13	0.0016	-40
Febrero	12	24	11	0.0016	-24
Marzo	1	15	11	0.0016	-24
Abril	12	11	10	0.0016	-9
Suma	1,354	762	208	0.0194	383
Porcentaje (%)	100	56	15	0.0014	28

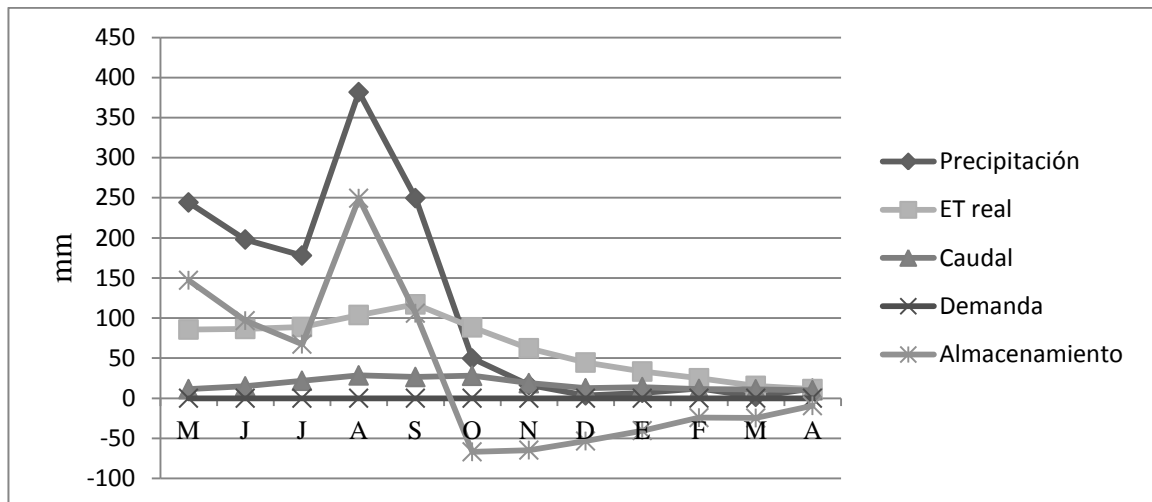


Figura 2. Balance hídrico de la microcuenca Santa Inés (Mayo 2010- Abril 2011).

La precipitación registrada durante el período de estudio en la microcuenca Santa Inés fue de 1,354 mm, que es muy similar a la precipitación promedio anual (1,327 mm) de la cuenca del río Choluteca (Rodríguez 2011). En comparación a la precipitación promedio nacional (1,880 mm) la microcuenca Santa Inés tiene una precipitación mucho menor ya

que la cuenca del río Choluteca pertenece a la vertiente del Pacífico, la cual tiene alrededor de 20% menos precipitación que las cuencas de la vertiente del Atlántico (Rodríguez 2011).

El análisis de los datos de precipitación para el período del 20 de Mayo hasta el 13 de septiembre de 2011 indica que la precipitación en la parte alta (Los Lavanderos y El Guayabo) es muy variable (15%) en pluviómetros que están a alturas similares (1,343 y 1,374 msnm respectivamente) y con poca separación espacial (2.4 km). Lo mismo ocurre cuando comparamos la precipitación en la parte baja y la parte alta, existe un incremento de la precipitación con la elevación por el orden del 16%. Todo esto indica que para tener una buena medición de la precipitación se necesitan al menos tres pluviómetros localizados a lo largo del gradiente altitudinal, y dos a lo ancho en la parte alta. Lo anterior es muy similar a lo encontrado en el Parque Nacional La Tigra con una diferencia del 17% (Caballero *et al.* 2011). La precipitación media durante este período, por el método de los polígonos de Thiessen fue de 600 mm, con una contribución del 17% por el pluviómetro de Los Lavanderos (3.5 km²), 55% el de El Guayabo (11 km²) y 28% correspondiente al pluviómetro localizado en Zona 1 (5.73 km²).

La evapotranspiración real en la microcuenca durante el año hidrológico fue de 762 mm y representa 56% del total del agua que ingresa a la microcuenca. La elevada evapotranspiración durante los meses de Mayo a Octubre se debe tanto a la capacidad evaporante de la atmósfera (calor latente de evaporación) junto con la disponibilidad de agua en el sistema.

El caudal en el punto de confluencia con el río Yeguaré fue estimado a partir de la relación establecida entre ambos sitios de aforo. Se estableció un factor de corrección de 1.17 para el sitio aguas abajo del sitio de toma de Zamorano. Ese factor indica que el caudal en el punto de confluencia con el río Yeguaré es 17% mayor que a la altura de la toma de agua de Zamorano durante el período de estudio.

El agua que proviene de la microcuenca Santa Inés, se usa para consumo humano y riego en las comunidades que se encuentran dentro de la misma y en Zamorano solamente para riego (Cuadro 4). El agua que las comunidades usan para sus cultivos no fue medida ya que el estudio se realizó en época lluviosa, cuando los agricultores no usan irrigación. La demanda de agua en la microcuenca representa menos de 1% del total de precipitación que ingresa, pero a pesar ello se conoce que existen conflictos en torno a la distribución del agua, lo que indica la necesidad de un mejor manejo, administración y mejores estructuras de captación y distribución del agua.

Cuadro 4. Consumo de agua de las comunidades de la microcuenca Santa Inés entre Mayo y Octubre 2011.

Comunidad	Consumo (m ³ /día)
El Guayabo	7
Matahambre	1
Los Lirios	1
Santa Rosa	99
Santa Inés	81
Zamorano	864
Total	1053

El caudal medio a la altura de la toma de agua de Zamorano es de 130 L/s en época lluviosa y 88 L/s en época seca. Con base en el análisis de probabilidad de caudales (Figura 3) se encontró que el mayor caudal registrado en Santa Inés a la altura de la toma de agua de Zamorano es de 300 L/s y tiene probabilidad de ocurrencia cercana al 1%. Un caudal mínimo de 50 L/s menos un flujo ecológico de 10% puede abastecer diariamente a una población aproximada de 19,000 habitantes a una dotación de 200 L/persona/día durante todo el año. Esta curva revela, además que la razón que impide un mayor uso del agua de la microcuenca no es la cantidad del recurso, sino factores administrativos y de infraestructura.

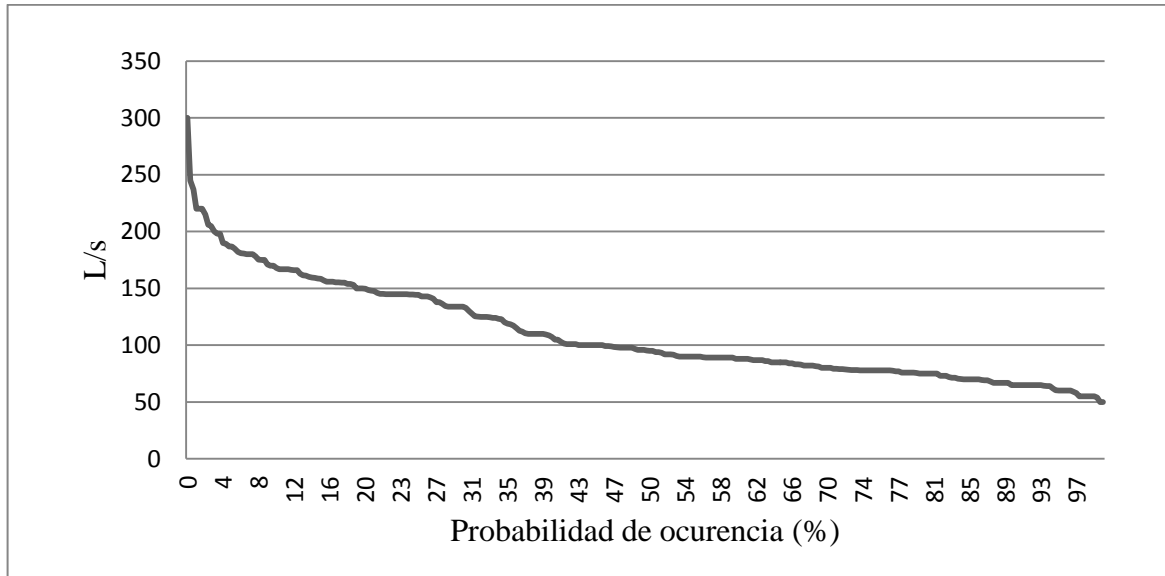


Figura 3. Curva de probabilidad de caudales de la microcuenca Santa Inés.

4. CONCLUSIONES

- La caracterización hidrológica que se realizó en la microcuenca Santa Inés refleja un buen estado y abundancia del recurso hídrico, al presentar un caudal permanente durante todo el año, lo que indica que a la fecha, la microcuenca no se encuentra en condiciones de estrés hídrico.
- Durante el año hidrológico estudiado las mayores pérdidas de agua de la microcuenca son en forma de evapotranspiración (56% del total de ingresos). Las demandas para consumo y riego en la parte superior de la microcuenca son despreciables en términos de balance hídrico. Durante el periodo de estudios hay un balance positivo, lo que indica recarga al acuífero y almacenamiento en humedad de suelo.
- Las características hidrogeológicas y de cobertura de la cuenca permiten el mantenimiento de un flujo base considerable a lo largo del año. El caudal mínimo registrado de la microcuenca menos un flujo ecológico del 10%, tiene potencial de abastecer de agua a una población de 19,440 personas, asumiendo un uso consuntivo exclusivo para fines domésticos. El caudal mínimo puede cubrir completamente la demanda de agua para consumo de las comunidades que de ella se abastecen.

5. RECOMENDACIONES

- Colocar estaciones meteorológicas distribuidas en la microcuenca Santa Inés para medir la precipitación y la ETP constantemente. Se deben colocar pluviómetros a lo largo de la microcuenca en la parte baja, media y alta con el fin de conocer y analizar la relación entre la precipitación y la elevación.
- Construir vertederos en la parte baja de la quebrada Los Anteojos, en la parte alta de la quebrada El Matahambre, a la altura de la toma de agua de Zamorano y en la desembocadura en el río Yeguaré, para medición de caudal continuo en tiempo y espacio a lo largo de la red hídrica de la microcuenca.
- Realizar un balance hídrico en época seca para incluir el riego dentro de las estimaciones de demanda. Con los datos de riego se obtendrá la demanda total real correspondiente a la época seca y se podrá cuantificar la disponibilidad de agua para riego y otros usos.
- Mejorar las estructuras de captación y almacenamiento de agua de Zamorano y Santa Rosa ya que se encuentran descuidadas y presentan fugas. Al mejorar las estructuras, el abastecimiento de agua será constante y se reducirán los problemas en torno a la misma.
- Evitar la erosión mediante técnicas conservación de suelo en tierras donde se encuentran los cultivos dentro de la microcuenca. Los sistemas de almacenamiento de agua se cierran ante eventos fuertes de precipitación a causa de que el río arrastra mucho sedimento y los usuarios se queda sin agua durante los períodos de mayor precipitación.
- Realizar un estudio de suelo en la microcuenca Santa Inés para conocer sus características y cuáles predominan, al igual que su distribución en toda el área de la misma. Con la información de suelos se puede estimar con exactitud la evapotranspiración real de la microcuenca.

6. LITERATURA CITADA

Aparicio, J; Lafragua, J; Gutiérrez, A; Mejía, R; Aguilar, E. 2006. Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas (en línea). Programa Hidrológico Nacional. Montevideo, Uruguay. 95 p. Consultado el 9 de Octubre de 2011.

Disponible en:

http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/326/1/Manual_IMTA.pdf

Caballero, L; Rimmer, A; Steenhuis, T. s.f. Rainfall runoff relationships for a cloud forest watershed in Central America: Implications for water resources engineering.

Canadell, J; Jackson, J; Ehleringer, J; Mooney, H; Sala, O; Schulze, E. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale: Rooting depth. Springer-Verlag. *Oecología* 108: 583-595.

Castiglioni, M; Massobrio, M; Chagas, C; Santanatoglia, O. 1999. Análisis de un modelo hidrológico en una microcuenca de pampa ondulada (Argentina). Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. UBA. Capital Federal, Argentina. 13 p.

Escuela Agrícola Panamericana. 2011. Base de datos de la estación meteorológica. Honduras.

FAO. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements: Irrigation and drainage paper 56 (en línea). Consultado el 9 de Octubre de 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>

Langbein, W; Kathleen, T. 1995. Science in Your Watershed: General Introduction and Hydrologic Definition: Manual of Hydrology: Part 1 (en línea). USGS. Consultado el 9 de Octubre de 2011. Disponible en: <http://water.usgs.gov/wsc/glossary.html>

Nanía, L. 2002. La Cuenca y los Procesos Hidrológicos. Universidad de Granada, Ingeniería Hidráulica. 59 p.

Neilson, R. 1995. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. Department of Botany and Plant Pathology, Oregon State University. Corvallis Oregon. *Ecological Applications* 5(2): 362-385.

Quintero, K. 2009. Metodologías de diseño de obras hidráulicas en estudios de perfectibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas. Tesis Ing. Civil. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas. 79 p.

Rodríguez, M; Moral, F; Benavente, J. 2006. Hydro-morphological characteristics and hydrogeological functioning of a wetland system: a case study in southern Spain. *Environ Geol* 52: 1375-1386

Rodríguez, J. 2011. Recursos Hídricos Honduras 2011. TEC de Monterrey, Centro del Agua para América Latina y El Caribe (en línea). 94 p. Consultado el 7 de Octubre de 2011.

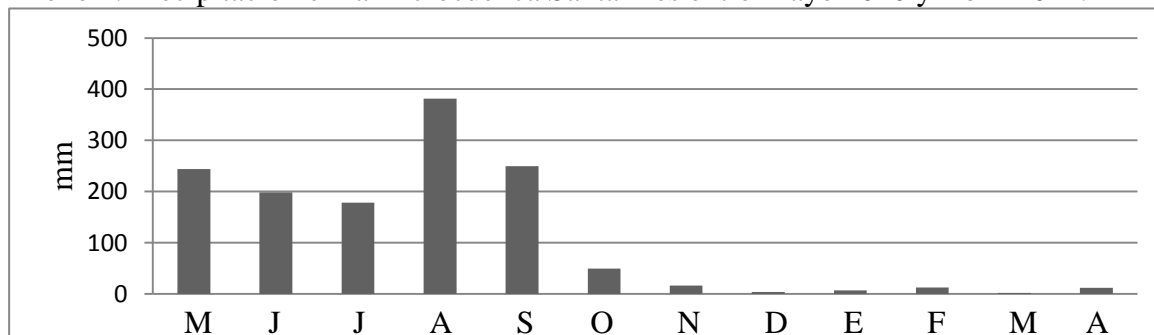
Disponible en: <http://centrodelagua.org/plataforma/informes/Honduras2011Final.pdf>

SNET. 2005. Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador: Componente evaluación de recursos hídricos (en línea). 109 p. Consultado el 20 de Julio de 2011. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>

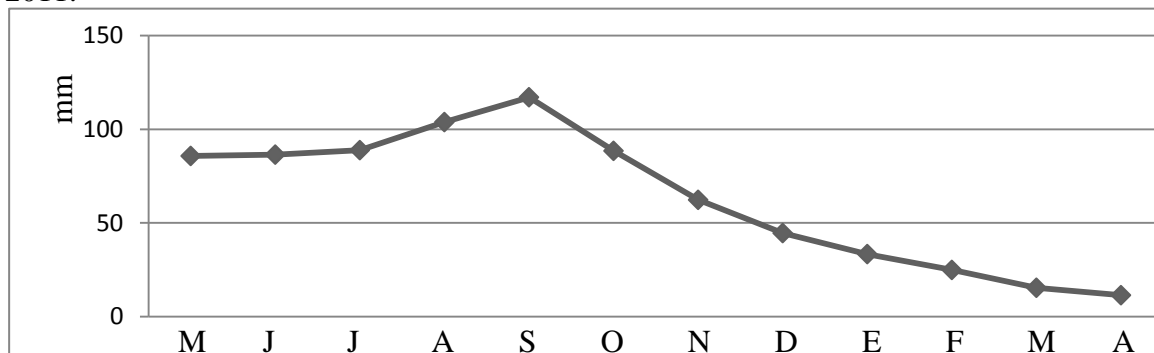
Steenhuis, T; Van Der Molen, W. 1985. The Thornthwaite-Mather Procedure as a simple engineering method to predict recharge. *Journal of Hydrology* 84: 221-229.

7. ANEXOS

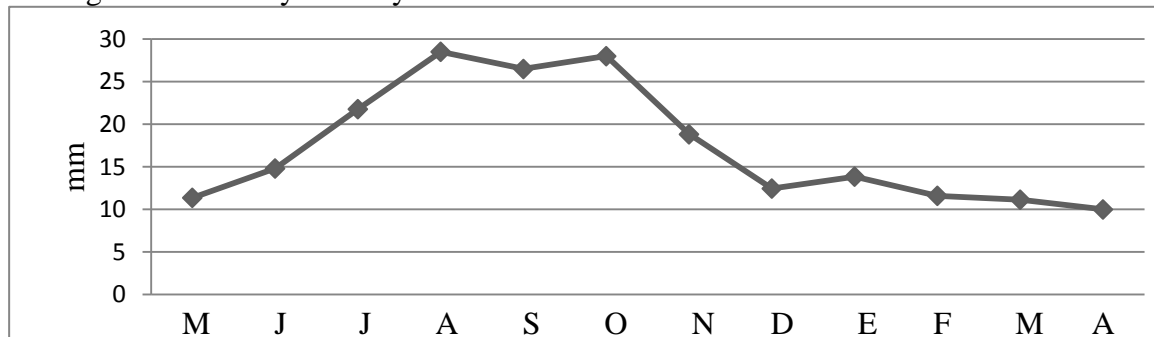
Anexo 1. Precipitación en la microcuenca Santa Inés entre Mayo 2010 y Abril 2011.



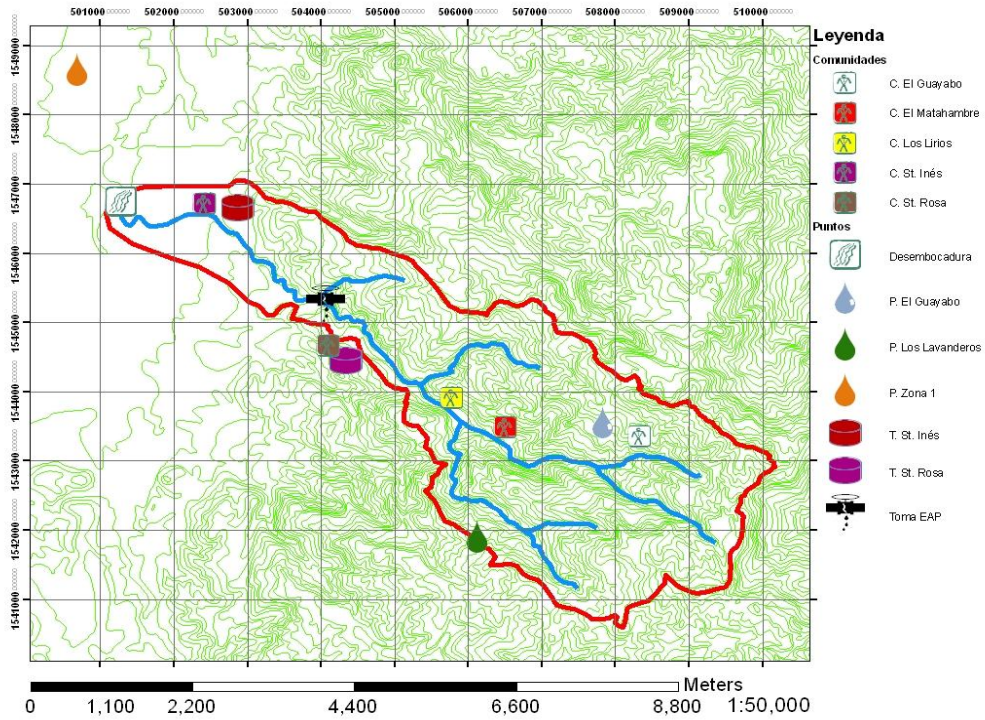
Anexo 2. Evapotranspiración real de la microcuenca Santa Inés entre Mayo 2010 y Abril 2011.



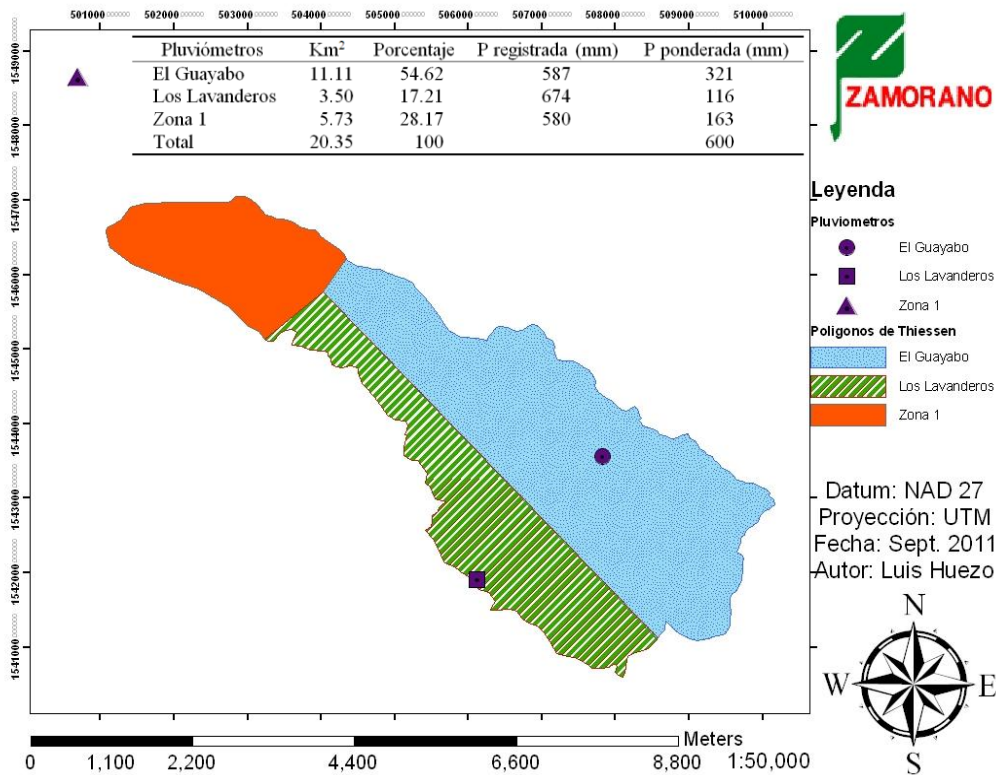
Anexo 3. Caudales medios de la microcuenca Santa Inés en el punto de confluencia con el río Yeguaré entre Mayo 2010 y Abril 2011.



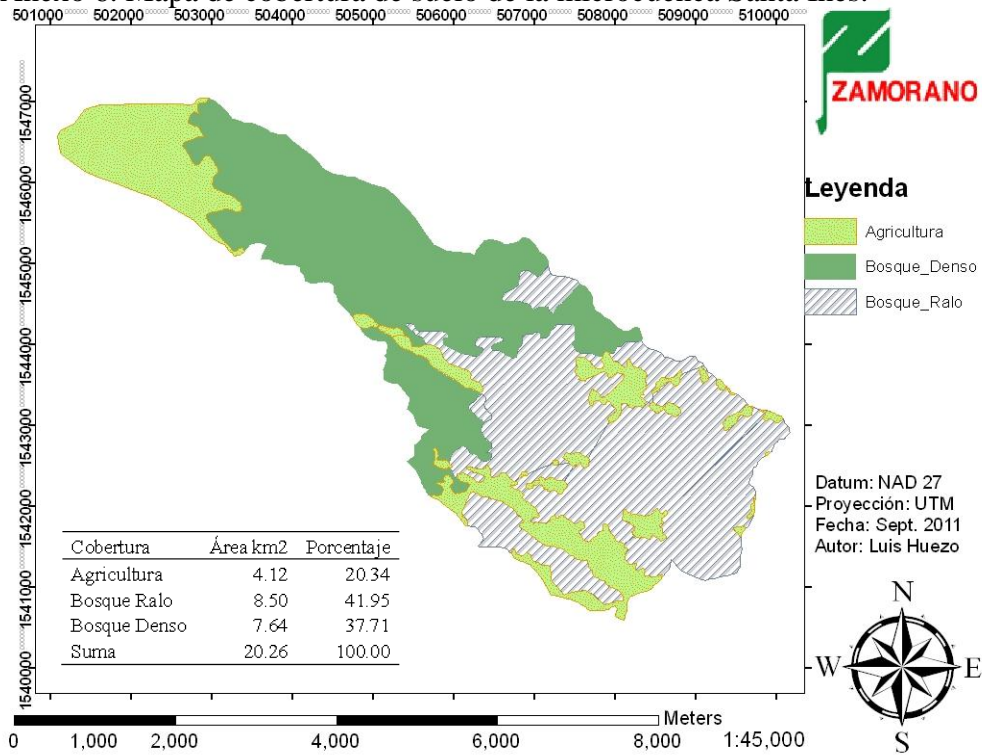
Anexo 4. Mapa de ubicación de los pluviómetros, los tanques y las comunidades en la microcuenca Santa Inés.



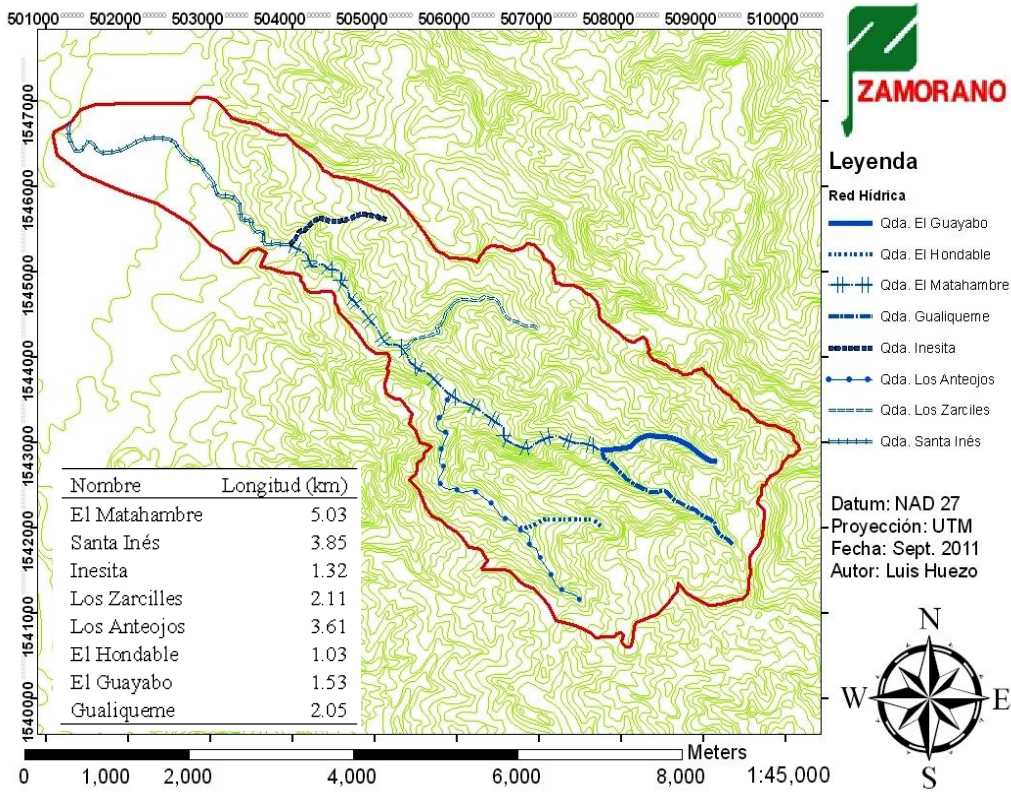
Anexo 5. Polígonos de Thiessen de la microcuenca Santa Inés.



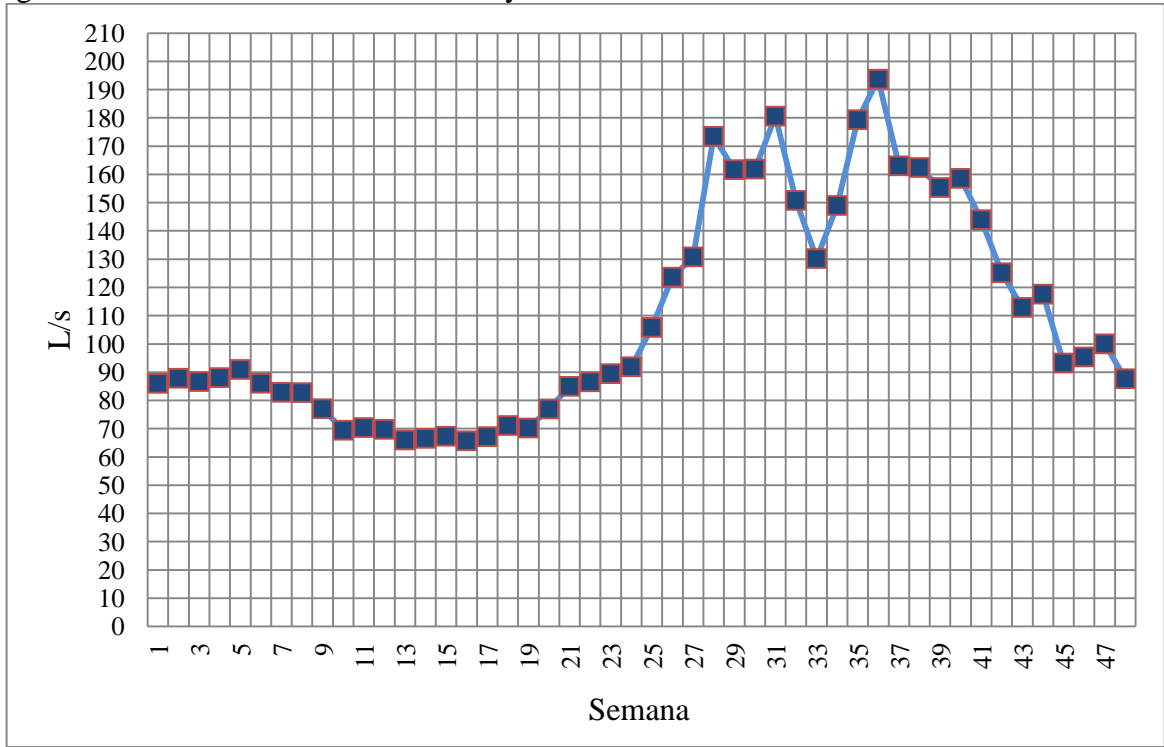
Anexo 6. Mapa de cobertura de suelo de la microcuenca Santa Inés.



Anexo 7. Red hídrica de la microcuenca Santa Inés.



Anexo 8. Caudal medio semanal de la microcuenca Santa Inés en el punto de toma de agua de Zamorano entre los años 2002 y 2011.



Anexo 9. Precipitación total anual en Zamorano entre los años 1989 y 2010.

