

**Relación precipitación-escorrentía y
concentración de los sedimentos suspendidos
en las microcuencas Capiro y Zapotillo,
Güinope, El Paraíso, Honduras**

**Martín Humberto Bonilla Portillo
Nazario Garay Ellington**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERIA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

**Relación precipitación-escorrentía y
concentración de los sedimentos suspendidos
en las microcuencas Capiro y Zapotillo,
Güinope, El Paraíso, Honduras**

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

Presentado por

**Martín Humberto Bonilla Portillo
Nazario Garay Ellington**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2013

Relación precipitación-escorrentía y concentración de los sedimentos suspendidos en las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras

Presentado por:

Martín Humberto Bonilla Portillo
Nazario Garay Ellington

Aprobado:

Luis Alonzo Caballero, Ph.D.
Asesor principal

Laura Suazo, Ph.D.
Directora
Departamento de Ambiente y
Desarrollo

Alexandra Manueles, M.Sc
Asesora

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Relación precipitación-escorrentía y concentración de los sedimentos suspendidos en las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras

**Martín Humberto Bonilla Portillo
Nazario Garay Ellington**

Resumen: Se estudió la relación precipitación-escorrentía y la concentración de los sedimentos suspendidos durante tres eventos de precipitación en dos microcuencas localizadas en Güinope, El Paraíso, Honduras. Se elaboró un mapa de los usos de la tierra y la precipitación se midió con un pluviómetro digital tipo balancín localizado en la parte baja de la microcuenca Zapotillo. El caudal se midió a intervalos de 15 min en vertederos tipo v-notch de 90° y un traductor de presión tipo TrueTrack modelo WT-HR. Para medir la concentración de los sedimentos se recolectaron muestras de agua a intervalos de cinco minutos durante los eventos de precipitación. Los resultados indican que la microcuenca Zapotillo, con 64% de cobertura permanente, genera menos escorrentía total 31%. Mientras que, la microcuenca El Capiro con 39% de cobertura permanente genera 38% de escorrentía superficial. Esto demuestra que la recarga hídrica es mayor en Zapotillo lo cual influye en que también tenga un mayor porcentaje de caudal base 69%, visto en los hidrogramas de cada tormenta. La concentración de los sedimentos en la lámina de agua resultó ser muy similar en ambas microcuencas en El Capiro con un promedio de 1.66 m³ y en Zapotillo con un promedio de 1.63 m³. Estos resultados, a pesar de provenir de pocos eventos, confirman el efecto positivo de la cobertura permanente en la recarga hídrica, pero son poco conclusivos en relación a la generación de sedimentos transportados en la lámina de agua, ya que ambas cuencas exportan relativamente las mismas concentraciones.

Palabras clave: Uso de la tierra, solidos suspendidos, cobertura, caudal, lamina de agua, hidrogramas.

Abstract: Rainfall- runoff relationships and suspended sediment concentration were studied in the during tree precipitation events in two micro-watersheds located in Güinope, El Paraiso, Honduras. A land uses map was elaborated, the precipitation was measured with a digital rain gauge located in the lower part of the Zapotillo watershed. Stremflow rate was measured at 15 min intervals in 90° v-notch Weirs type and a pressure translator TrueTrack type model WT-HR. To measure the sediments water samples were collected at five minutes intervals during precipitation events. The results indicate that Zapotillo, microcatment, with a permanent land cover of 64%, generates 31% of total superficial runoff. The El Capiro watershed, in contrast with only 39% of permanent land cover, generates a higher rate of superficial runoff 39%. This demonstrates that water recharge is greater in Zapotillo microcatment, which also influence its greater base flow 69% on its hygrograms. The sediment concentration in water was very similar in both watersheds, El Capiro with an average of 1.66 m³ and Zapotillo with 1.63 m³. These results, despite being from few events, confirmed the effect of permanent cover in water recharge, but are little conclusive in relation to the transported sediment generation in the water sheet, since both basins exported relatively the same concentration

Key words: Land use, suspended solids, coverage, flow, water lamina, hydrographs.

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.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4 CONCLUSIONES	12
5 RECOMENDACIONES	13
6 LITERATURA CITADA.....	14
7 ANEXOS	16

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Comparación del uso y la cobertura del suelo en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras. 2013.	7
2. Comportamiento hidrológico en tres eventos de precipitación y caudal, Güinope, Honduras, 2013.....	8
3. Comparación de escorrentía-caudal base en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013.	9
4. Relación precipitación- escorrentía en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras. 2013.....	10
5. Relación escorrentía-sedimentos en las microcuencas El Capiro y	11

Figuras	Página
1. Ubicación geográfica de las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. 2013.....	3
2. Metodología para la elaboración del mapa de clasificación y uso de tierra para las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013 (Manueles 2007).	4
3. Uso y coberturas de tierra en las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013.....	6

Anexos	Página
1. Cuadros precipitaciones en microcuenca El Capiro, septiembre 14 del 2013, Güinope, Honduras.....	16
2. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras.....	19
3. Gráficas de la relación precipitación- escorrentías en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Hondura, 2013.....	20
4. Comparación precipitación-caudal en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013.....	21

1. INTRODUCCIÓN

Ochenta y seis por ciento del territorio de Honduras se caracteriza por tener topografía montañosa formada por laderas y profundos valles. A pesar de la reciente urbanización en la parte norte y central del país, 60% de la población vive en las áreas rurales, por lo que la población suele utilizar las tierras de ladera para usos agrícolas y pecuarios. Lo anterior ha puesto una enorme presión sobre los suelos frágiles de los ecosistemas de montaña, la erosión hídrica, pérdida de la fertilidad de suelos y la degradación de la calidad de las fuentes de agua (PLANFOR 1996).

El mal manejo de las cuencas, generalmente, se evidencia por el uso inadecuado de la tierra, lo cual genera la pérdida de la cobertura forestal y los subsecuentes procesos erosivos. La erosión hídrica es el problema ambiental de mayor preocupación en las cuencas que abastecen de agua a las comunidades rurales y urbanas. Lo anterior se debe a la gran cantidad de sedimentos, principalmente por sólidos suspendidos, que afectan la calidad del agua (Meneses 2005).

La lluvia es una de las variables climáticas que mayor influencia ejerce en los procesos hidrológicos. Sin embargo, la precipitación es altamente variable temporal y especialmente, por lo tanto hay eventos con mayor potencial erosivo que otros (Caballero 2011). Las variables como la intensidad de las tormentas (mm/hr), la cobertura, la capacidad de infiltración y los antecedentes de humedad del suelo son las que determinan el potencial erosivo de la lluvia. Es decir que si la intensidad de la tormenta es baja, las tasas de infiltración no serán superadas, por lo que no se produce escurrimiento superficial (UNESCO 2010).

La vegetación actúa como cubierta protectora para el suelo. La efectividad de la cobertura para reducir la erosión depende directamente de su densidad, su estratificación, su altura y continuidad. La cobertura vegetal no solo protege el suelo contra la erosión, sino disminuye el impacto de las gotas, evita el salpicado y la exposición de las partículas del suelo al arrastre por la escorrentía y el viento (Morgan 2005).

El tipo de suelo es importante ya que no todos son iguales en término de la resistencia a la erosión. La erodabilidad de un suelo depende de variables como la textura, contenida de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad. La textura de un suelo es importante para definir su nivel de erodabilidad ya que no toda las clases texturales se erosionan igual que otras (Morgan 2005).

La erosión y la sedimentación son procesos y fenómenos de la superficie terrestre y están ligados a efecto del agua y el viento. Ambos fenómenos comienzan con la destrucción de las rocas solidas por meteorización, el desprendimiento, el arrastre, ya sea por el agua, el

hielo o el viento. Posteriormente ocurre la deposición o la precipitación de los sedimentos y por último la formación de rocas solidas (diagénesis) (REN 2008).

Los sedimentos, los materiales fragmentarios originarios del desgaste de las rocas, son transportados y depositados, por el agua o el viento. Si el agente de transporte es el agua, se denomina sedimento fluvial y el de viento. El acto de mover y remover los fragmentos de un lugar a otro se le llama erosión. De acuerdo al mecanismo de transporte esto se denomina sedimento suspendido y sedimentos de fondo (García y Montoya 2006).

El transporte de los sedimento erosionado en las cuencas, además de degradar la potencialidad de los suelos, contribuyen con los procesos de sedimentación a zonas de retención de aguas o represas. Por otra parte los sedimentos son consecuencia natural de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de los tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar los sólidos, también por movimientos en masas, desprendimientos, deslizamientos (Basile *et al.* 2005).

La cantidad de sedimento producido en una cuenca está representada por la cantidad de sedimentos que abandonan el área de drenaje a través de su rio principal, en un periodo de tiempo dado. Las microcuencas El Capiro y Zapotillo tienen una alta tasa de deforestación en su cobertura boscosa original, lo cual genera los procesos de infiltración y erosión del suelo, la pérdidas de nutrientes y los sedimentos que van directamente al agua (Nagatoshi 2005). Estas microcuencas poseen suelos desde modernamente profundos (60-90 cm) a superficiales (0-20cm), además están formadas por suelos de origen volcánico con textura franca (Martínez 2005).

Las microcuencas El Capiro y Zapotillo tienen una pendiente media de 17% y 21% respectivamente. Dichas cuencas difieren en el porcentaje de cobertura permanente, ya que El Capiro tiene solo 41% mientras que Zapotillo tiene 64% de cobertura. En este estudio se comparo la relación precipitación-escorrentía y la generación de los sedimentos suspendidos entre ambas cuencas y con ello sé evaluó el efecto de la cobertura vegetal en los procesos hidrológicos. Los objetivos del estudio fueron:

- Comparar las relaciones entre los uso y la cobertura de la tierra con el comportamiento hidrológico y de exportación de sedimentos en las microcuencas estudiadas.
- Comparar la relación precipitación - escorrentía para tres eventos de precipitación en las microcuencas Capiro y Zapotillo.
- Determinar la producción de los sedimentos suspendidos en dichas microcuencas para tres eventos de precipitación ocurridos en el periodo lluvioso del año 2013.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La microcuenca Capiro se localiza en las coordenadas $13^{\circ}86'21.96''$ N y $86^{\circ}93'28.11''$ O y El Zapotillo en $13^{\circ}86'39.09''$ N y $86^{\circ}93'80.77''$ O. Las microcuencas se encuentran ubicadas en el municipio de Güinope, departamento de El Paraíso, al sureste de Honduras. La Microcuenca Capiro se encuentra a una elevación de 1,300 a 1,780 metros sobre el nivel del mar, con una área de 262 ha; mientras que Zapotillo tiene una elevación entre 1,300 a 1,700 metros sobre el nivel del mar con una área de 131 ha. Ver (Figura 1).

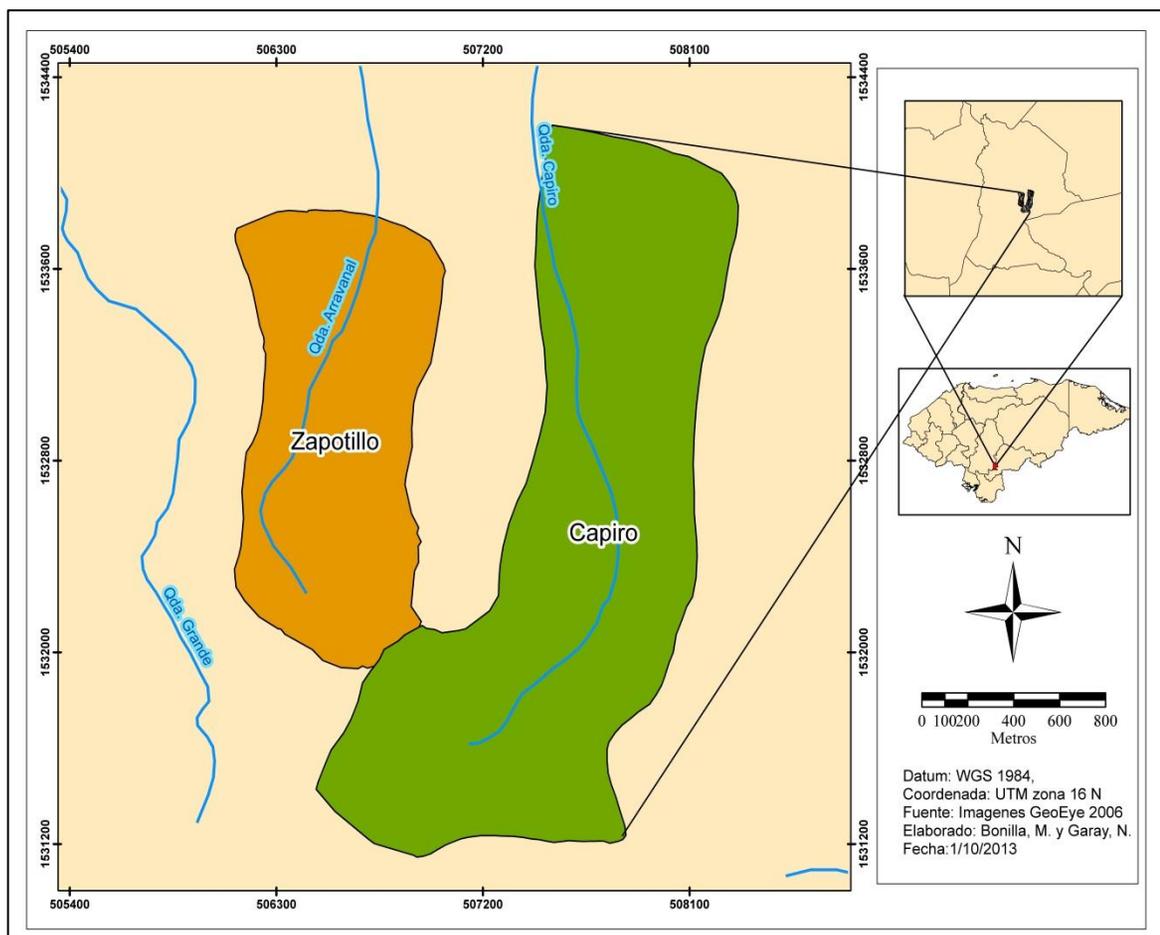


Figura 1. Ubicación geográfica de las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. 2013.

Con respecto al clima de Güinope, la época lluviosa se da entre los meses de junio a septiembre. La precipitación es en promedio 1,600 mm en las partes bajas y en las partes altas de 2,000 mm (Martinez 2005). La temperatura oscila entre los 16°C y 28°C con un promedio de 20°C, lo que hace que el clima de Güinope sea agradable todo el año y propicio para las actividades agrícolas (COPECO 2013).

Levantamiento de los usos y la cobertura. Para elaborar el mapa del uso y la cobertura del suelo, se utilizó una imagen satelital Geo Eye orto-rectificada del año 2006 con tres metros de resolución espacial. La imagen fue procesada en el programa ENVI por medio de la técnica de segmentación toma como una Unidad Mínima Cartografiable (UMC) de 450 m², en una escala de 2,500. Se seleccionó cinco clases del uso y la cobertura, entre ellas bosque latifoliado, bosque de pino, agricultura, café bajo sombra, café asociación plátano. La validación de la cartografía de los usos y la cobertura se llevó a cabo por medio de los datos clasificados por segmentación y los puntos colectados en campo en cada tipo de cobertura ver (Figura 2).

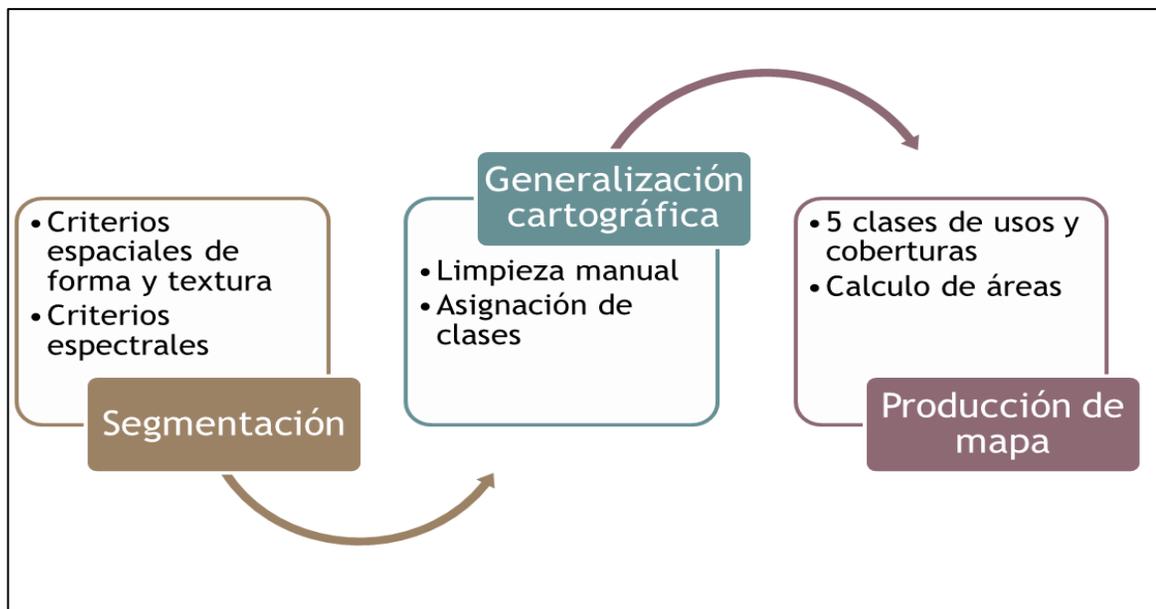


Figura 2. Metodología para la elaboración del mapa de clasificación y uso de tierra para las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013 (Manueles 2007).

Cuantificación de la lluvia. La precipitación se midió durante el mes de septiembre. Para ello se instaló un pluviómetro automático de tipo balancín “Tipping Bucket” (marca Weatherlink) de una sensibilidad de 0.2 mm. Después de coleccionar los datos, estos se agruparon a intervalos de 15 min en una hoja de Excel. En este estudio se evaluaron eventos de precipitación ocurrido en las fechas 14, 16, 17 de septiembre de 2013, ver el (Anexo1).

Cuantificación del caudal y la escorrentía producida por los tres eventos de lluvia.

Ambas microcuencas experimentales están equipadas con vertederos tipo V-notch, con un ángulo en de 90°, que permite medir los caudales bajos y obtener mayor precisión en los datos. Estos vertederos fueron construidos en el 2003 y 2004 (Orellana 2003, Nagatoshi 2004). En cada vertedero se instaló un sensor de presión del agua, el cual registra cada cinco minutos el nivel de agua que pasa por el vertedero. La información es almacenada en una memoria de un traductor de presión (logger marca Trutrack), que después de descargarla es utilizada para calcular caudal en m³/s por medio de la ecuación siguiente:

$$Q = 1.38(H)^{2.5} \quad [1]$$

Donde:

Q: caudal en m³/s.

Valor 1.38: constante para vertederos tipo V-notch de 90°.

H: altura del agua que pasa sobre la abertura en forma de “V” expresada en metros. (Grant y Dawson 1995)

La separación de los caudales base y la escorrentía superficial se realizó mediante un modelo hidrológico descrito en (Caballero *et al* 2012). Los datos del caudal base y la escorrentía sirvieron para calcular las tasas de escorrentía para dichos eventos y realizar las comparaciones entre las dos microcuencas.

Cuantificación de los sedimentos suspendidos. Para medir los sedimentos suspendidos o que pasaron por los vertederos, se recolectaron muestras de agua cada cinco minutos durante cada evento (tres tormentas). Aunque la meta era recolectar muestras de agua a través del ascenso, el caudal pico y la recesión del hidrograma, esto no fue posible debido a logística para llegar a los sitios de muestreo a tiempo. Por lo tanto las muestras recolectadas solo representan los caudales pico y el de recesión. Las muestras se tomaron manualmente en botes de plástico de 300 mL y luego transportadas al laboratorio.

Los sedimentos se cuantificaron por medio del método de evaporación (Sartirana *et al* 2006). El método requiere el peso del crisol y la muestra, para ello se utilizó una balanza de precisión para cada 25 mL de agua en los crisoles. Las muestras se introdujeron en un horno a una temperatura de 80°C por ocho horas hasta evaporar toda el agua. Finalmente se pesó el crisol para cuantificar la cantidad de los sedimentos (mg/L) presentes por cada muestra.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la imagen GEO Eye de 2006, las microcuencas El Capiro y Zapotillo tienen diferencias significativas en la cobertura de suelo. La microcuenca el Capiro, por ejemplo, tiene 59% del área en agricultura en donde el maíz es el cultivo más predominante y solo 41% en cobertura permanente (bosque y café). Zapotillo a diferencia del El Capiro, tiene solo 36% de su área en uso agrícola y 64% en cobertura permanente. Las coberturas permanentes más comunes son: El bosque de pino, el bosque latifoliado y los cultivos de café bajo sombra y el café asociación con plátano (Figura 3, Cuadro1).

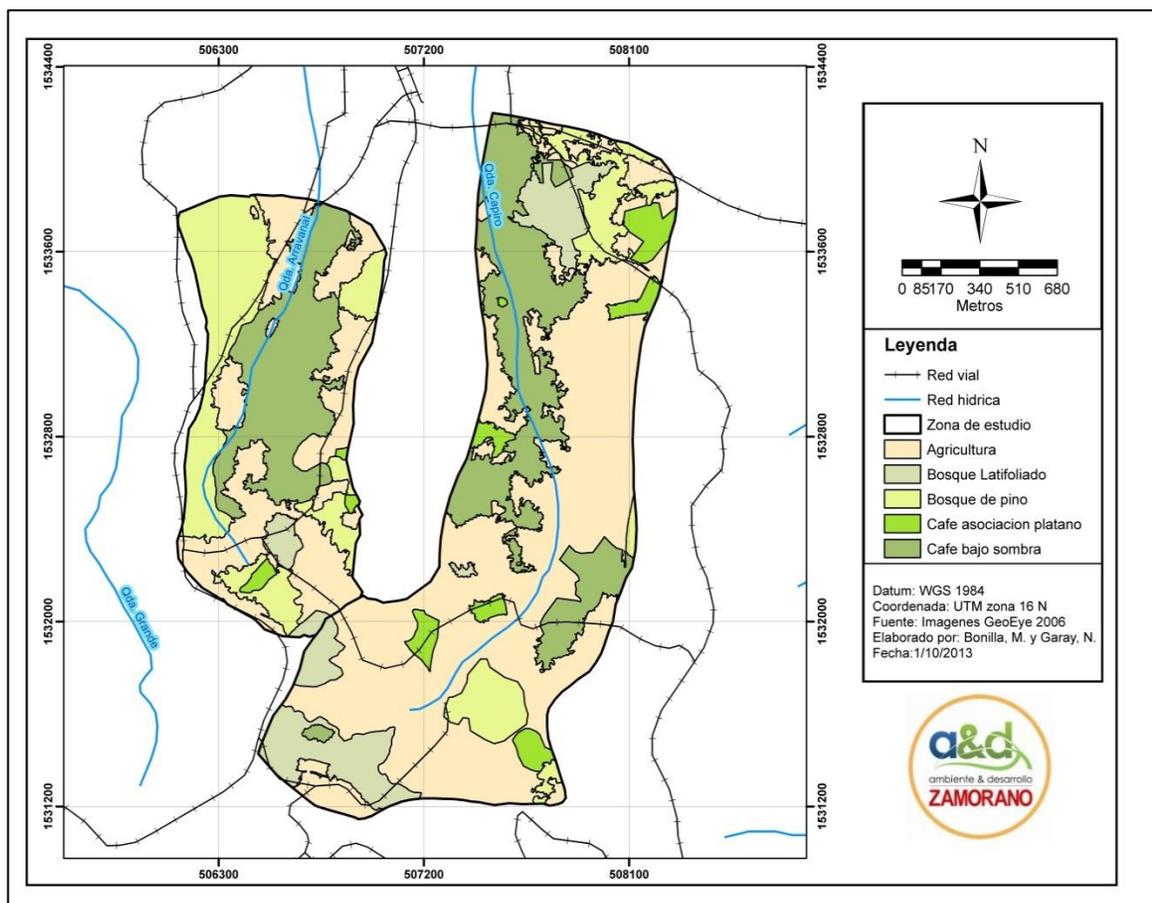


Figura 3. Uso y coberturas de tierra en las microcuencas Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013.

Cuadro 1. Comparación del uso y la cobertura del suelo en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras. 2013.

Clasificación de uso de tierra	Capiro		Zapotillo	
	Área(ha)	Porcentaje	Área(ha)	Porcentaje
Agricultura	154.6	59	46.6	36
Bosque latifoliado	18.7	7	2.7	2
Bosque de pino	21.4	8	41.9	32
Café asociado con plátano	12.6	5	1.7	1
Café bajo sombra	54.6	21	38.6	29
Total	262.0	100	131.4	100

El mapeo del uso de la tierra demuestra que en la microcuenca Capiro predomina 59% de la producción agrícola, en donde la siembra de maíz es una de las actividades productivas más practicada, seguido por el café bajo sombra con 21%, bosque de pino 8%, bosque latifoliado 7% y café asociado con plátano 5%. El Zapotillo tiene diferente uso de tierra con 36% de dicado a la actividad agrícola, donde el maíz unos de los cultivos más utilizados al igual que el Capiro, seguido de bosque de pino 32%, café bajo sombra 29%, bosque latifoliado 2% y café asociado con plátano 1%.

Lo anterior permite inferir que los procesos hidrológicos deberían ser diferentes y producir más sedimentos en la microcuenca con menor cobertura boscosa ya que las gotas de agua caen directamente en el suelo, en donde se desprenden las partículas de suelo que después son transportadas por la escorrentía. Esto hace suponer que la microcuenca El Capiro debería producir más sedimentos en comparación a Zapotillo (Anexo 2).

Cuadro 2. Comportamiento hidrológico en tres eventos de precipitación y caudal, Güinope, Honduras, 2013.

Microcuenca Capiro				
Tormenta	Precipitación (mm)	Caudal pico (m³/s)	Caudal final (m³/s)	Tiempo caudal pico (min)
1	17.0	125	69	75
2	19.6	333	134	75
3	10.8	225	125	60
Microcuenca Zapotillo				
Tormenta	Precipitación (mm)	Caudal pico (m³/s)	Caudal final (m³/s)	Tiempo caudal pico (min)
1	17.0	151	40	45
2	19.6	357	87	45
3	10.8	246	107	30

En el Cuadro 2 interpretamos, que la microcuenca El Capiro tuvo en los tres eventos un caudal pico menor debido a que tarda más tiempo en evacuar el agua que cae desde la parte alta de la cuenca hasta llegar a los vertederos. Sin embargo El Capiro tuvo un caudal mayor de recesión (o al final del evento) debido al efecto de la longitud y el área de la cuenca, (Anexo 2), que le permite generar más escorrentía total. Zapotillo tuvo caudales pico mayor para los tres eventos, pero menores tiempos en llegar a su caudal pico que la microcuenca El Capiro.

Los resultados de la separación de hidrogramas en el caudal base y la escorrentía superficial generadas posterior a un evento de precipitación ver (Anexo 3, 5). El resultado de estos tres eventos de precipitación indican que la microcuenca Zapotillo genera menos escorrentía total 31% lo cual indica también una mayor recarga del acuífero. Esto influye en que también tenga un mayor porcentaje de caudal base 69% contribuyendo al hidrograma de cada tormenta. La microcuenca El Capiro, en contraste, muestra menos caudal base 61% y mas escorrentía 39% lo que genera aumento a los hidrogramas de cada tormenta ver (Cuadro 3).

Cuadro 3.Comparación de escorrentía-caudal base en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013.

N°		Microcuenca Capiro				
Tormenta		Caudal total	Caudal base	Caudal	Escorrentía	Escorrentía
		(m ³)	(m ³)	base (%)	(m ³)	(%)
1		1646	722.00	57.00	924.00	43.00
2		4045	1623.00	60.00	2422.00	40.00
3		3117	916.00	68.00	2201.00	32.00
Media		2936.00	1087.00	61.67	1849.00	38.33

N°		Microcuenca Zapotillo				
Tormenta		Caudal total	Caudal base	Caudal	Escorrentía	Escorrentía
		(m ³)	(m ³)	base (%)	(m ³)	(%)
1		1175	738.00	63.00	437.00	37.00
2		2852	895.00	69.00	1957.00	31.00
3		2460	604.00	75.00	1856.00	25.00
Media		2162.33	745.67	69.00	1416.67	31.00

La microcuenca El Capiro tuvo un mayor porcentaje de escorrentía generada a partir de un evento de precipitación debido al área, los número de tributarios al cauce principal y el área de cobertura boscosa que reduce el proceso de infiltración del agua en el suelo y produce mayor escorrentía superficial, ver (Anexo 2).

Los eventos de caudal registrados y estudiados presentaron diferencias bien marcadas en el porcentaje de la escorrentía generada en las microcuencas, este comportamiento hidrológico se ilustra mejor, ver el (Anexo 3). La hidrología de las microcuencas es diferente cuando se compara la cantidad en m³ de agua generados por hectárea en cada microcuenca. El Capiro genera en promedio 10 m³/ha, mientras que El Zapotillo genera aproximadamente 15 m³/ha, lo cual indica una mayor recarga del acuífero y por lo tanto menos escorrentía superficial sale de la microcuenca, ver (Cuadro 4).

Cuadro 4. Relación precipitación- escorrentía en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras. 2013.

Microcuenca Capiro.				
Tormenta	Precipitación(mm)	Caudal total (m³/ha)	Flujo base (m³/ha)	Escorrentía (mm/ha)
1	17.0	5.53	0.012	2.11E-09
2	19.6	13.89	0.062	5.30E-09
3	10.8	10.62	0.064	4.05E-09
Media		10.01	0.046	3.82E-09
Microcuenca Zapotillo.				
Tormenta	Precipitación(mm)	Caudal total (m³/ha)	Flujo base (m³/ha)	Escorrentía (mm/ha)
1	17.0	8.07	0.017	6.16E-09
2	19.6	19.59	0.061	1.50E-08
3	10.8	16.90	0.068	1.29E-08
Media		14.85	0.049	1.13E-08

El estudio de generación de los sedimentos en tres eventos de precipitación en las microcuencas El Capiro y Zapotillo no presentó diferencias. El Capiro tuvo una producción promedio de sedimentos de 1.66 m³, mientras que Zapotillo tuvo 1.63 m³ de sedimentos, ver (Cuadro 5). A pesar que El Capiro posee más área afectada por la actividad agrícola 59% que Zapotillo 36% los resultados de este estudio, por provenir de pocos eventos, no son concluyentes al respecto. Lo anterior se debe a que la producción de sedimentos es un proceso muy complejo que es afectado por la humedad del suelo previa a las tormentas, ya que la escorrentía se produce a partir de la saturación del suelo después de un evento de precipitación. Otros estudios afirman que la relación caudal y concentración de los sedimentos no están siempre relacionadas ya que existen factores que generan mayor concentración de los sedimentos durante o después de un evento de precipitación en el tiempo, por ende el aumento del caudal no significa que producirá mayor sedimento (Lorente *et al* 2000).

Cuadro 5. Relación escorrentía-sedimentos en las microcuencas El Capiro y Zapotillo en tres tormentas, Güinope, Honduras.2013.

Microcuenca Capiro				
Tormenta	Precipitación (mm)	Caudal total (m³)	Sedimento (Kg/m³)	Volumen total sedimento (m³)
1	17.0	1,450.26	0.000	0.646
2	19.6	3,640.82	0.001	3.18
3	10.8	2,782.52	0.000	1.156
Media		2,624.54	0.001	1.661
Microcuenca Zapotillo				
Tormenta	Precipitación (mm)	Caudal total (m³)	Sedimento (Kg/m³)	Volumen total sedimento (m³)
1	17.0	1,057.64	0.0013	1.361
2	19.6	2,567.33	0.001	2.567
3	10.8	2,214.53	0.0004	0.974
Media		1,946.50	0.0009	1.634

4. CONCLUSIONES

- Este análisis de tres eventos de precipitación preliminarmente indica que la hidrología de las microcuencas El Capiro y Zapotillo es diferente ya que El Capiro produce en promedio 38% de escorrentía superficial, mientras que Zapotillo 31%, lo que indica una mayor recarga acuífera en Zapotillo.
- El tiempo de respuesta a un evento de precipitación, expresado en el incremento del caudal, fue mayor en El Capiro 70 min, esto debido a que esta microcuenca tiene mayor área, mayor longitud de cauce y su forma que es elongada, mientras que Zapotillo fue de 40 min con menor área, menos longitud del cauce y con una forma relativamente redonda.
- Con los tres eventos de precipitación no se pudo comprobar si existe una relación directa entre la cobertura del suelo con la concentración de los sedimentos suspendidos, posterior a un evento de lluvia. Esto se debió a que los muestreos no tomaron en cuenta el ascenso del caudal a inicio en el hidrograma, además la producción de los sedimentos es muy compleja por ser afectada por factores cambiantes en el tiempo.

5. RECOMENDACIONES

- En un estudio futuro se debe considerar el evaluar un mayor número de eventos de precipitación y caudales ya que las condiciones de humedad varían a través del periodo lluvioso, lo que evita saber la respuesta hidrológica en las microcuencas.
- Utilizar metodologías que permitan cuantificar los sedimentos de fondo (sedimentables) y los disueltos para obtener las pérdidas completas de sedimentación en las microcuencas.
- Realizar estudios de erosión hídrica en las microcuencas mediante parcelas con diferentes coberturas y usos del suelo, para comprobar si existe una relación directa entre la cobertura del suelo y la generación de sedimentos.

6. LITERATURA CITADA

Basile, A.P., Riccardi, A.G y Stenta, H. 2005. Modelación de la Producción de sedimentos a escala de cuenca en el sistema de A Ludueña, Santa fe, Argentina (en línea). Consultado 19 de junio, 2013. Disponible en: http://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Secciones/Publicaciones/Geomorfologia_Erosion_et_c/Basile_erosionluduenia.pdf

Caballero, L.A., Rimmer, A., Easton, Z.M y Steenhuis, T.S. 2012. Rainfall runoff relationships for a cloud forest watershed in Central America: Implications for water resource engineering. *Jornal of the American Water Resources Association*. 48: 1022-1031.

COPECO (Comisión permanente de contingencia). 2013. Estaciones Meteorológicas, Honduras (en línea). Consultado 6 Julio, 2013. Disponible en: <http://copeco.gob.hn/>

García, T. y Montoya, A. 2006. Convenio de Cooperación ANANM.ACP. Monitoreo de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. 46 p.

Grant, D.M y Dawson, B.D. 1995. *Isco Open Channel Flow Measurement Hambook*. Isco Environmental Division. Ed. U.S.A, Lincold Nebmraska. 534 p. 4 ed.

Lorente, A. Martí Bono, C. Beguería, S. Arnáez, J. y García Ruiz, J.M. 2000. LA exportación de sediemntos en suspensión en una cuenca de campos abandonados. *Geoforma Ediciones*. España. 14 p.

Martinez, C. 2005. Potencial de captura de agua en los suelos del Capiro y Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Tesis. Ing. Ambiental. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. San Antonio Oriente. Honduras. 30 p.

Manueles, A. 2007. Diseño de modelo de manejo de recursos naturales para la microcuenca de la Quebrada La Laguna, Maraita, Francisco Morazán, Honduras. Tesis. Ing. Ambienta. Escuela Agrícola Panamericana. San Antonio Oriente. 52 p.

Meneses, R., A. 2005. Variación en la generación de caudales y de sedimentos en suspensión, con énfasis en eventos de tormenta para una Microcuenca de la provincia de Valdivia, Décima Región. Tesis. Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile. 36 p.

Morgan, R. 2005. *Soil erosion and conservation*. National Soil resources institute. 3rd ed. Oxford. Inglaterra. *Europan journal of soil science*. 686 p.

Nagatoshi, J. 2005. Análisis comparativo de la cantidad y calidad de agua en las micro cuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Tesis. Ing. Ambiental. Escuela Agrícola Panamericana. San Antonio Oriente. 45 p.

UNESCO. 2010. Procesos de Erosión y Sedimentación en cauces y cuencas. Ed. Brea, J. y Balocchi, F. Chile. Dirección de comunicaciones Universidad de Talca. Vol. 1.

PLANFOR. 1996. Plan de Acción Forestal 1996-2015. Tegucigalpa, Honduras. Profor. S.p.Prieto C. 2004. El agua: Sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación, Eco Ediciones, Bogotá, Colombia. 41 p.

REN (Red escolar nacional). 2008. Sedimentación: Proceso de sedimentación (en línea). Consultado 19 de junio, 2013. Disponible en:
<http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema14.html>.

Sartirana, M.C., Suarez, P.A., Gómez, E. E., Orfeo, O. 2006. Validación metodológica para la determinación de sedimentos suspendidos en ríos aluviales (en línea). Consultado 3 de septiembre de 2013. Disponible en:
<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/06-Biologia/2006-B-048.pdf>.

7. ANEXOS

Anexo 1. Cuadros precipitaciones en microcuenca El Capiro, septiembre 14 del 2013, Güinope, Honduras.

Minutos.	Hora.	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/15min)	Precipitación (mm/15min)
0	1:00 pm	0.05	3.16	0.4
15	1:15 pm	0.05	3.16	
30	1:30 pm	0.05	3.22	1.4
45	1:45 pm	0.16	10.09	9.4
60	2:00 pm	0.28	17.00	4.6
75	2:15 pm	0.21	12.84	1
90	2:30 pm	0.17	10.74	0.2
105	2:45 pm	0.15	9.16	
120	3:00 pm	0.14	8.47	
135	3:15 pm	0.13	8.00	
150	3:30 pm	0.12	7.64	
165	3:45 pm	0.12	7.37	
180	4:00 pm	0.11	7.11	
195	4:15 pm	0.11	6.85	
210	4:30 pm	0.11	6.69	
225	4:45 pm	0.10	6.52	
240	5:00 pm	0.10	6.36	
255	5:15 pm	0.10	6.20	

Precipitaciones en microcuenca Zapotillo, septiembre 14 del 2013, Güinope, Honduras.

Minutos.	Hora	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/15min)	Precipitación (mm/15min)
0	1:00 pm	0.06	3.88	0.4
15	1:15 pm	0.06	3.88	
30	1:30 pm	0.06	3.88	1.4
45	1:45 pm	0.08	5.11	9.4
60	2:00 pm	0.13	8.00	4.6
75	2:15 pm	0.17	10.40	1
90	2:30 pm	0.19	11.72	0.2
105	2:45 pm	0.21	12.91	
120	3:00 pm	0.20	12.31	
135	3:15 pm	0.19	11.90	
150	3:30 pm	0.18	11.00	
165	3:45 pm	0.16	10.19	
180	4:00 pm	0.16	9.63	
195	4:15 pm	0.15	9.01	
210	4:30 pm	0.14	8.61	
225	4:45 pm	0.13	8.14	
240	5:00 pm	0.12	7.24	
255	5:15 pm	0.11	7.06	

Cuadro. Precipitación en microcuenca El Capiro septiembre 16 del 2013, Güinope, Honduras.

Minutos.	Hora	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/15 min)	Precipitación (mm/ 15 min)
0	3:00 pm	0.12	7.72	
15	3:15 pm	0.12	7.72	0.2
30	3:30 pm	0.16	9.88	7.6
45	3:45 pm	0.47	28.69	8.4
60	4:00 pm	0.58	34.83	3.4
75	4:15 pm	0.42	25.42	
90	4:30 pm	0.36	21.71	
105	4:45 pm	0.27	16.57	0.4
120	5:00 pm	0.25	15.17	1.2
135	5:15 pm	0.24	14.50	
150	5:30 pm	0.23	13.85	
165	5:45 pm	0.21	12.84	
180	6:00 pm	0.20	12.11	
195	6:15 pm	0.19	11.88	
210	6:30 pm	0.19	11.53	
225	6:45 pm	0.18	11.19	
240	7:00 pm	0.18	11.07	
255	7:15 pm	0.18	10.96	

Precipitación en microcuenca Zapotillo, septiembre 16 del 2013, Güinope, Honduras.

Minutos.	Hora.	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/15min)	Precipitación (mm/15min).
0	3:00 p.m.	0.14	8.92	
15	3:15 p.m.	0.14	8.92	0.2
30	3:30 p.m.	0.14	8.92	7.6
45	3:45 p.m.	0.20	12.49	8.4
60	4:00 p.m.	0.24	14.43	3.4
75	4:15 p.m.	0.30	18.22	
90	4:30 p.m.	0.35	21.11	
105	4:45 p.m.	0.36	21.71	0.4
120	5:00 p.m.	0.35	21.17	1.2
135	5:15 p.m.	0.32	21.10	
150	5:30 p.m.	0.37	22.25	
165	5:45 p.m.	0.33	20.04	
180	6:00 p.m.	0.28	16.91	
195	6:15 p.m.	0.24	14.82	
210	6:30 p.m.	0.23	13.93	
225	6:45 p.m.	0.22	13.59	
240	7:00 p.m.	0.22	13.47	
255	7:15 p.m.	0.21	13.18	

Precipitación microcuenca El Capiro, septiembre 17 del 2013, Güinope, Honduras.

Minutos	Hora	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/15min)	Precipitación (mm/15min)
0	11:30 am	0.13	8.28	
15	11:45 am	0.23	14.37	8
30	12:00 pm	0.42	25.42	2
45	12:15 pm	0.37	22.22	0.6
60	12:30 pm	0.29	17.44	0.2
75	12:45 pm	0.24	14.90	
90	1:00 pm	0.22	13.46	
105	1:15 pm	0.20	12.47	
120	1:30 pm	0.19	11.76	
135	1:45 pm	0.19	11.53	
150	2:00 pm	0.18	11.19	
165	2:45 pm	0.18	10.96	
180	3:00 pm	0.18	10.85	
195	3:15 pm	0.18	10.85	0.6
210	3:30 pm	0.19	11.76	2
225	3:45 pm	0.21	12.97	
240	4:00 pm	0.21	12.84	
255	4:15 pm	0.21	12.72	

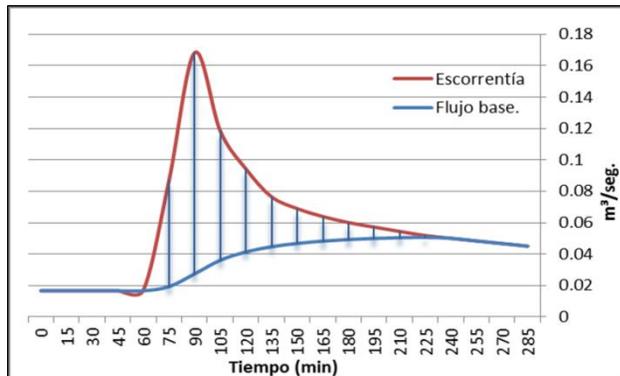
Precipitación microcuenca Zapotillo septiembre 17 del 2013, Güinope, Honduras.

Minutos	Hora.	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/15min)	Precipitación (mm/15min).
0	11:30 am	0.15	9.48	
15	11:45 am	0.15	9.48	8
30	12:00 pm	0.16	10.08	2
45	12:15 pm	0.23	13.82	0.6
60	12:30 pm	0.28	16.84	0.2
75	12:45 pm	0.32	19.79	
90	1:00 pm	0.32	19.50	
105	1:15 pm	0.30	18.59	
120	1:30 pm	0.28	17.16	
135	1:45 pm	0.25	15.13	
150	2:00 pm	0.23	14.19	
165	2:45 pm	0.22	13.36	
180	3:00 pm	0.20	12.05	
195	3:15 pm	0.19	11.45	0.6
210	3:30 pm	0.19	11.76	2
225	3:45 pm	0.21	12.97	
240	4:00 pm	0.22	13.44	
255	4:15 pm	0.22	13.68	

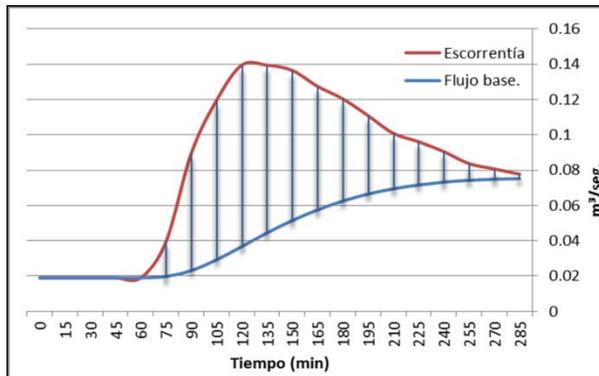
Anexo 2. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras.

Parámetros	Microcuenca Capiro	Microcuenca Zapotillo
	Indicador	Indicador
Área (Km ²)	2.62	1.31
Perímetro (Km)	8.46	5.11
Longitud de la microcuenca (Km)	2.8	1.88
Ancho de la microcuenca (Km)	1.45	0.46
Índice de Graveleus	1.47	1.25
Forma de la microcuenca	Ovalada	Redonda
Altura máxima de la microcuenca (msnm)	1780	1700
Altura mínima de la microcuenca (msnm)	1300	1300
Pendiente media %	17.14	21.27
Orden de los ríos	2	2
Densidad de drenaje (Km)	0.62	1.37
Tiempo de concentración (min)	18	12
Longitud del cauce principal (Km)	2.74	1.77

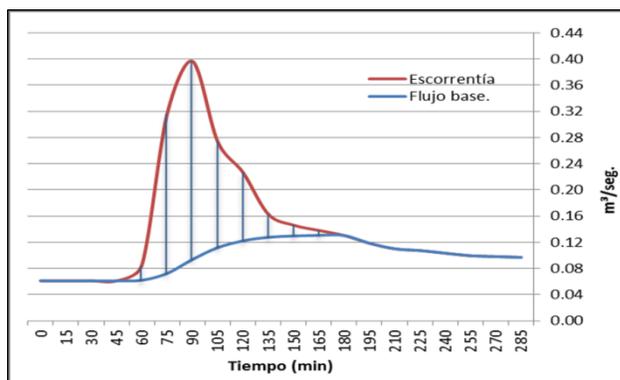
Anexo 3. Gráficas de la relación precipitación- escorrentías en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013.



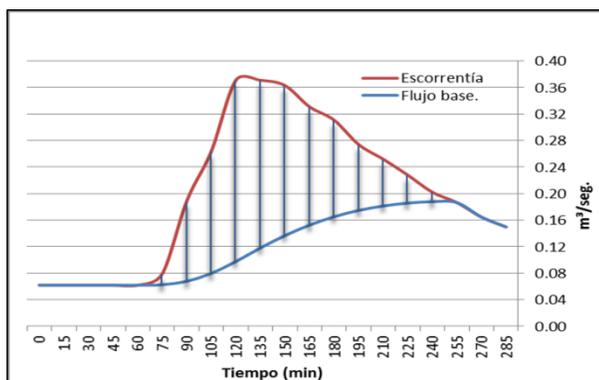
Zapotillo, 14/09/2013.



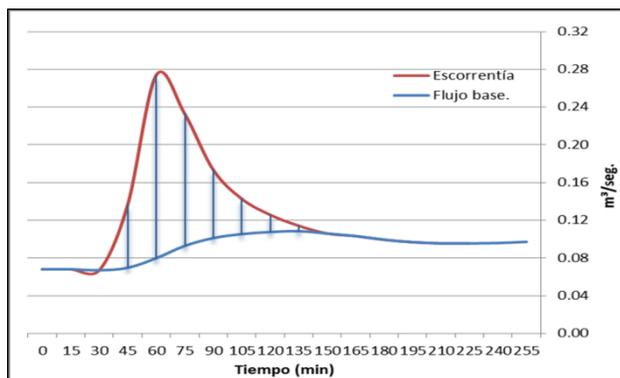
Capiro, 14/09/2013.



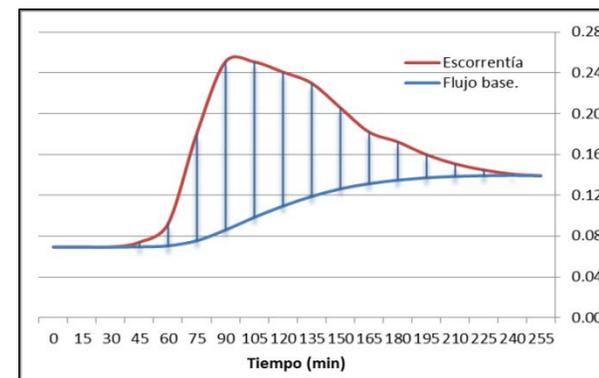
Zapotillo, 16/09/2013.



Capiro, 16/09/2013.

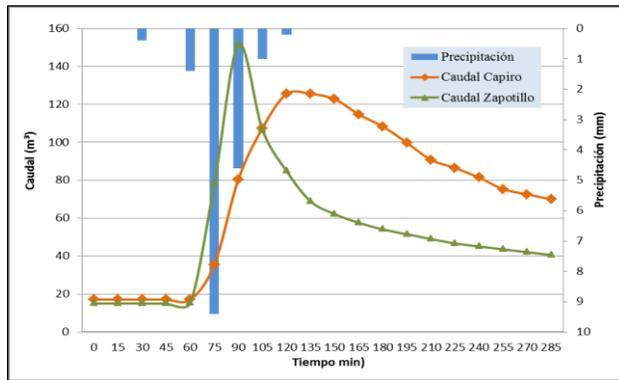


Zapotillo, 17/09/2013.

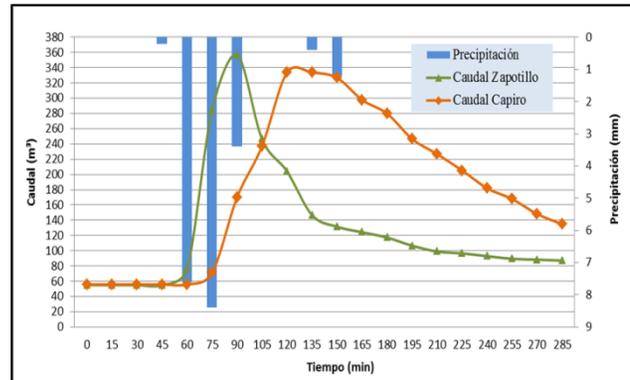


Capiro, 17/09/2013.

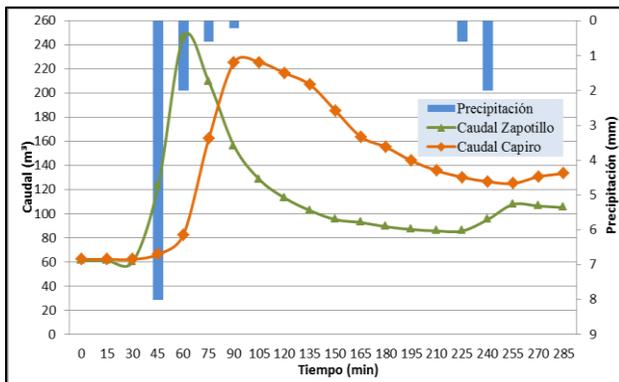
Anexo 4. Comparación precipitación-caudal en las microcuencas El Capiro y Zapotillo, Güinope, Honduras, 2013.



Evento 1. 14/09/2013



Evento 2. 16/09/2013.



Evento 3. 17/09/2013.