

Acciones complementarias del Plan Hídrico Integral de Tabasco

(CONTRATO SGIH-GDTT-SGOPR-UNAM-II-2012-01)

Informe Final

Director Ejecutivo

Fernando J. González Villarreal*

Coordinador General

Juan Javier Carrillo Sosa**

**Subtema: MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO
LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)**

Juan Javier Carrillo Sosa**

Gabriela Gutiérrez Aviña ****

Vitali Díaz Mercado ****

Deisy Alcántara Gómez ***

Wilfrido Martínez Alonso ***

**Elaborado para:
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**

* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

** Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM

*** Becario, Instituto de Ingeniería, UNAM

**** Consultor externo

2012



VF

INTRODUCCIÓN

Durante los años de 1999, 2007 y 2010; Tabasco fue testigo de una serie de eventos que provocaron daños económicos y sociales de proporciones históricas. La combinación de numerosos fenómenos hidrometeorológicos rebasó la capacidad de la infraestructura existente y demostró la necesidad de incrementar todo esfuerzo para prevenir los efectos de eventos de naturaleza similar.

Por lo anterior, se consideró conveniente implementar un modelo para determinar los niveles y gastos en la zona baja del río Grijalva con ayuda de un hidroestimador, un modelo lluvia escurrimiento y un modelo de tránsito de avenidas; este modelo se definirá como *La Sierra-Carrizal-bajo Grijalva*.

Este trabajo está encaminado a la operación del hidroestimador en la temporada de lluvias del año 2012 para evaluar su funcionamiento y realizar los ajustes necesarios para mejorar las estimaciones de lluvia media en tiempo real en las cuencas de la Sierra. Para ello, se aplicará un modelo de gestión de aguas pluviales, denominado Storm Water Management Model versión 5.0 (SWMM), desarrollado bajo el Acuerdo de Cooperación para la Investigación y el Desarrollo entre la División de Abastecimiento de Agua y Recursos Hídricos (Water Supply and Water Resources Division) de la EPA (Environmental Protection Agency).

OBJETIVO

Dar seguimiento a la operación del hidroestimador por una temporada de lluvias para evaluar su funcionamiento y realizar ajustes necesarios para mejorar las estimaciones de lluvia media en tiempo real en las cuencas de estudio. Calibrar el modelo SWMM v.5.0 EPA mediante datos de lluvia acontecido en el estado de Tabasco del 06 de junio al 02 de noviembre del 2011. Aplicar el modelo en forma integrada a las lluvias de 2012.

ALCANCE

Calibrar el modelo lluvia-escurrimiento del SWMM que pueda ser usado para modelar los escurrimientos producidos por las lluvias de la temporada 2012 en el sistema de los ríos de la Sierra. Alimentar el modelo lluvia-escurrimiento con datos confiables de lluvia obtenidos con el hidroestimador. Calibrar los coeficientes operativos del hidroestimador con datos de las lluvias 2011.

METODOLOGÍA



Diagrama de flujo de las actividades a desarrollar para el estudio

La primera parte del estudio se enfoca en la *recopilación de información de precipitación* a partir del año 2011 hasta el mes de septiembre del año 2012. Esta base de datos de precipitación está compuesta por información proveniente de las estaciones automáticas ubicadas en los estados de Tabasco y Chiapas las cuales están operadas por la CONAGUA y CFE. Adicionalmente a esto, se cuenta con las imágenes de vapor de agua y temperatura enviadas por el satélite GOES 13, imágenes interpretadas por el Hidroestimador con la estimación de lluvia, y datos numéricos de las laminas de lluvia estimadas para cada una de las subcuencas en estudio.

La segunda parte del estudio se refiere a la *caracterización fisiográficas de las subcuencas* de los ríos Tacotalpa, Puyacatengo, Teapa y Pichucalco donde se determinaron variables tales como: área, ancho, pendiente, uso y tipo de suelo y porcentaje de área impermeable para cada una de ellas.

La tercera parte del estudio corresponde a la *determinación de valores de los parámetros del hidroestimador*, estos parámetros se calcularon para determinar las pérdidas de precipitación por infiltración por medio del método de Green & Ampt.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO.
(MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

La cuarta parte del estudio consistió en generar un *esquema simplificado del sistema de ríos de la Sierra* en el software Storm Water Management Model (SWMM) desarrollado por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) donde se utilizó información topográfica de los cauces principales, así como de las lagunas más importantes de este sistema.

La quinta parte del estudio se refiere a la re-calibración del modelo lluvia-escorrimento, donde se muestra la calibración empleada en los años 2010 y 2011; así mismo, se definió el ajuste final del hidroestimador con lluvias del 2012. Dicho ajuste, se obtuvo a partir de la simulación de las estimaciones de lluvia en el modelo SWMM donde se reprodujo satisfactoriamente los niveles y gastos obtenidos en la zona baja de la planicie tabasqueña según los boletines hidrometeorológicos reportados por la CONAGUA.

La sexta parte del estudio corresponde a la operación del modelo de los ríos de la Sierra en el SWMM v.5.0 con datos del año 2012 entre los meses de mayo a septiembre. Se ingresaron las estimaciones de láminas de lluvia en formato *.TXT, y los resultados obtenidos fueron comparados con los datos reportados en los boletines hidrometeorológicos de la CONAGUA. La última parte del estudio, fue instalar dos estaciones espejo del hidroestimador en oficinas de la CONAGUA; la primera se instaló en Oficinas centrales y la segunda en las oficinas de la regional Frontera Sur en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra dentro de la región hidrológica 30 Grijalva Usumacinta, la cual tiene una superficie de 87,120 km², y se ubica en los estados de Chiapas y Tabasco. Se le prestó mayor interés a la zona de los ríos de la Sierra, compuesta por las subcuencas: (1) Pichucalco, (2) Teapa, (3) Puyacatengo y (4) Almandro; debido a que, en esta zona se presenta la mayor cantidad de escurrimientos anuales, lo cual, conlleva -en la mayoría de las ocasiones- a inundaciones en la ciudad de Villahermosa, Tabasco.



Estado
Tabasco

Coordenadas geográficas extremas
18° 39' al norte 17° 15' al sur de
latitud norte, y entre los meridianos
91° 00' y 94° 07' al oeste de longitud
oeste.

Total de municipios
17

Población total (censo 2010)
2,238,603 habitantes



Sistema fluvial de la cuenca Grijalva-Usumacinta



El sistema fluvial se constituye con los caudales del río Usumacinta, el más grande de la República, y el río Grijalva el segundo por su caudal, con numerosos afluentes que desembocan en el Golfo de México.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO.
(MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Solo quedan fuera de éste sistema el río Tonalá y el Tancochapa o Pedregal, que sirve de límite entre Tabasco y Veracruz, al oeste de Huimanguillo; los pequeños ríos de la Chontalpa que se alimentan de excesos de aguas de lluvias acumuladas en los popales (pantanos) y el río González, brazo desprendido del Mezcalapa a fines del siglo XIX, que desemboca al mar por la barra de Chiltepec.

A los numerosos ríos, riachuelos y arroyos que cruzan en todos los sentidos al estado de Tabasco, se añaden algunas albuferas¹, y un número elevado de lagunas diseminadas en su territorio, destacándose los sistemas lagunares de El Carmen, Pajonal, La Machona y Mecoacán.

La disponibilidad de agua se basa en las cuencas bajas de los ríos Usumacinta y Grijalva, éstas cuencas acumulan el agua de innumerables corrientes y se descargan al mar en forma conjunta. El volumen medio anual es de 125 mil millones de metros cúbicos, que representan el 35% de las corrientes del país, formando un amplio cauce que inunda grandes áreas y origina en las zonas bajas numerosas lagunas de poca profundidad. En los meses de septiembre y noviembre se alcanza los máximos niveles de agua causando inundaciones.

¹ *Laguna litoral de agua salada o ligeramente salobre, separada del mar por una lengua o cordón de arenas pero en comunicación con el mar por uno o más puntos. Su formación suele deberse a la colmatación de una antigua bahía por los aportes de sedimentos marinos o fluviales.*

a) RECOPIACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN 2011 Y 2012

a.1) Introducción

Estimación de lluvia

En esta sección se describe lo referente a la estimación y recopilación de la información de las estimaciones de lluvia, generada por el Sistema Hidroestimador (HE), a lo largo del periodo de operación. La zona de estudio es el sureste del país. La estimación de las lluvias se realiza a cada hora. En la figura 2.a.1 se muestra un ejemplo de la pantalla que despliega el HE para todo el país, esta pantalla es importante porque permite observar de manera rápida la intensidad y el comportamiento de la lluvia. Los puntos de color rojo ubicados en los estados de Tabasco y Chiapas, corresponden a las estaciones automáticas de las que se recibe información climatológica e hidrométrica de la zona, en párrafos siguientes se precisará al respecto.

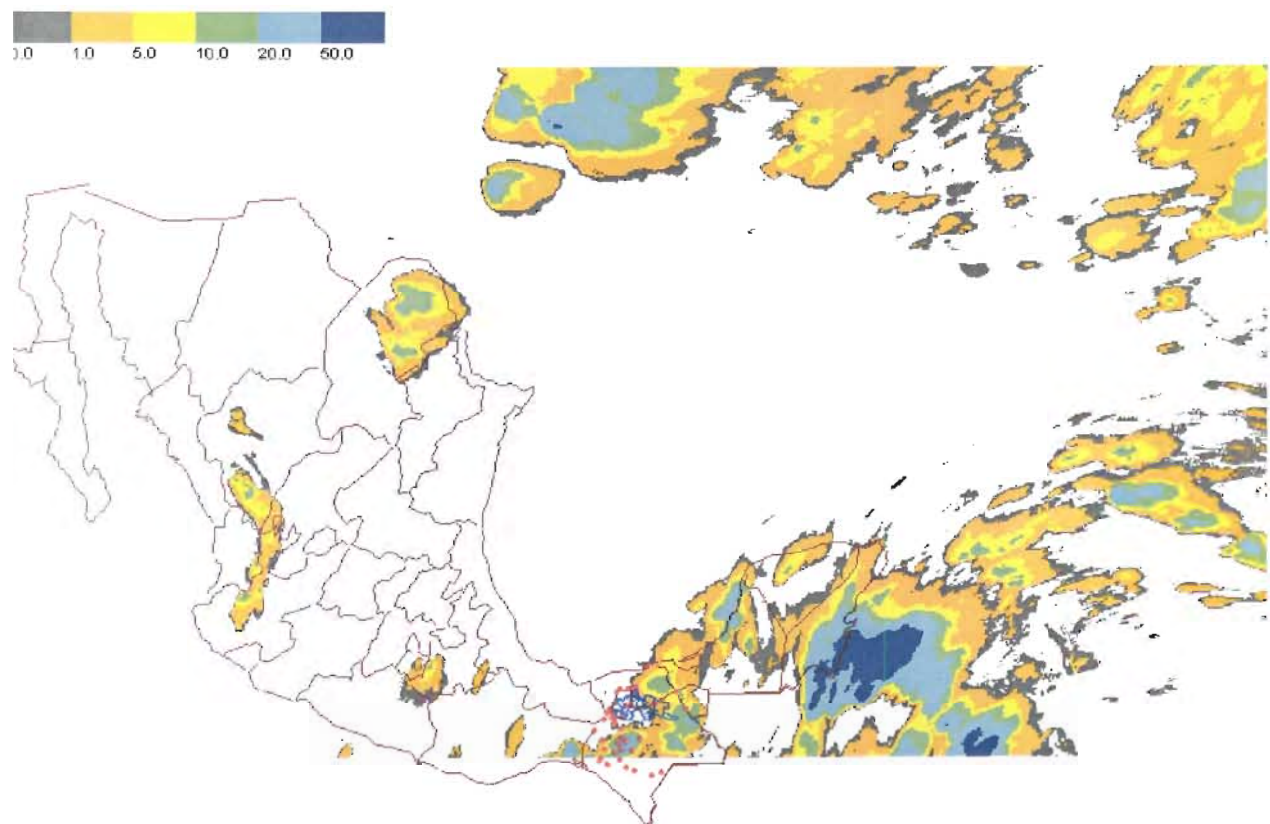


Figura 2.a.1 Estimación de lluvia con el sistema Hidroestimador, los diferentes colores indican la magnitud de la lámina de lluvia en milímetros

Se cuenta con el registro histórico de las estimaciones de lluvia desde junio de 2011 hasta septiembre de 2012 en imágenes de lluvia (periodo de operación del Hidroestimador), donde se puede apreciar la distribución de la lluvia (anexo 2.a.5). Las imágenes con vapor de agua, utilizadas para el cálculo de la lluvia, se obtienen del satélite GOES 13, pueden consultarse en el anexo 2.a.4.

VF

Láminas medias

Además de la estimación de la lluvias, también se realiza el cálculo de las láminas promedio para las cuencas: Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa, las cuales se muestran en la figura 2.a.2. El registro histórico con la información de láminas de lluvia se puede consultar en el anexo 2.a.3.

Para el cálculo se emplea, para cada cuenca, el polígono que define el parteaguas, la lámina se obtiene sumando la lluvia de las celdas que se localizan dentro del parteaguas, entre el número de celdas. El procedimiento de cálculo corresponde, para intervalos de lluvia horarios. Las características fisiográficas de las cuencas se muestran en la sección 2.b.

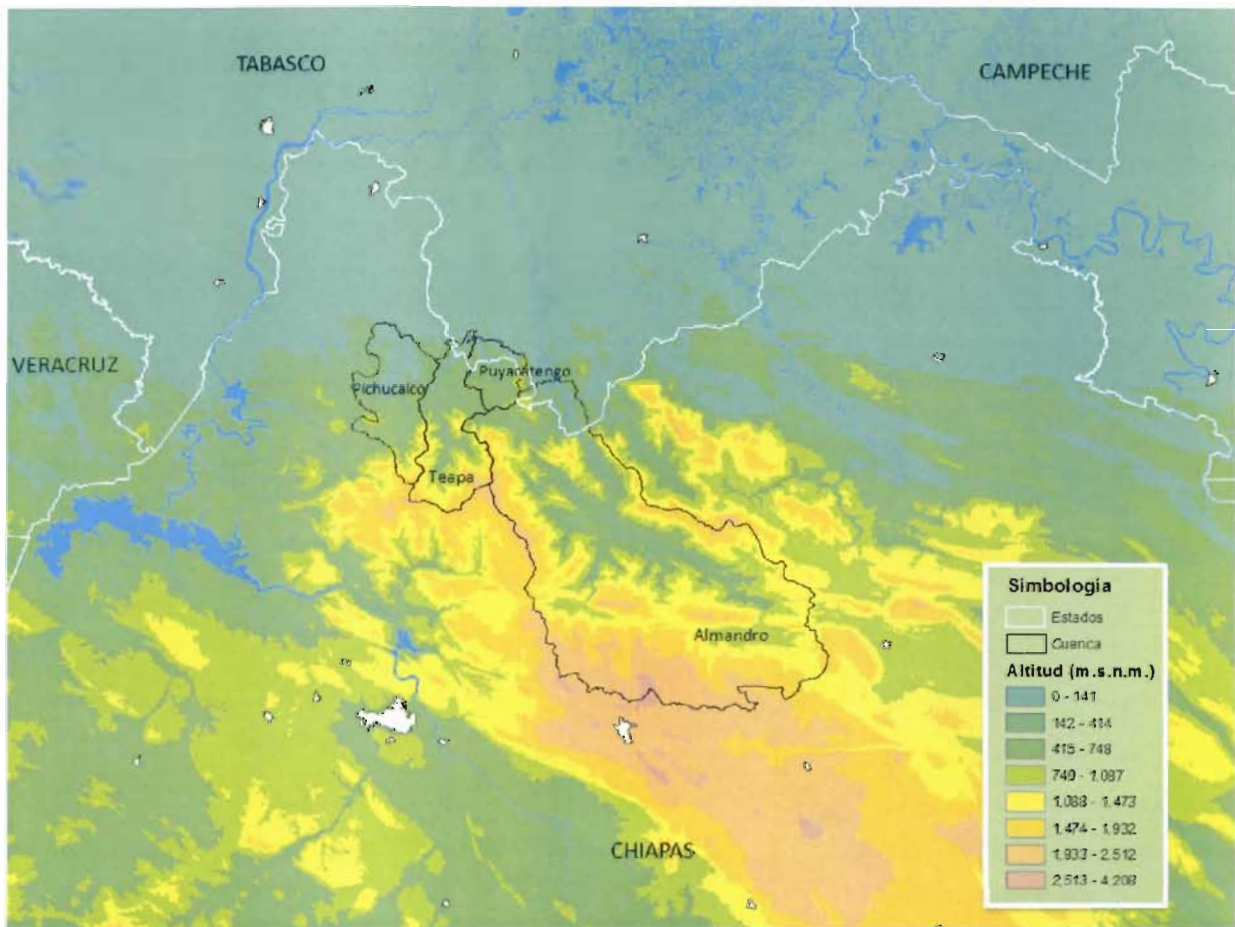


Figura 2.a.2 Cuencas para las cuales se calcula la lámina de lluvia

Registro de información climatológica e hidrométrica

El catálogo de estaciones automáticas de las cuales se recibe información climatológica (lluvia, temperatura, entre otras) e hidrométrica (niveles y gastos), consta de 54 (tabla 2.a.1). Las cuales se encuentran distribuidas en los estados de Chiapas y Tabasco (figura 2.a.3), los organismos operadores son Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Se anexa el registro de la información registrada por las estaciones automáticas a lo largo del periodo de operación (anexo 2.a.2). Las estaciones registran la información cada 10 minutos, el HE recibe la información cada hora, la almacena y procesa para la calibración de las láminas medias cada hora (este procedimiento se describe en la sección 2.e). Se analizó la información registrada por las estaciones automáticas, con la finalidad de encontrar y separar datos anómalos; además de verificar el correcto funcionamiento de las estaciones, los resultados se presentan en la sección 6.a.

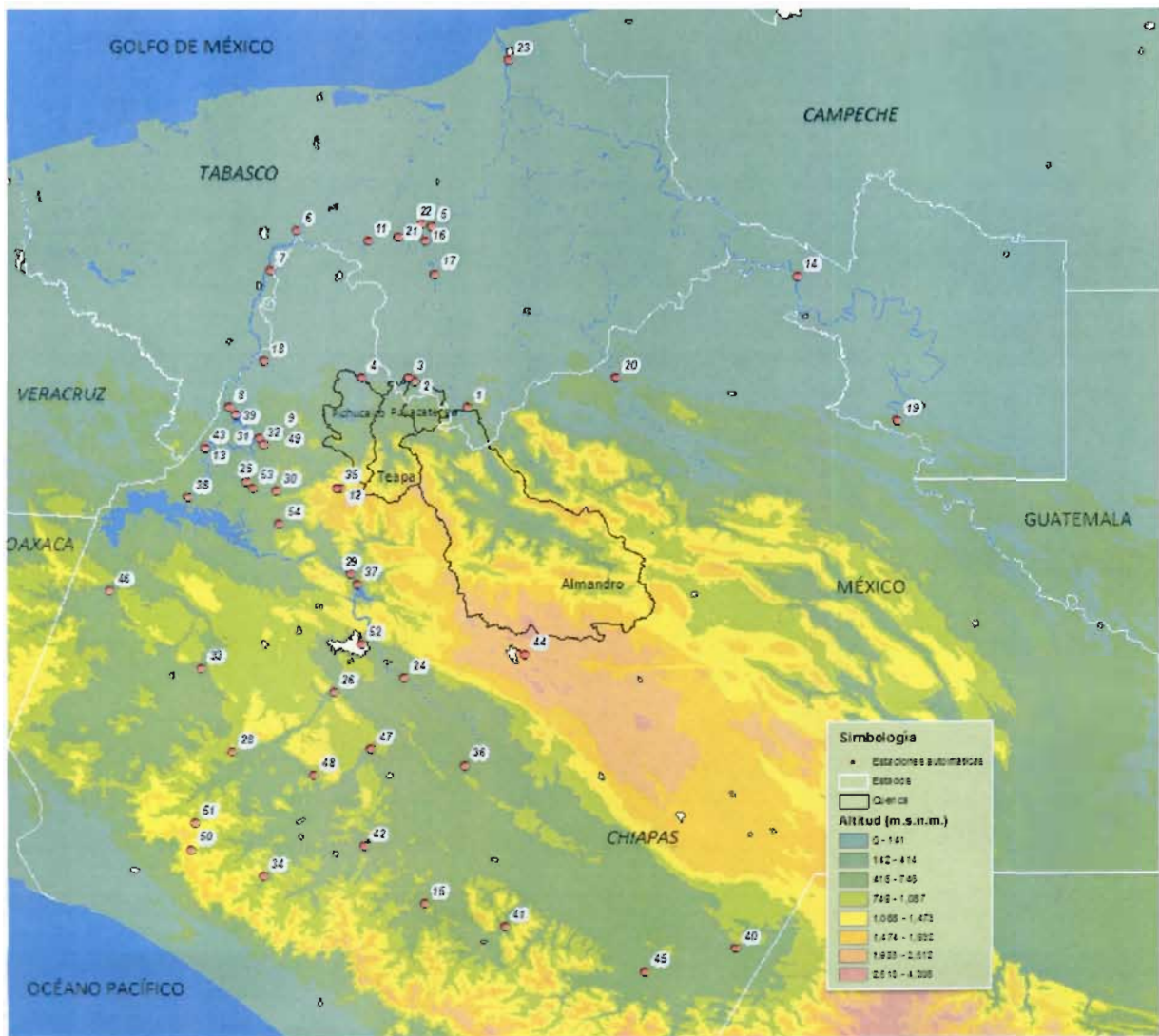


Figura 2.a.3 Ubicación de las estaciones automáticas

VJ

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Tabla 2.a.1 Catálogo de las estaciones automáticas

Identificador	No.	Nombre	Latitud	Longitud
TAB01	1	TAPIJULAPA	17.46	-92.77
TAB02	2	PUYACATENGO	17.54	-92.93
TAB03	3	TEAPA	17.55	-92.95
TAB04	4	SAN JOAQUIN	17.56	-93.08
TAB05	5	PORVENIR	18	-92.87
TAB06	6	SAMARIA	17.99	-93.27
TAB07	7	REFORMA (MACAYO)	17.88	-93.35
TAB09	8	SAYULA	17.4	-93.33
TAB10	9	MUELLE	17.99	-92.91
TAB11	10	GONZALEZ	17.96	-93.06
TAB12	11	OCOTEPEC	17.22	-93.15
TAB13	12	ROMULO CALZADA	17.34	-93.55
TAB14	13	ZAPATA (CHABLÉ)	17.85	-91.78
TAB15	14	EL PORTILLO	15.99	-92.89
TAB16	15	GAVIOTAS	17.96	-92.9
TAB17	16	PUEBLO NUEVO	17.86	-92.86
TAB18	17	PLATANAR	17.61	-93.38
TAB19	18	BOCA DEL CERRO	17.42	-91.49
TAB20	19	SALTO DE AGUA	17.55	-92.33
TAB21	20	POSTA	17.98	-92.97
TAB22	21	PIGUA	18.02	-92.9
TAB23	22	FRONTERA (TRES BRAZOS)	18.51	-92.65
TAB24	23	Acala CFE	16.65	-92.95
TAB25	24	Aza-Pac CFE	17.25	-93.42
TAB26	25	Boqueron CFE	16.61	-93.16
TAB27	26	Canal CFE	17.36	-93.38
TAB28	27	Cristobal Obregon CFE	16.44	-93.46
TAB29	28	El Grijalva CFE	16.97	-93.12
TAB30	29	Emiliano Zapata CFE	17.21	-93.34
TAB31	30	Juan Grijalva Vaso Inferior CFE	17.37	-93.39
TAB32	31	Juan Grijalva Vaso Superior CFE	17.36	-93.38
TAB33	32	Las Flores CFE	16.69	-93.56
TAB34	33	Monterrey CFE	16.06	-93.38
TAB35	34	Ocotepec CFE	17.22	-93.15
TAB36	35	Presa Angostura CFE	16.4	-92.77
TAB37	36	Presa Chicoasen CFE	16.94	-93.1
TAB38	37	Presa Malpaso CFE	17.19	-93.6
TAB39	38	Presa Penitas CFE	17.44	-93.45
TAB40	39	Puente Concordia CFE	15.84	-91.96
TAB41	40	Reforma CFE	15.91	-92.66
TAB42	41	Revolucion Mexicana CFE	16.16	-93.07
TAB43	42	Romulo Calzada CFE	17.35	-93.55
TAB44	43	San Cristobal de las Casas CFE	16.72	-92.6
TAB45	44	San Miguel CFE	15.77	-92.23
TAB46	45	Santa Maria CFE	16.92	-93.82
TAB47	46	Santo Domingo CFE	16.45	-93.05
TAB48	47	Santuario CFE	16.37	-93.23
TAB49	48	Sayula CFE	17.4	-93.33
TAB50	49	Sierra Morena CFE	16.15	-93.59
TAB51	50	Tres Picos CFE	16.22	-93.57
TAB52	51	Tuxtla CFE	16.76	-93.08
TAB53	52	Tzimbac CFE	17.23	-93.41
TAB54	53	Yamonho CFE	17.12	-93.32

2.a.2 Estimación de lluvia y cálculo de láminas medias

Para cada cuenca de las antes mencionadas, se calculó la lámina media horaria y la lámina diaria, para esta última se obtuvo sumando las láminas correspondientes a las 24 horas de cada día. En la gráfica de la figura 2.a.4 se observa el comportamiento de las láminas diarias en el año 2011, donde se suscitaron lluvias importantes en el mes de julio, con valores superiores a los 180 mm de lámina media.

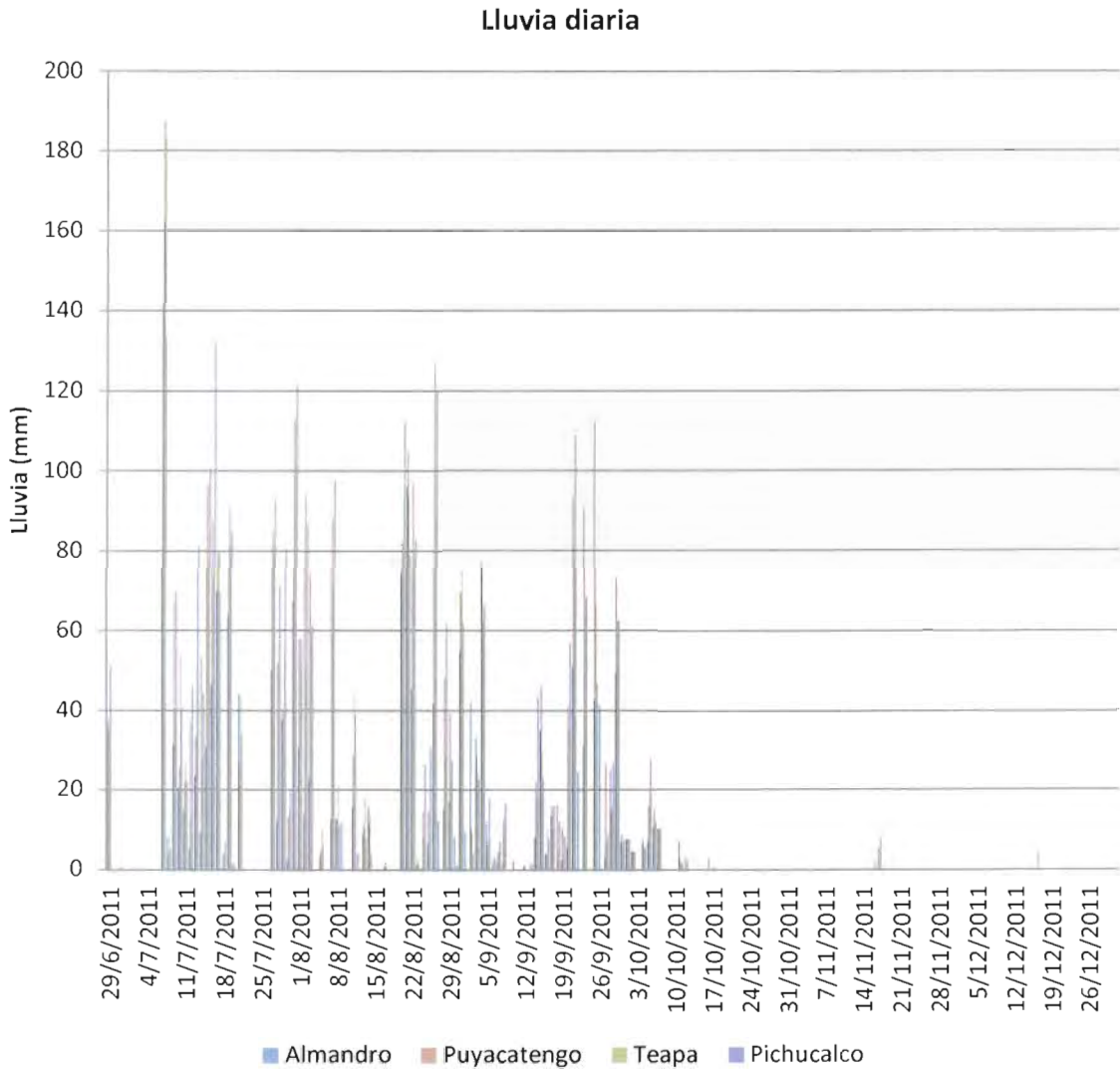


Figura 2.a.4 Hietograma diario por cuenca en el año 2011

Respecto al año 2012, se muestra en la gráfica de la figura 2.a.5 las láminas diarias correspondiente a los meses de enero a septiembre. Se presentaron lluvias importantes los meses de julio a septiembre, con valores mayores a los 40 mm y cercanos a los 150 mm de lámina media.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

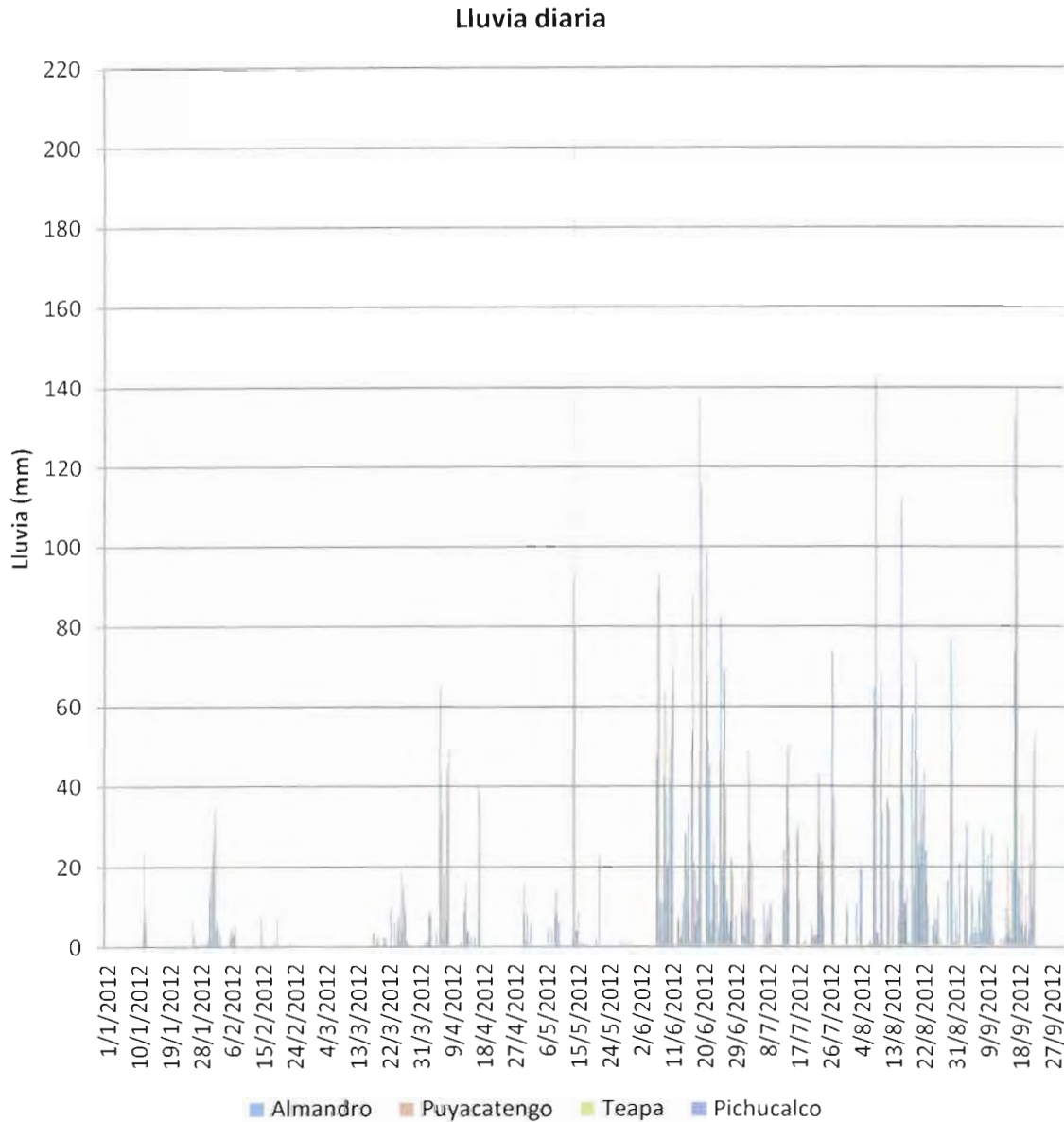


Figura 2.a.5 Hietograma diario por cuenca en el año 2012

En el anexo 2.a.3 se encuentra el registro de las láminas medias para las cuencas Almandro, Puyacatengo, Teapa y Pichucalco, desde junio de 2011 y hasta septiembre de 2012. En los siguientes párrafos se describen las principales lluvias ocurridas en los meses de mayo a septiembre.

Lluvias del mes de mayo

La lluvia del día 14 de mayo de 2012 se muestra en la figura 2.a.6, el núcleo de lluvia se presentó principalmente en el centro de Chiapas, y en Tabasco, en la parte sureste del estado. Otra de las lluvias que tuvo una importante distribución en el estado de Tabasco, fue la ocurrida el día 9 de mayo, en la figura 2.a.7 se puede observar que los mayores valores de lluvia se presentaron entre los estados de Chiapas y Oaxaca.

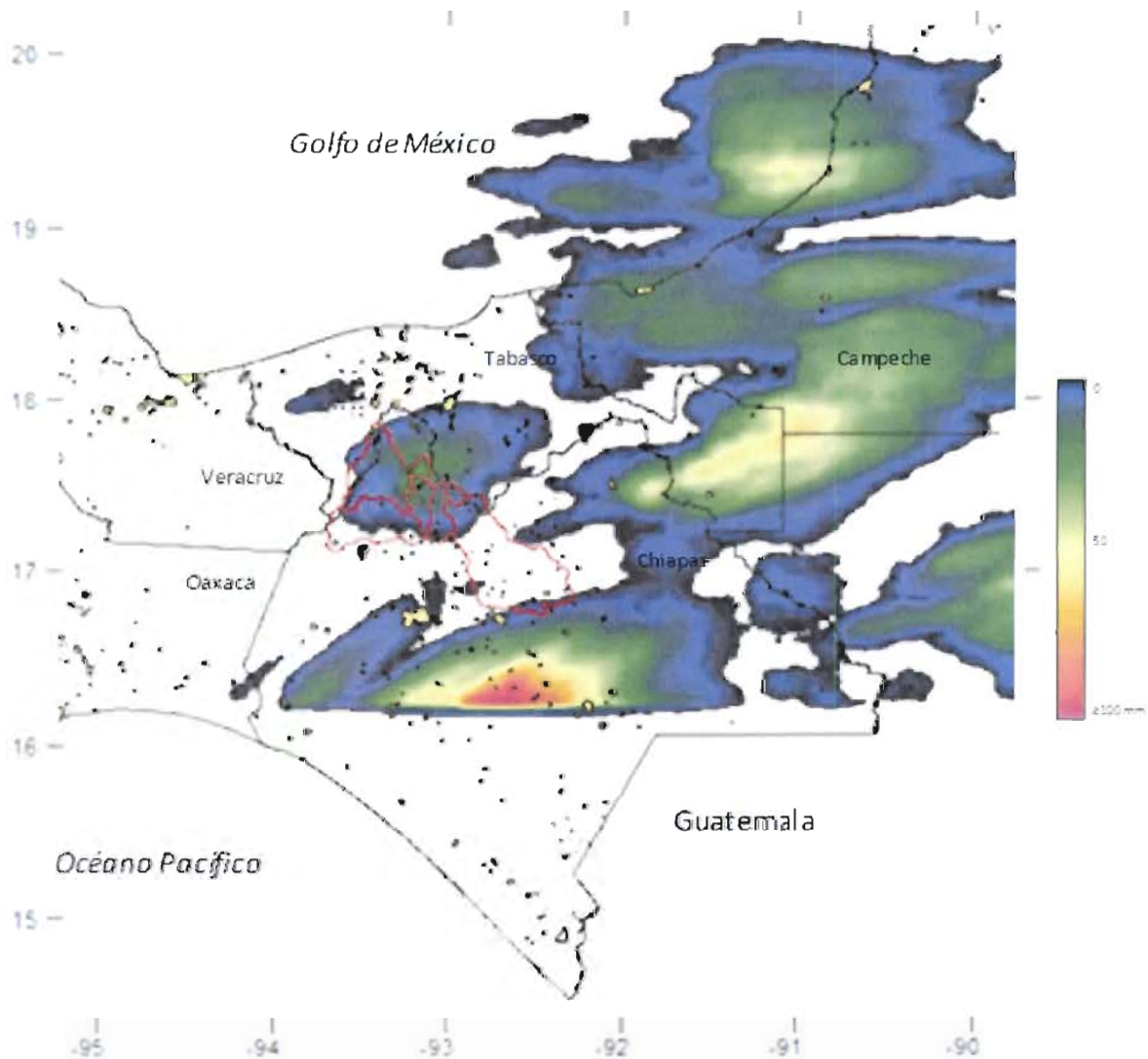


Figura 2.a.6 Lluvia del 14 de mayo de 2012

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

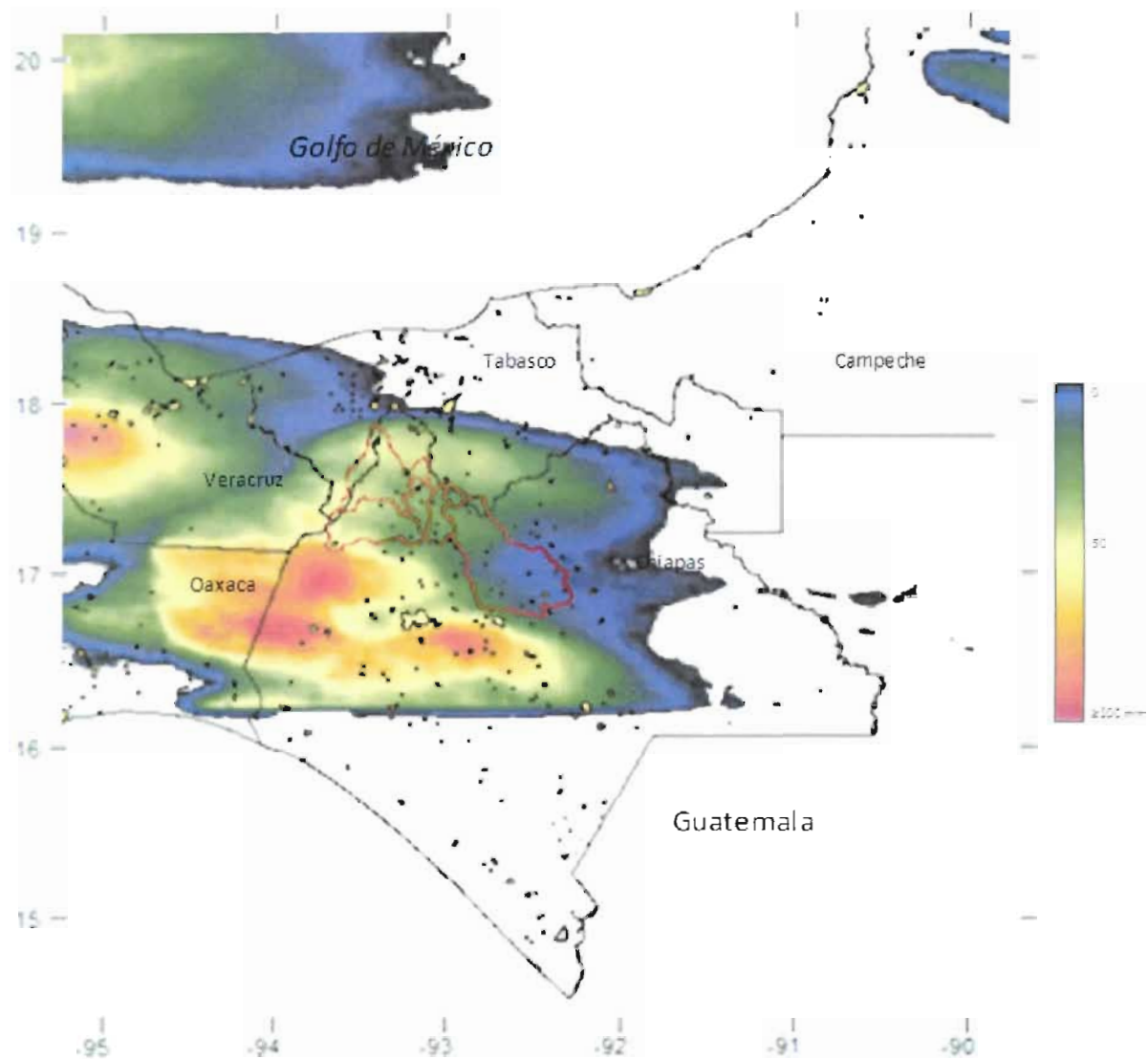


Figura 2.a.7 Lluvia del 9 de mayo de 2012

Como se mencionó con anterioridad, se calcularon las láminas diarias con la información de las láminas horarias. En la tabla 2.a.2 se puede consultar, los resultados de estos cálculos, para las cuencas Almandro, Teapa, Puyacatengo y Pichucalco.

En la figura 2.a.8 se puede observar el hietograma de las láminas medias diarias calculadas en el mes de mayo. Las lluvias fueron aisladas en tiempo, sólo a mitad de mes se suscitó una lluvia importante, reflejada en las láminas cercanas a los 100 mm en las cuencas Pichucalco y Puyacatengo, y superiores a los 200 mm en Teapa.

Tabla 2.a.2 Láminas diarias (mm) del mes de mayo

Año	Mes	Día	Almandro	Puyacatengo	Teapa	Pichucalco
2012	5	1	8.169266	0	0	0.025
2012	5	2	5.58591	0	0	0
2012	5	3	0	0	0	0
2012	5	4	0	0	0	0
2012	5	5	0.033808	0	0.006722	0.008863
2012	5	6	0.099748	0	0	0
2012	5	7	4.34656	0	0	0
2012	5	8	4.411239	0	0	0
2012	5	9	7.650729	13.536057	14.579567	8.418678
2012	5	10	5.983072	0.526834	0.161803	0.002375
2012	5	11	0	0	0	0
2012	5	12	0	0	0	0
2012	5	13	0	0	0	0
2012	5	14	1.690287	92.001331	203.576792	79.079747
2012	5	15	3.744934	4.017164	2.104402	8.725707
2012	5	16	0.706927	0	0	0.706471
2012	5	17	0.540112	0.606785	0.234921	0.808859
2012	5	18	0	0	0	0
2012	5	19	0.072654	0	0	0
2012	5	20	0.053859	0	0.005199	1.751468
2012	5	21	0.393785	0	0	23.069793
2012	5	22	0.032769	0	0	0.41875
2012	5	23	0	0	0	0
2012	5	24	0	0	0	0
2012	5	25	0	0	0	0
2012	5	26	0	0	0	0
2012	5	27	0	0	0	0
2012	5	28	1.028487	0.00324	0.087352	0.309517
2012	5	29	0.695976	0	0	0
2012	5	30	1.047326	0	0	0
2012	5	31	0	0	0	0.011267

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

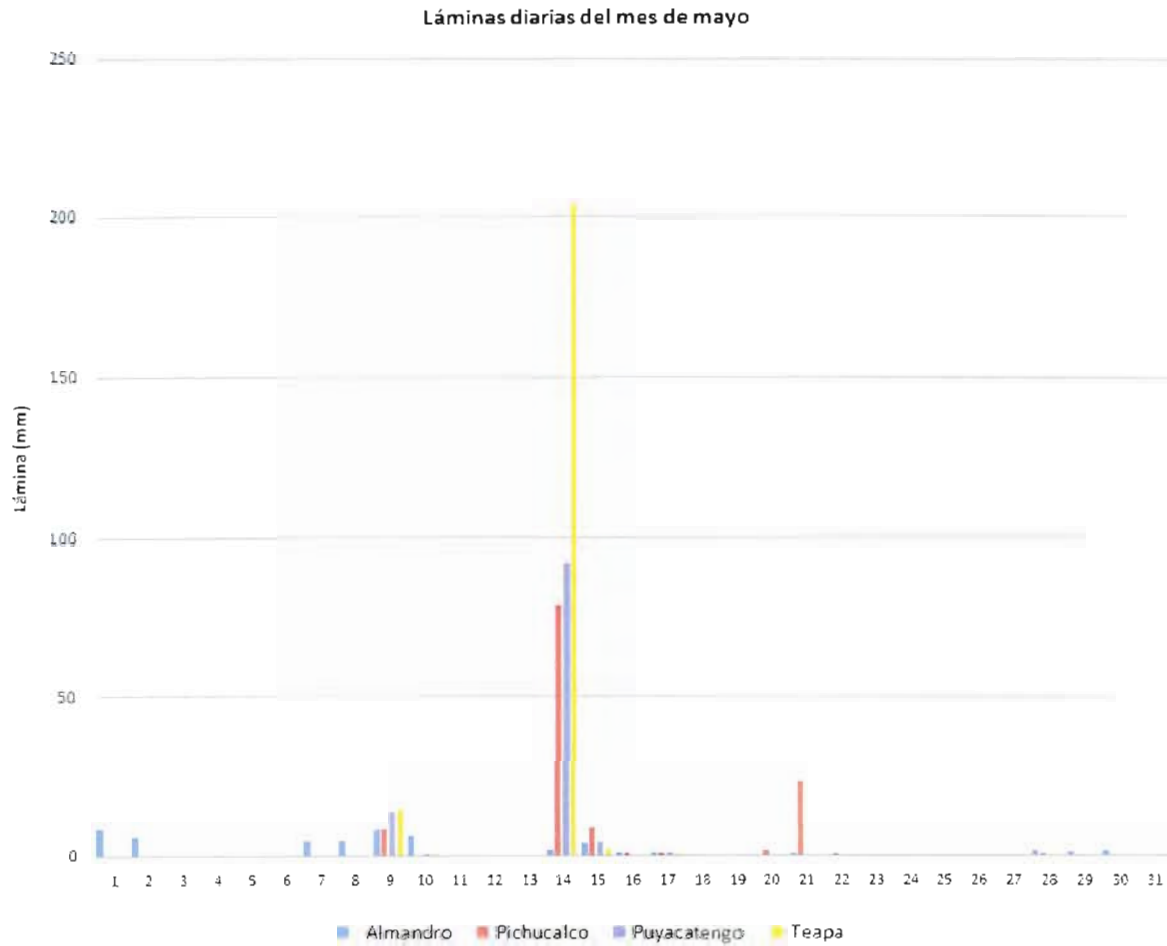


Figura 2.a.8 Hietograma del mes de mayo de 2012

La información de lluvia registrada por las estaciones automáticas, se sometió a un análisis, denominado preliminar, consistente en: el cálculo total de datos horarios, número de datos válidos (dato nulo tiene valores negativos), valor mínimo, valor máximo, la suma y el promedio del periodo. Los resultados se colocaron en la tabla 2.a.3

Tabla 2.a.3 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta mayo de 2012

Identificador	Número total de datos	Número de datos validos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
TAB01	26400	26394	0	11.2	1361.4	0.0515799
TAB02	43884	43607	0	264.7	2995438.1	68.6916802
TAB03	47142	47117	0	369.6	7124799.7	151.215054
TAB04	30300	30284	0	26.4	1819.8	0.06009114
TAB05	47280	47270	0	29.2	308438.4	6.52503491
TAB06	46987	46984	0	16.4	2070.2	0.04406181
TAB07	9438	9438	0	18.2	414.4	0.04390761
TAB08	13158	13145	0	11.2	609.8	0.04639026
TAB09	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
TAB10	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
TAB11	45426	45390	0	17.4	1675.4	0.03691121
TAB12	48114	48114	0	17.3	3881.9	0.0806813
TAB13	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
TAB14	48450	48450	0	9	288.3	0.00595046
TAB15	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
TAB16	48450	48450	0	15.9	1311.5	0.02706914
TAB17	19957	19943	0	601.5	950.9	0.04768089
TAB18	48432	48404	0	16.6	2338.4	0.04831006
TAB19	48450	48450	0	12	1085.7	0.02240867
TAB20	48192	39674	0	48.8	44310	1.11685235
TAB21	38958	38922	0	3086.6	74238.8	1.90737372
TAB22	47880	47880	0	17	1292.6	0.02699666
TAB23	37890	37854	0	16	977.6	0.02582554
TAB24	2476	2476	0	35.4	8984.03	3.62844507
TAB25	5378	5378	0	46.4	12099.73	2.24985682
TAB26	5543	5543	0	45	958.2	0.17286668
TAB27	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
TAB28	5417	5417	0	56.8	1446.9	0.26710356
TAB29	5522	5522	0	32.4	1021.4	0.18496921
TAB30	5391	5391	0	64.8	2773.7	0.51450566
TAB31	2574	2574	0	60.2	1079.5	0.41938617
TAB32	5150	5150	0	180	11712.82	2.27433398
TAB33	5277	5277	0	56.7	1403.6	0.26598446
TAB34	5222	5222	0	39	10516.08	2.01380314
TAB35	5518	5518	0	69.8	3933.3	0.71281261
TAB36	5482	5482	0	44.9	1420.5	0.25912076
TAB37	5470	5470	0	54.6	1238.6	0.2264351
TAB38	5410	5410	0	62.8	1989.8	0.36780037
TAB39	5042	5042	0	43.9	2196.9	0.43571995
TAB40	5463	5463	0	57.4	1305.9	0.23904448
TAB41	5393	5393	0	52.9	1900.8	0.35245689
TAB42	5260	5260	0	44.4	1659.6	0.31551331
TAB43	5370	5370	0	77.2	2595.9	0.48340782
TAB44	5409	5409	0	41.3	1329.6	0.24581253
TAB45	5479	5479	0	51.4	1866.9	0.34073736
TAB46	5439	5439	0	52.1	8900.87	1.63649016
TAB47	5232	5232	0	65.7	1463.7	0.27975917
TAB48	5057	5057	0	84.5	1476.2	0.2919122
TAB49	2817	2817	0	54.4	7669	2.72239972
TAB50	5484	5484	0	50.8	1704.7	0.31084974
TAB51	5507	5507	0	38.8	8938.09	1.62304158
TAB52	2685	2685	0	22.2	266.7	0.09932961
TAB53	5354	5354	0	68.8	12753.24	2.38200224
TAB54	5450	5450	0	39.4	1723.7	0.31627523

Lluvias del mes de junio

Se muestra una de las lluvias diarias ocurridas en el mes de junio. En la figura 2.a.9 se representa la lluvia del día 19 de junio, el núcleo de ubicación el suroeste del estado de Campeche.

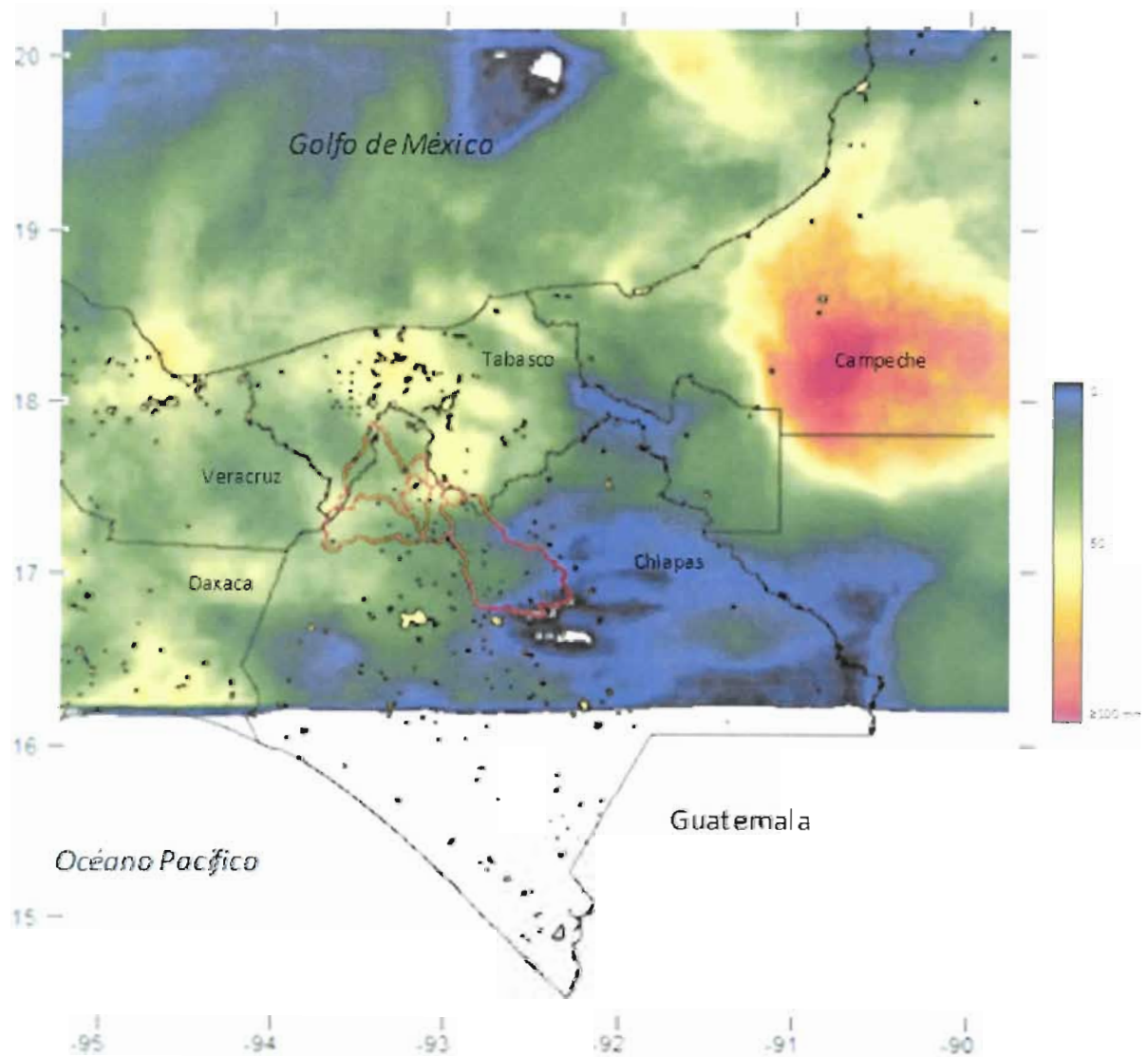


Figura 2.a.9 Lluvia del 19 de junio de 2012

Una de las bondades principales del HE es que permite de una manera relativamente rápida, detectar la ubicación de los núcleos de tormenta, donde se tienen los valores mayores de lluvia. Esto es importante, porque para un mismo valor de lámina por cuenca, se puede tener diferentes configuraciones de tormenta, es decir, se pueden presentar diferentes distribuciones de la lluvia, para las cuales se tengan un mismo o similar valor de lluvia por cuenca.

En la figura 2.a.10 se presentan las lluvias correspondientes a los días 7, 8, 9, 13, 14, 15, 19, 20 y 21 de junio. En la figura 2.a.11, para los días 10, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 23 y 24, del mismo mes.

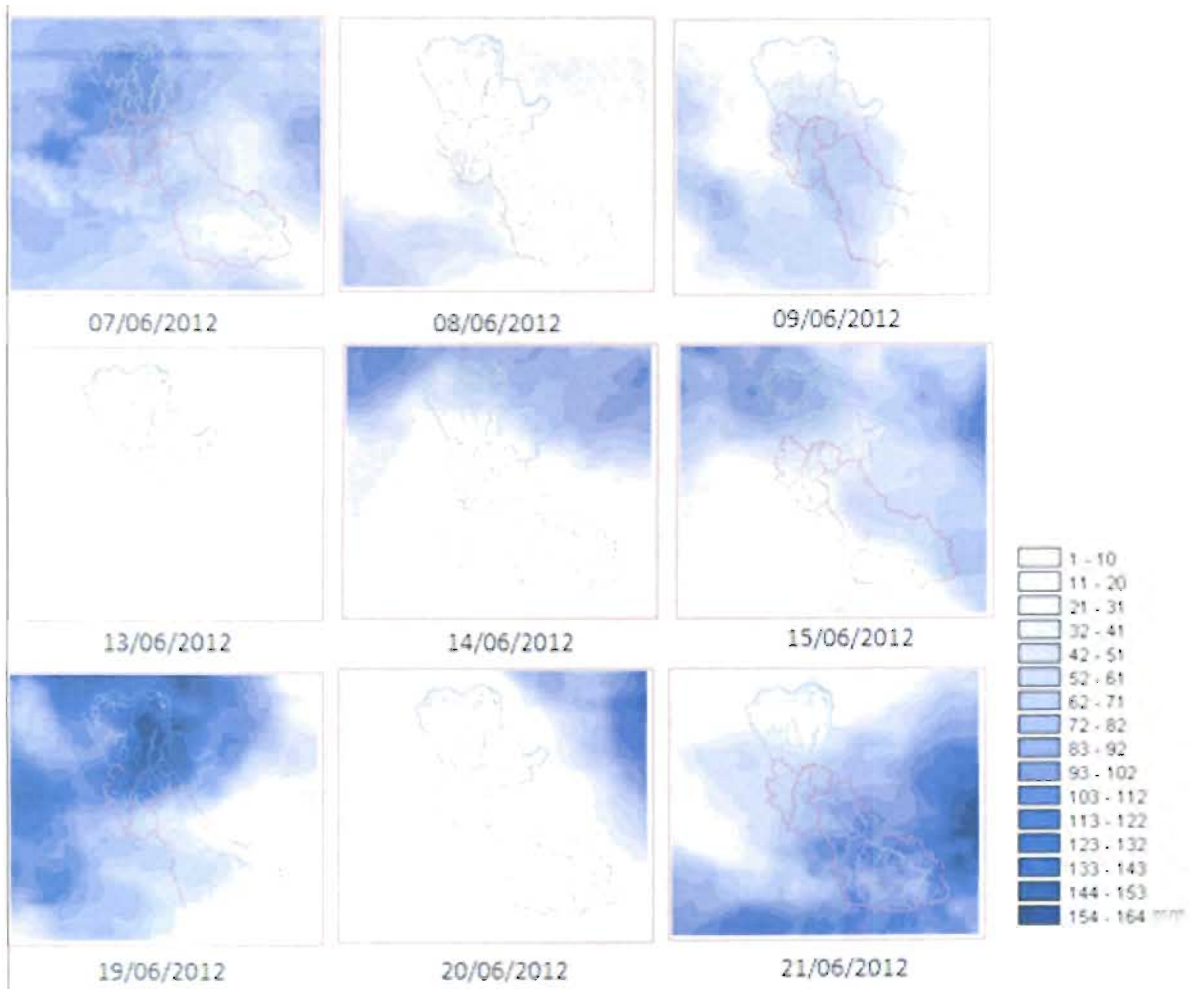


Figura 2.a.10 Lluvias de los días 7, 8, 9, 13, 14, 15, 19, 20 y 21 de junio 2012

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

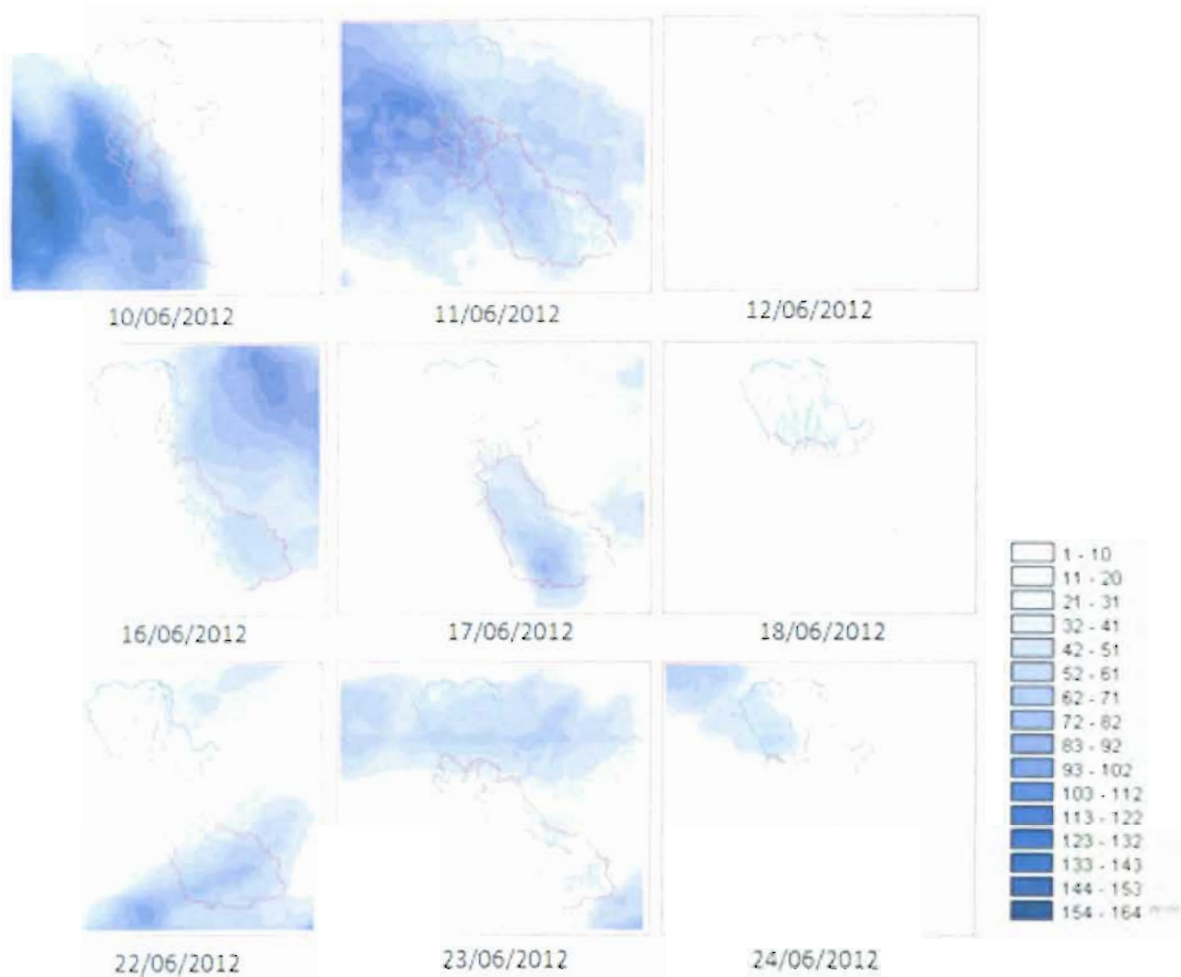


Figura 2.a.11 Lluvias de los días 10, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 23 y 24 de junio 2012

Las láminas diarias calculadas con la información de las láminas horarias se presentan en la tabla 2.a.4 para las cuatro cuencas d estudio. Los valores se encuentran en milímetros. Obsérvese que la tabla comienza en el día 7, puesto que en los primeros seis días no se guardaron datos por el servicio de mantenimiento efectuado al HE.

Tabla 2.a.4 Láminas diarias (mm) del mes de junio

Año	Mes	Día	Aljandro	Pichucalco	Puyacatengo	Teapa
2012	6	7	47	93	89	82
2012	6	8	11	11	3	19
2012	6	9	43	38	64	59
2012	6	10	21	42	20	51
2012	6	11	52	70	64	81
2012	6	12	0	0	1	0
2012	6	13	6	2	8	7
2012	6	14	3	12	7	11
2012	6	15	28	19	27	24
2012	6	16	34	1	8	1
2012	6	17	53	21	88	45
2012	6	18	5	12	19	6
2012	6	19	40	115	138	90
2012	6	20	1	1	0	0
2012	6	21	99	51	66	67
2012	6	22	45	7	6	3
2012	6	23	21	16	27	16
2012	6	24	0	5	15	4
2012	6	25	82	19	48	44
2012	6	26	68	40	69	32
2012	6	27	11	3	7	4
2012	6	28	6	18	22	21
2012	6	29	1	8	0	4
2012	6	30	0	0	0	0

En la figura 2.a.12 se muestra el hietograma de las láminas medias diarias calculadas en el mes de junio. Las láminas importantes se presentaron los días: 7, 11, 19 y 21. El día 19 de junio en la cuenca Puyacatengo se tiene una lámina cercana a los 140 mm. En la cuenca Aljandro se presentó una lluvia, con la que se tuvo una lámina cercana a los 100 mm el día 21 de junio, lo que representa un volumen alto por la magnitud de la superficie de la cuenca.

Láminas diarias del mes de junio

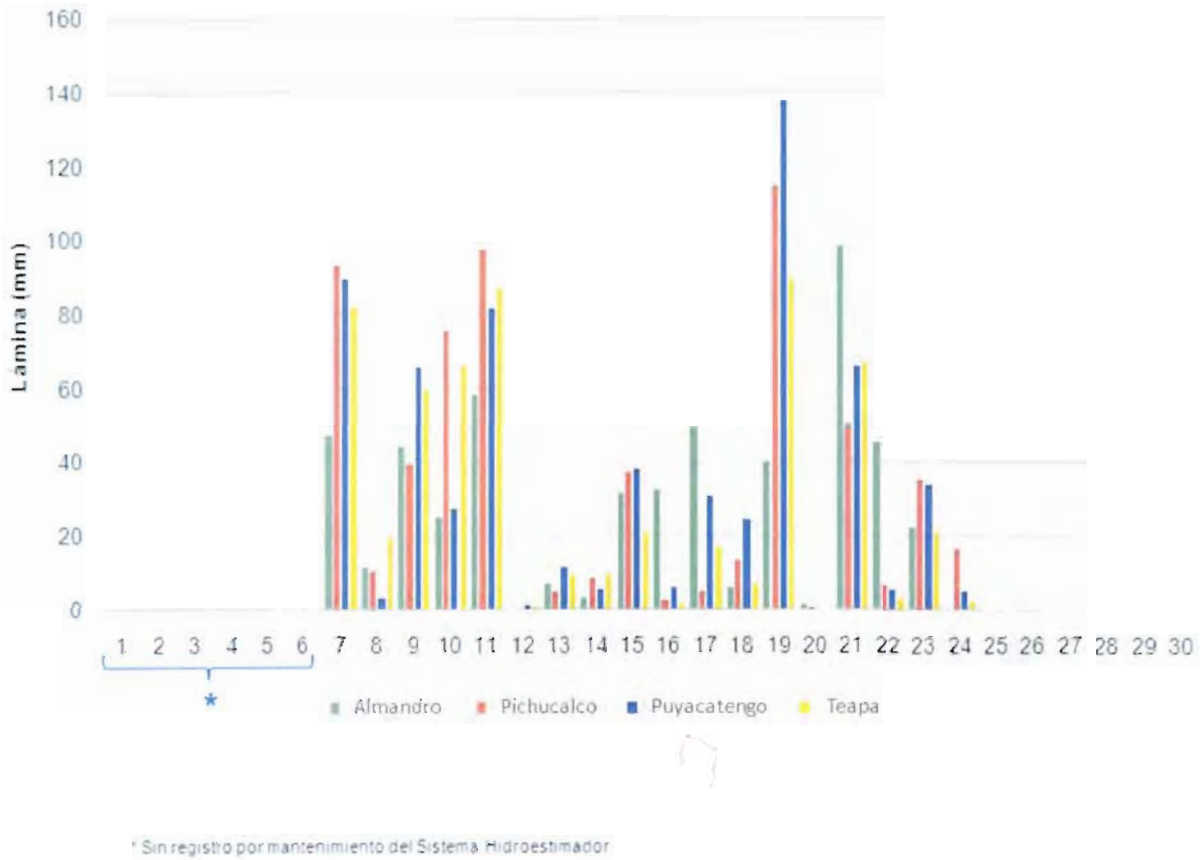


Figura 2.a.12 Hietograma del mes de junio de 2012

De los datos de lluvia registrados cada 10 minutos en las estaciones automáticas, se realizó un análisis preliminar de la información contenida hasta el mes de junio. En la tabla 2.a.5 se muestran los resultados.

Tabla 2.a.5 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta junio de 2012

Identificador	Número total de datos	Número de datos validos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
TAB01	31752	31746	0	12.8	1726.4	0.05
TAB02	49224	48946	0	264.7	4339525.6	88.66
TAB03	52494	52469	0	369.6	8972362.2	171.00
TAB04	35748	35732	0	26.4	2122.8	0.06
TAB05	52614	52604	0	29.2	392561.5	7.46
TAB06	52171	52167	0	19.4	2410.6	0.05
TAB07	9438	9438	0	18.2	414.4	0.04
TAB08	13158	13145	0	11.2	609.8	0.05
TAB09	0	0	0	0	0	0.00
TAB10	0	0	0	0	0	0.00
TAB11	50904	50868	0	17.4	1931.6	0.04
TAB12	53586	53586	0	17.3	4088.6	0.08
TAB13	0	0	0	0	0	0.00
TAB14	53976	53976	0	9	441.3	0.01
TAB15	0	0	0	0	0	0.00
TAB16	53976	53976	0	15.9	1540.4	0.03
TAB17	22399	22318	0	601.5	1082.7	0.05
TAB18	53958	53930	0	16.6	2590.6	0.05
TAB19	53976	53976	0	19.8	1447.6	0.03
TAB20	53718	45200	0	48.8	44518.4	0.98
TAB21	44436	44400	0	3086.6	74238.8	1.67
TAB22	53298	53298	0	160	1697.2	0.03
TAB23	38418	38382	0	16	978	0.03
TAB24	2761	2761	0	35.4	12739.34	4.61
TAB25	5717	5717	0	46.4	16305.94	2.85
TAB26	5907	5907	0	45	1001.6	0.17
TAB27	0	0	0	0	0	0.00
TAB28	5743	5743	0	56.8	1568.1	0.27
TAB29	5881	5881	0	32.4	1056.9	0.18
TAB30	5708	5708	0	64.8	2832.4	0.50
TAB31	2574	2574	0	60.2	1079.5	0.42
TAB32	5162	5162	0	180	11861.62	2.30
TAB33	5614	5614	0	56.7	1544.4	0.28
TAB34	5541	5541	0	39	14578.59	2.63
TAB35	5861	5861	0	69.8	4016.3	0.69
TAB36	5806	5806	0	44.9	1518.8	0.26
TAB37	5807	5807	0	54.6	1301.1	0.22
TAB38	5719	5719	0	62.8	2067.2	0.36
TAB39	5328	5328	0	43.9	2223.9	0.42
TAB40	5790	5790	0	57.4	1357.5	0.23
TAB41	5715	5715	0	52.9	2047.3	0.36
TAB42	5560	5560	0	44.4	1705	0.31
TAB43	5681	5681	0	77.2	2624.6	0.46
TAB44	5730	5730	0	41.3	1394.6	0.24
TAB45	5808	5808	0	51.4	1923.1	0.33
TAB46	5762	5762	0	52.1	8973.47	1.56
TAB47	5546	5546	0	65.7	1614.7	0.29
TAB48	5371	5371	0	84.5	1487.4	0.28
TAB49	3138	3138	0	54.4	7706.4	2.46
TAB50	5810	5810	0	50.8	1881.6	0.32
TAB51	5847	5847	0	38.8	13099.43	2.24
TAB52	2996	2996	0	22.2	353.2	0.12
TAB53	5588	5588	0	68.8	15516.19	2.78
TAB54	5773	5773	0	39.4	1776.6	0.31

Lluvias del mes de julio

En la figura 2.a.13 se muestra la lluvia ocurrida el día 27 de julio, la cual fue de magnitudes importantes en las cuencas de análisis. El núcleo se concentró en la cuenca Almandro, en el norte del estado de Chiapas, la lluvia cubrió todo el estado de Tabasco.

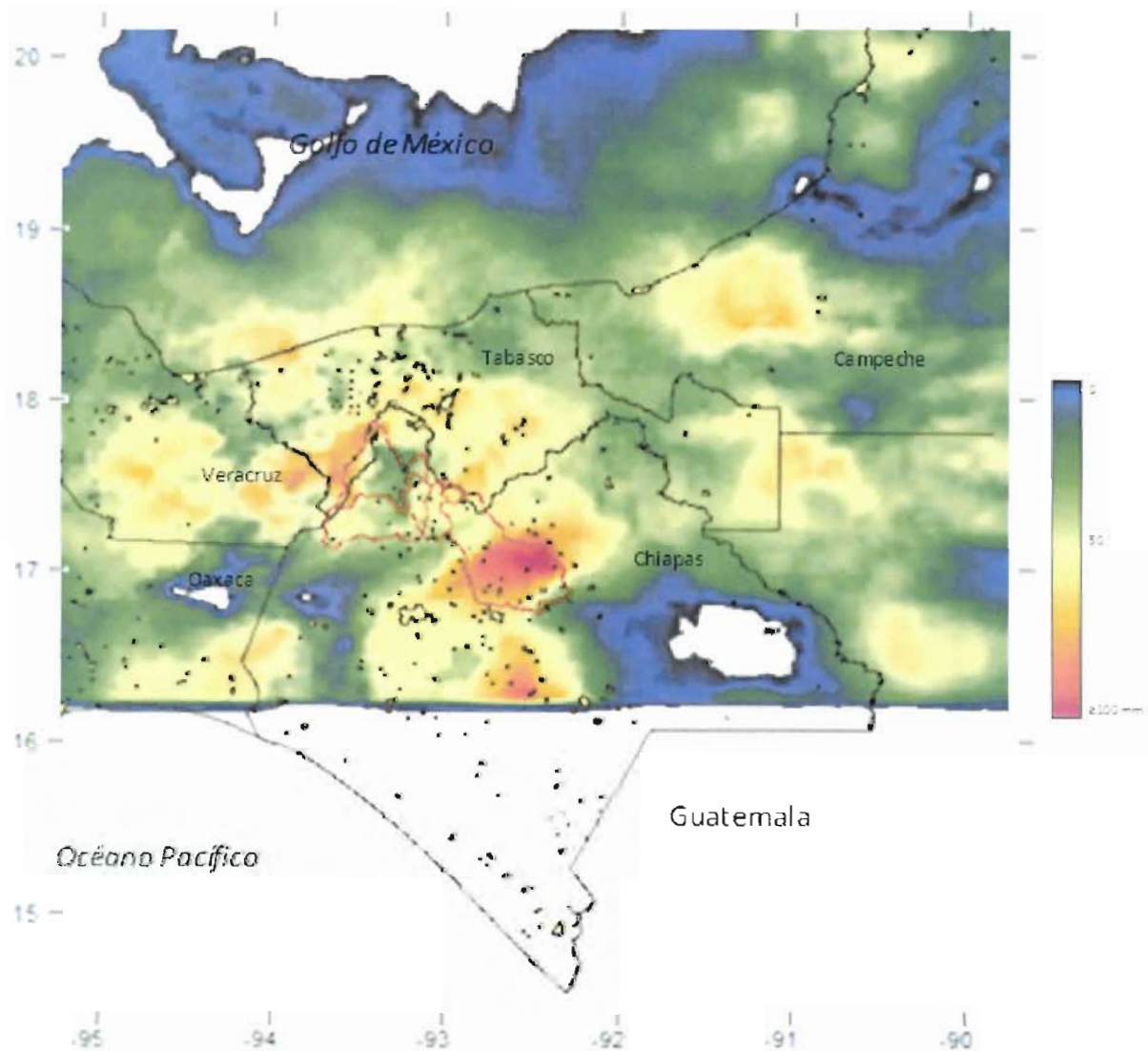


Figura 2.a.13 Lluvia del 27 de julio de 2012

En la figura 2.a.14 se presentan las lluvias diarias del mes de julio, donde se observa las diferentes distribuciones lluvia en dicho mes.

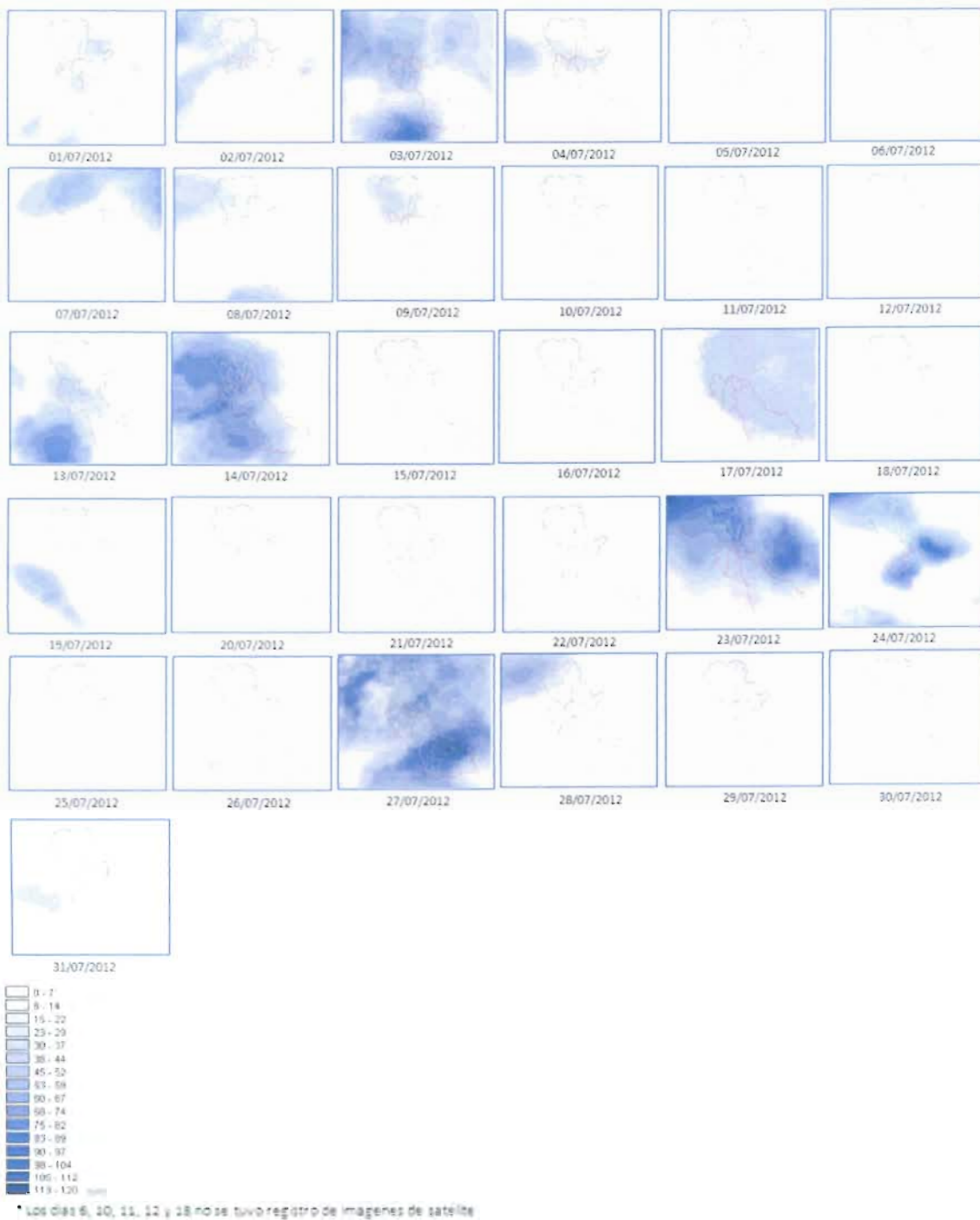


Figura 2.a.14 Lluvias diarias del mes de julio de 2012

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO.
(MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

En la tabla 2.a.6, se muestran las láminas diarias del mes de julio para las cuencas: Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa.

Tabla 2.a.6 Láminas diarias (mm) del mes de julio

Año	Mes	Día	Almandro	Puyacatengo	Teapa	Pichucalco
2012	7	1	8.756741	11.846773	19.596759	8.725878
2012	7	2	2.586074	16.554427	7.727306	9.200229
2012	7	3	18.840343	49.570137	42.445621	25.887637
2012	7	4	1.050359	22.210369	6.835225	7.193832
2012	7	5	0.128872	0.056615	0	0
2012	7	6	0	0	0	0
2012	7	7	0.071384	0.124318	0.134529	10.625591
2012	7	8	1.210893	6.254159	3.506883	7.783359
2012	7	9	3.494785	10.228729	3.917764	11.135907
2012	7	10	0	0	0	0
2012	7	11	0	0	0	0
2012	7	12	0	0	0	0
2012	7	13	12.277938	24.019917	24.712767	14.06944
2012	7	14	39.573003	50.641195	51.444144	27.196837
2012	7	15	0.395622	0	0	0
2012	7	16	0.012196	0	0	0
2012	7	17	28.489151	30.408029	27.911274	11.666539
2012	7	18	0	0	0	0
2012	7	19	1.191015	0	1.31383	0.748424
2012	7	20	0	0	0.073819	0.151227
2012	7	21	1.311147	5.93022	4.805192	3.066402
2012	7	22	2.66759	2.108994	5.080155	2.744465
2012	7	23	22.751151	43.178652	30.670017	25.746697
2012	7	24	12.851991	21.614918	33.94157	7.314507
2012	7	25	0	0	0	0
2012	7	26	0.004927	0	0	0
2012	7	27	73.685234	28.837999	39.093513	37.027614
2012	7	28	0.087224	0.057143	0	0.313222
2012	7	29	0.329118	0	0.186393	0.103085
2012	7	30	0.13506	0	0.099597	0.26104
2012	7	31	2.456056	9.997835	11.989869	8.635338

En la figura 2.a.15 se presentan las láminas diarias correspondientes al mes de julio, donde se observa la presencia de láminas importantes los días: 3, 14, 23 y 27.

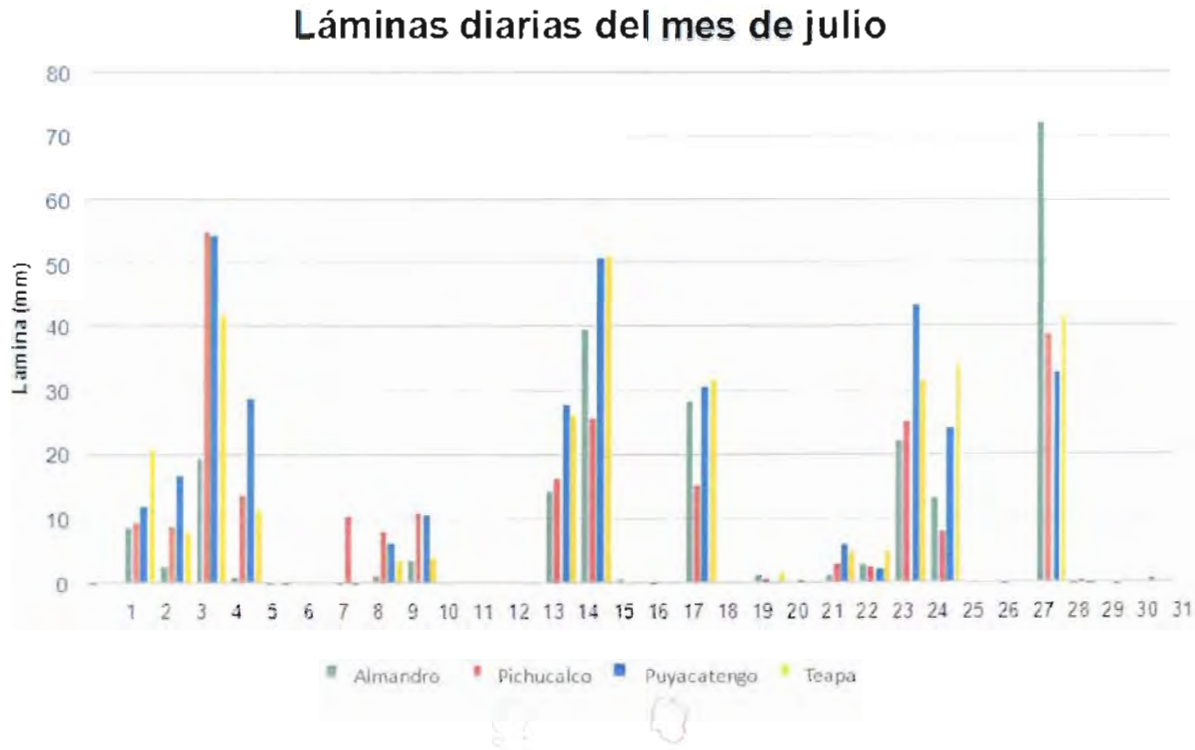


Figura 2.a.15 Hietograma del mes de julio de 2012

Para el catálogo de 54 estaciones automáticas se muestra un resumen del análisis preliminar de la información de lluvia almacenada hasta el mes de julio (tabla 2.a.7), los datos se registran cada 10 minutos.

NF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO.
(MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Tabla 2.a.7 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta julio de 2012

Identificador	Número total de datos	Número de datos válidos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
TAB01	34512	34506	0	12.8	1818.4	0.05
TAB02	51984	51706	0	264.7	4886231.4	94.50
TAB03	55254	55229	0	369.6	9719245.3	175.98
TAB04	38574	38558	0	26.4	2330.6	0.06
TAB05	54811	54798	0	29.2	412352.5	7.52
TAB06	54931	54927	0	20.2	2566	0.05
TAB07	9438	9438	0	18.2	414.4	0.04
TAB08	13158	13145	0	11.2	609.8	0.05
TAB09	0	0	0	0	0	0.00
TAB10	0	0	0	0	0	0.00
TAB11	53754	53718	0	19.4	2067.8	0.04
TAB12	56430	56430	0	17.3	4124.3	0.07
TAB13	0	0	0	0	0	0.00
TAB14	56850	56850	0	9	483.3	0.01
TAB15	0	0	0	0	0	0.00
TAB16	56844	56844	0	15.9	1590	0.03
TAB17	23287	23192	0	601.5	1082.9	0.05
TAB18	56832	56804	0	16.6	2777.4	0.05
TAB19	56850	56850	0	19.8	1619.6	0.03
TAB20	56592	48074	0	48.8	44720.6	0.93
TAB21	47286	47250	0	3086.6	74238.8	1.57
TAB22	56130	56130	0	160	1752	0.03
TAB23	38418	38382	0	16	978	0.03
TAB24	2907	2907	0	35.4	14219.87	4.89
TAB25	5880	5880	0	46.4	17837.51	3.03
TAB26	6078	6078	0	45	1034.3	0.17
TAB27	0	0	0	0	0	0.00
TAB28	5920	5920	0	56.8	1609.6	0.27
TAB29	6058	6058	0	32.4	1090.3	0.18
TAB30	5869	5869	0	64.8	2839.5	0.48
TAB31	2574	2574	0	60.2	1079.5	0.42
TAB32	5163	5163	0	180	11874.62	2.30
TAB33	5784	5784	0	56.7	1549	0.27
TAB34	5709	5709	0	39	16323.2	2.86
TAB35	6036	6036	0	69.8	4108.3	0.68
TAB36	5964	5964	0	44.9	1538.3	0.26
TAB37	5975	5975	0	54.6	1337.7	0.22
TAB38	5901	5901	0	62.8	2071.2	0.35
TAB39	5444	5444	0	43.9	2224.4	0.41
TAB40	5962	5962	0	57.4	1383	0.23
TAB41	5882	5882	0	52.9	2057.9	0.35
TAB42	5643	5643	0	44.4	1708.7	0.30
TAB43	5845	5845	0	77.2	2648.7	0.45
TAB44	5892	5892	0	41.3	1419.1	0.24
TAB45	5977	5977	0	51.4	2001.7	0.33
TAB46	5931	5931	0	52.1	9026.67	1.52
TAB47	5713	5713	0	65.7	1672.3	0.29
TAB48	5529	5529	0	84.5	1522.3	0.28
TAB49	3299	3299	0	54.4	7727.3	2.34
TAB50	5987	5987	0	50.8	1924.9	0.32
TAB51	6011	6011	0	38.8	14682.56	2.44
TAB52	3159	3159	0	22.2	375.9	0.12
TAB53	5696	5696	0	68.8	16404.19	2.88
TAB54	5944	5944	0	39.4	1799.2	0.30

Lluvia del mes de agosto

En la figura 2.a.16 se observa la distribución de la lluvia que se presentó el día 8 de agosto, un día después de que el huracán Ernesto tocara tierra a la altura de Mahahual, en Quintana Roo, en el territorio mexicano. La evolución horaria de este fenómeno se presenta en el **anexo 2.6.**

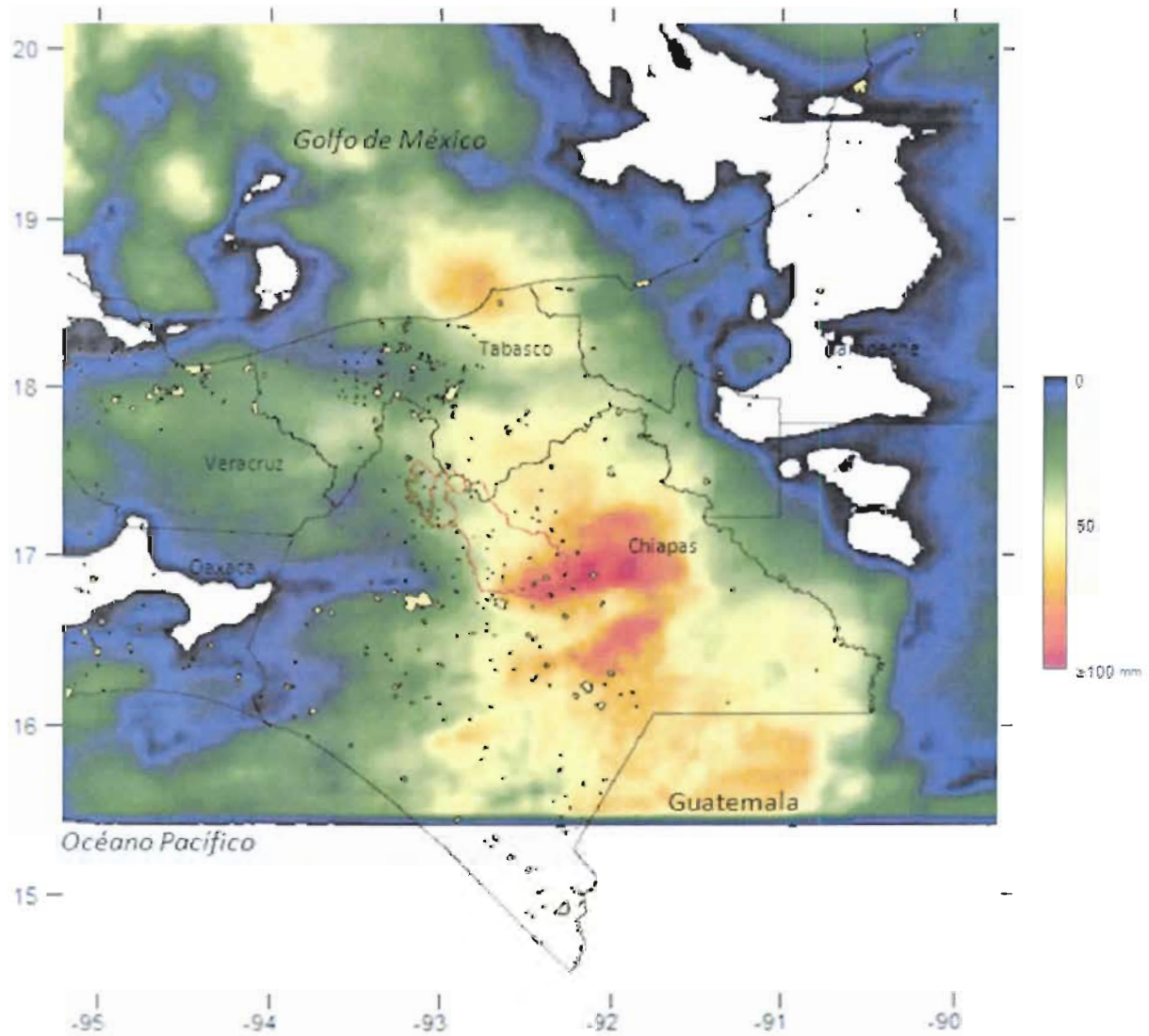


Figura 2.a.16 Lluvia del 8 de agosto de 2012

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

En las figura 2.a.17 a 2.a.27 se muestran las estimaciones de la lluvia del mes de agosto, además del cálculo de las láminas diarias y máximas horarias en las cuencas analizadas. Las lluvias del 7 al 12 de agosto se deben a la presencia del huracán Ernesto.

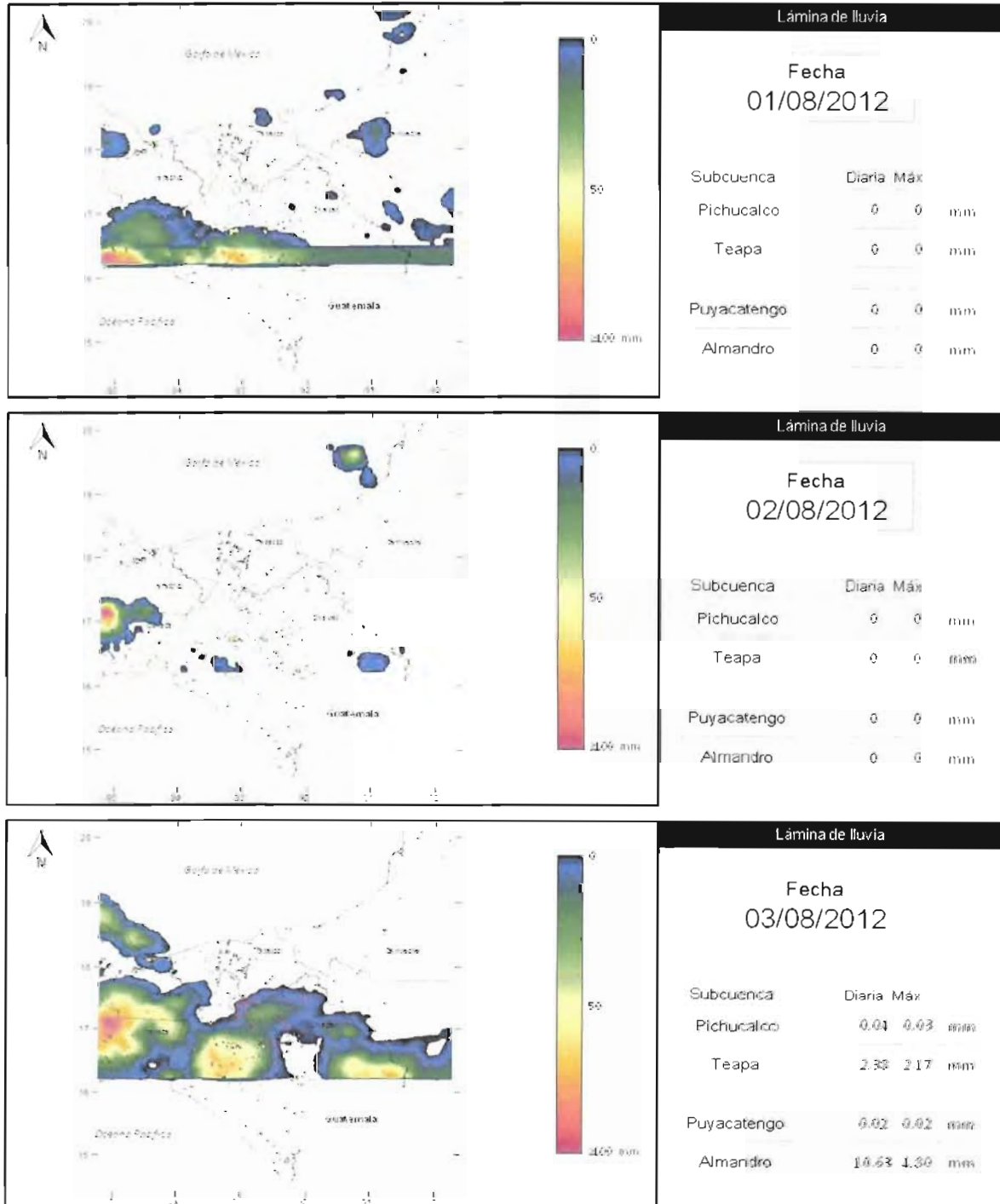


Figura 2.a.17 Estimación de la lluvia diaria de los días 1 a 3 de agosto

VF

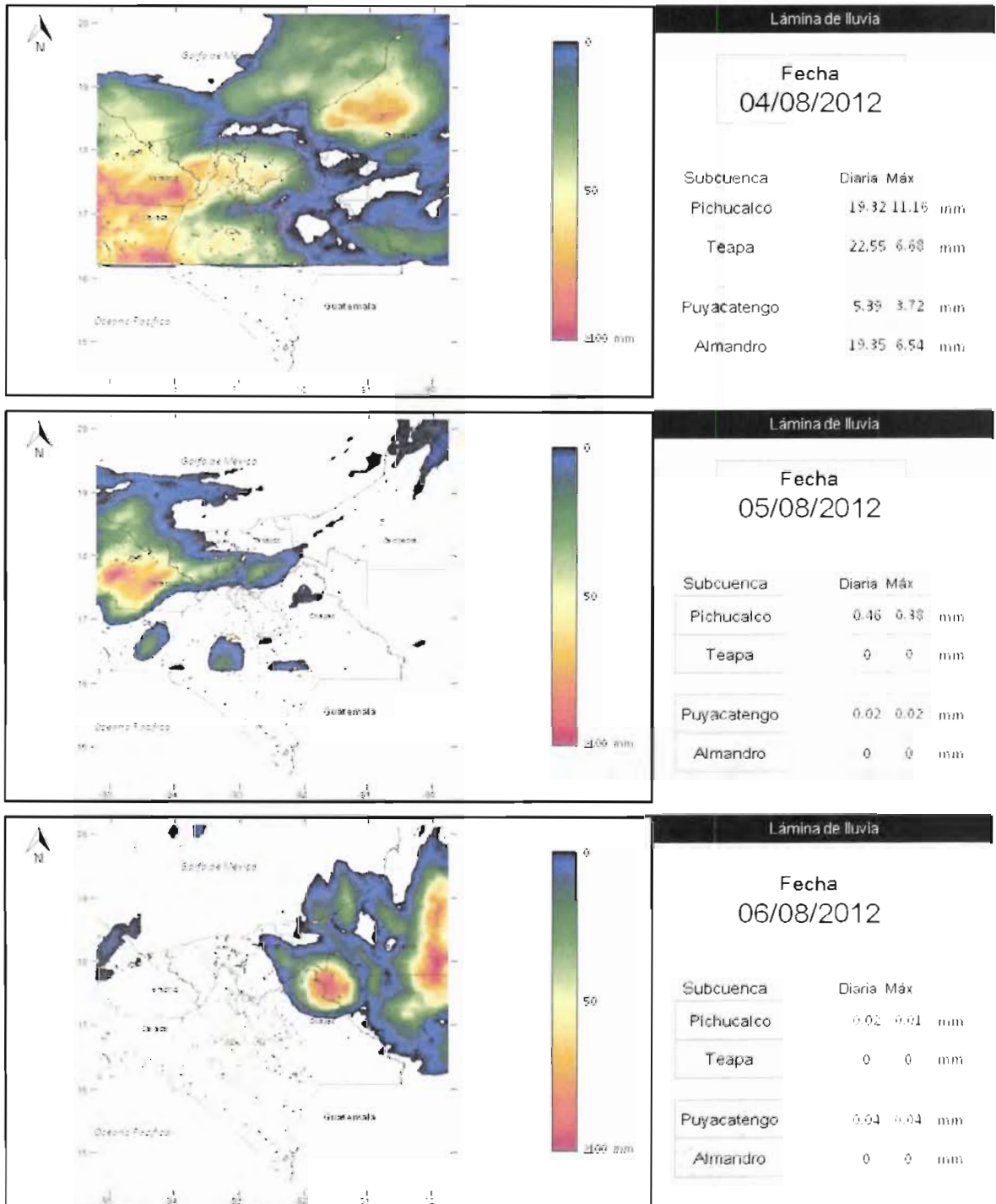


Figura 2.a.18 Estimación de la lluvia diaria de los días 4 a 6 de agosto

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

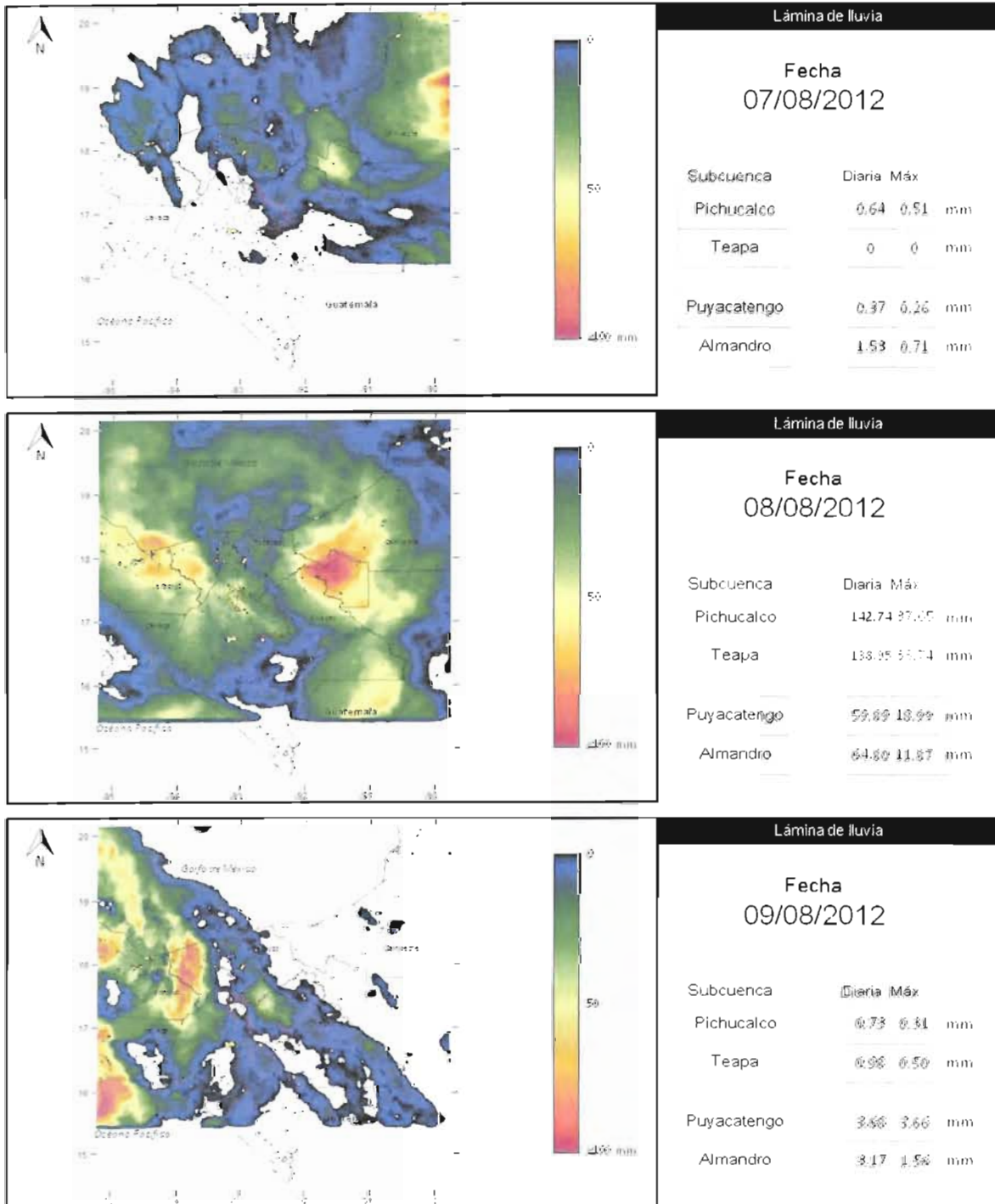


Figura 2.a.19 Estimación de la lluvia diaria de los días 7 a 9 de agosto

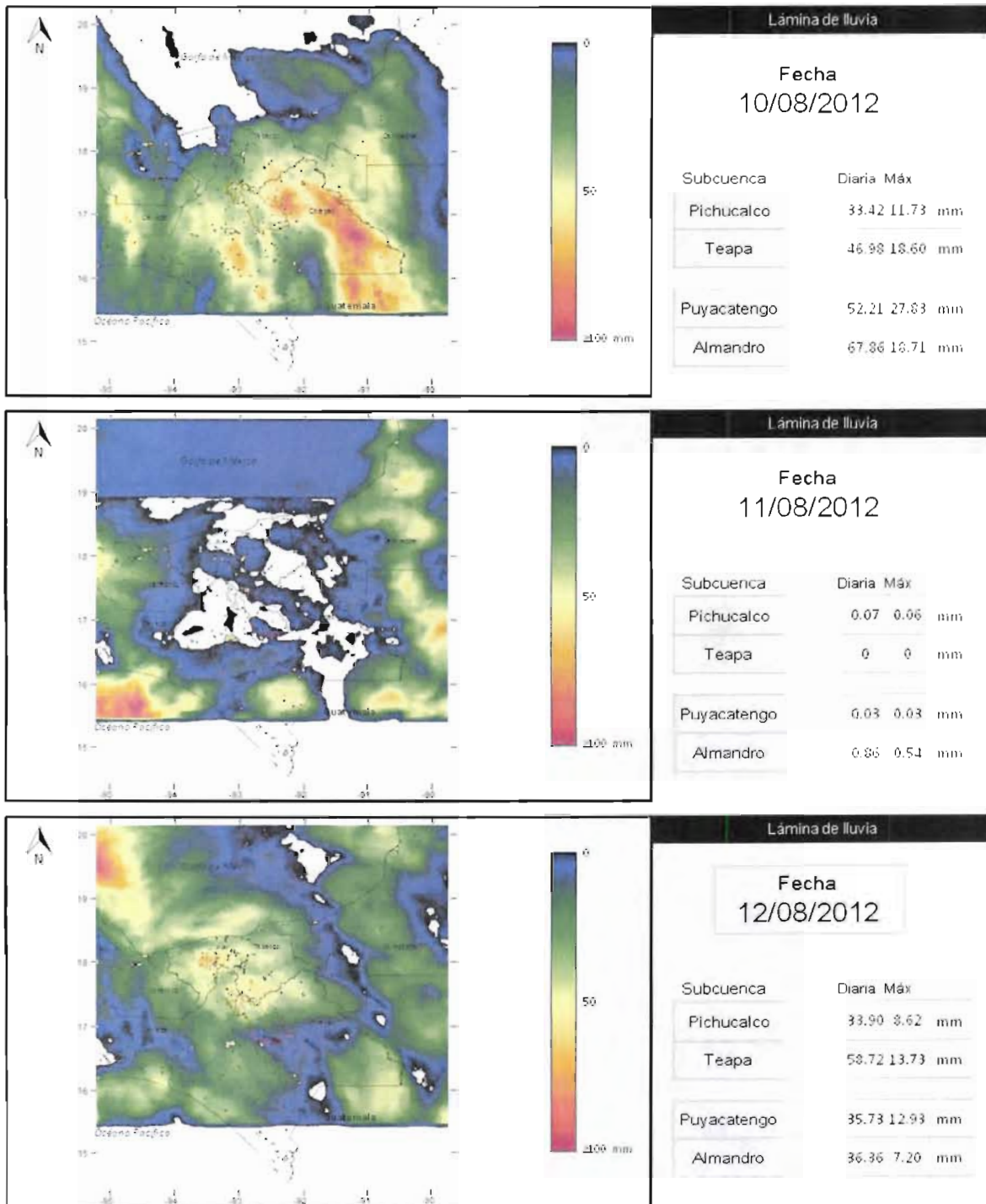


Figura 2.a.20 Estimación de la lluvia diaria de los días 10 a 12 de agosto

VJF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

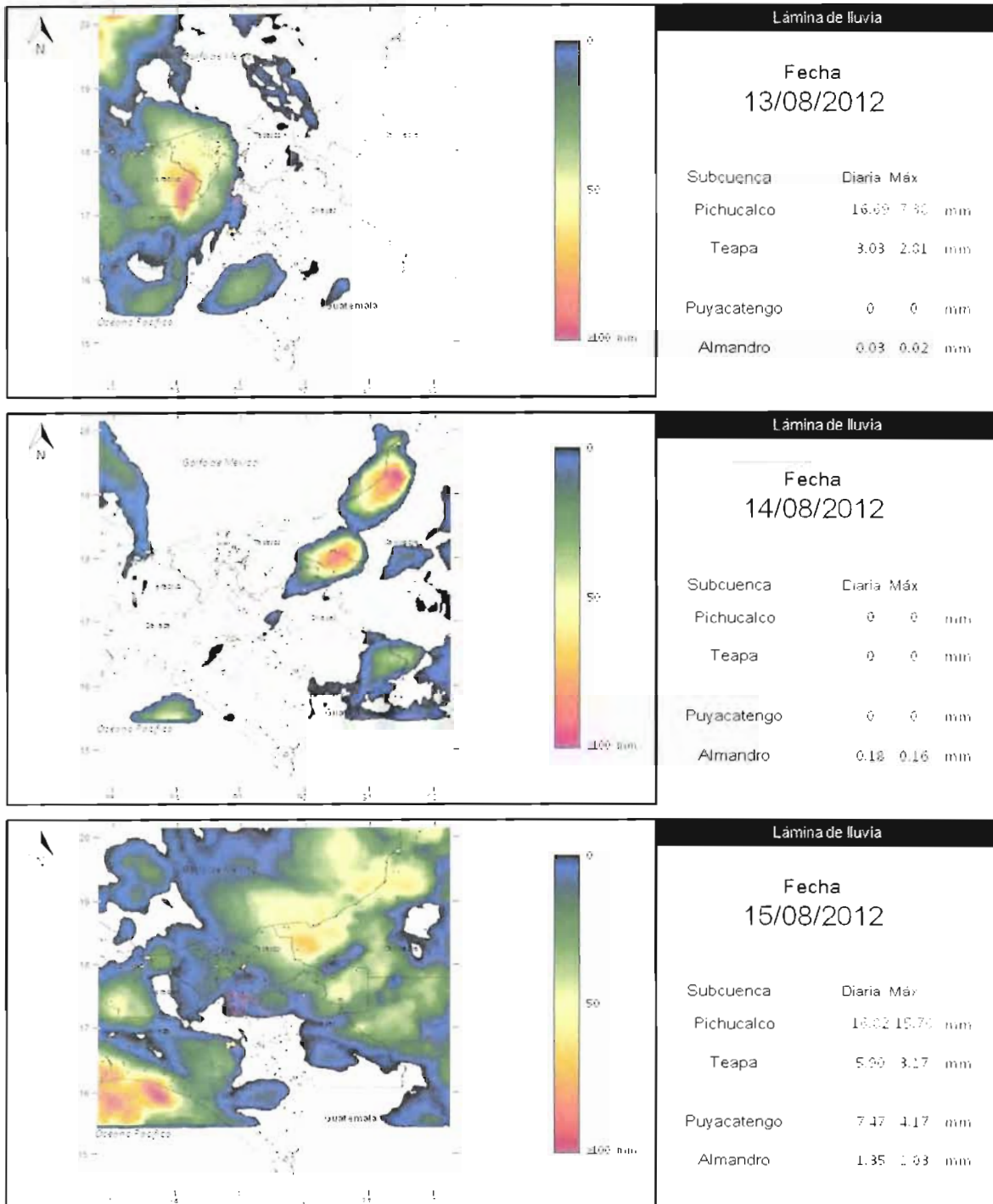


Figura 2.a.21 Estimación de la lluvia diaria de los días 13 a 15 de agosto

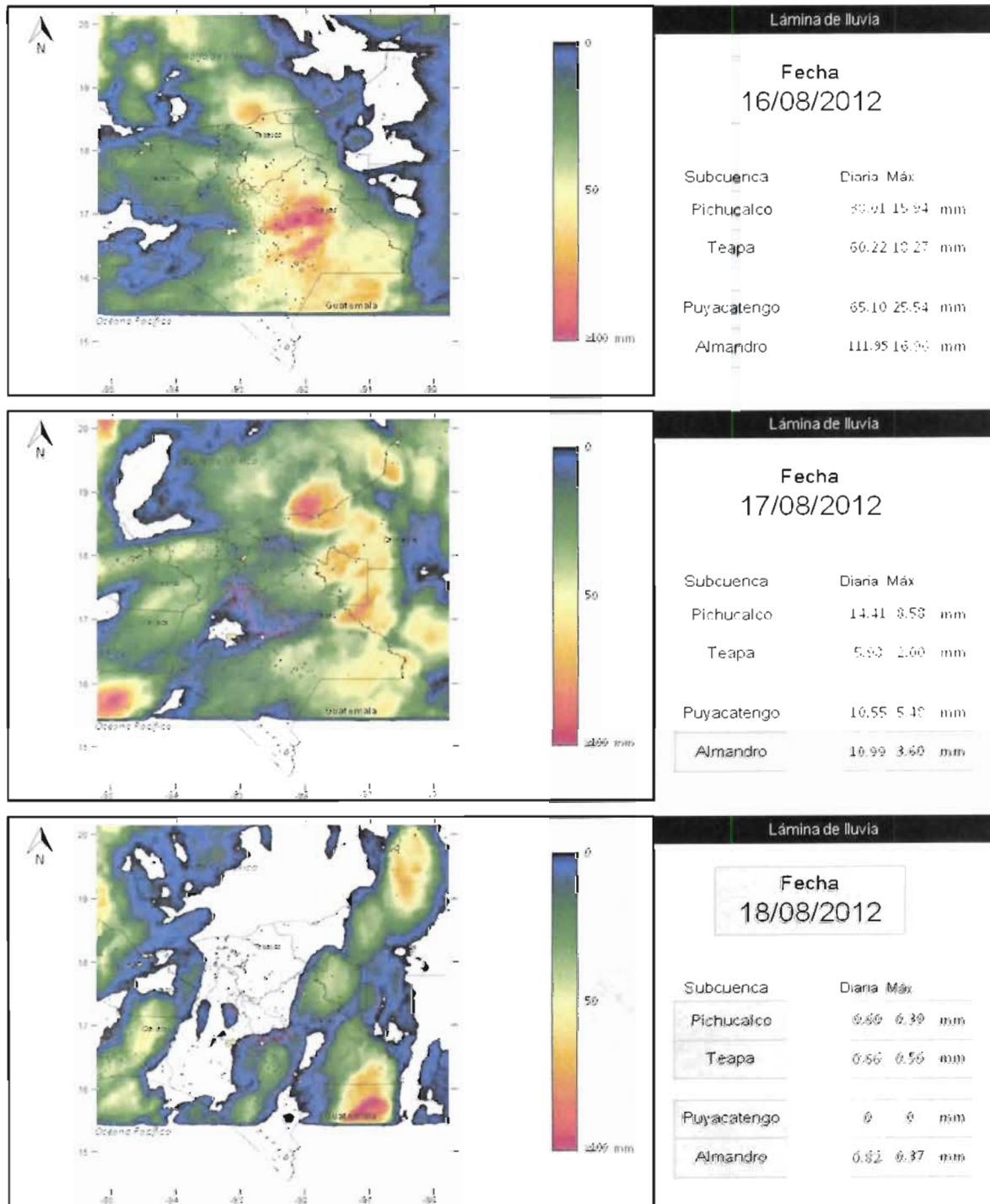


Figura 2.a.22 Estimación de la lluvia diaria de los días 16 a 18 de agosto

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

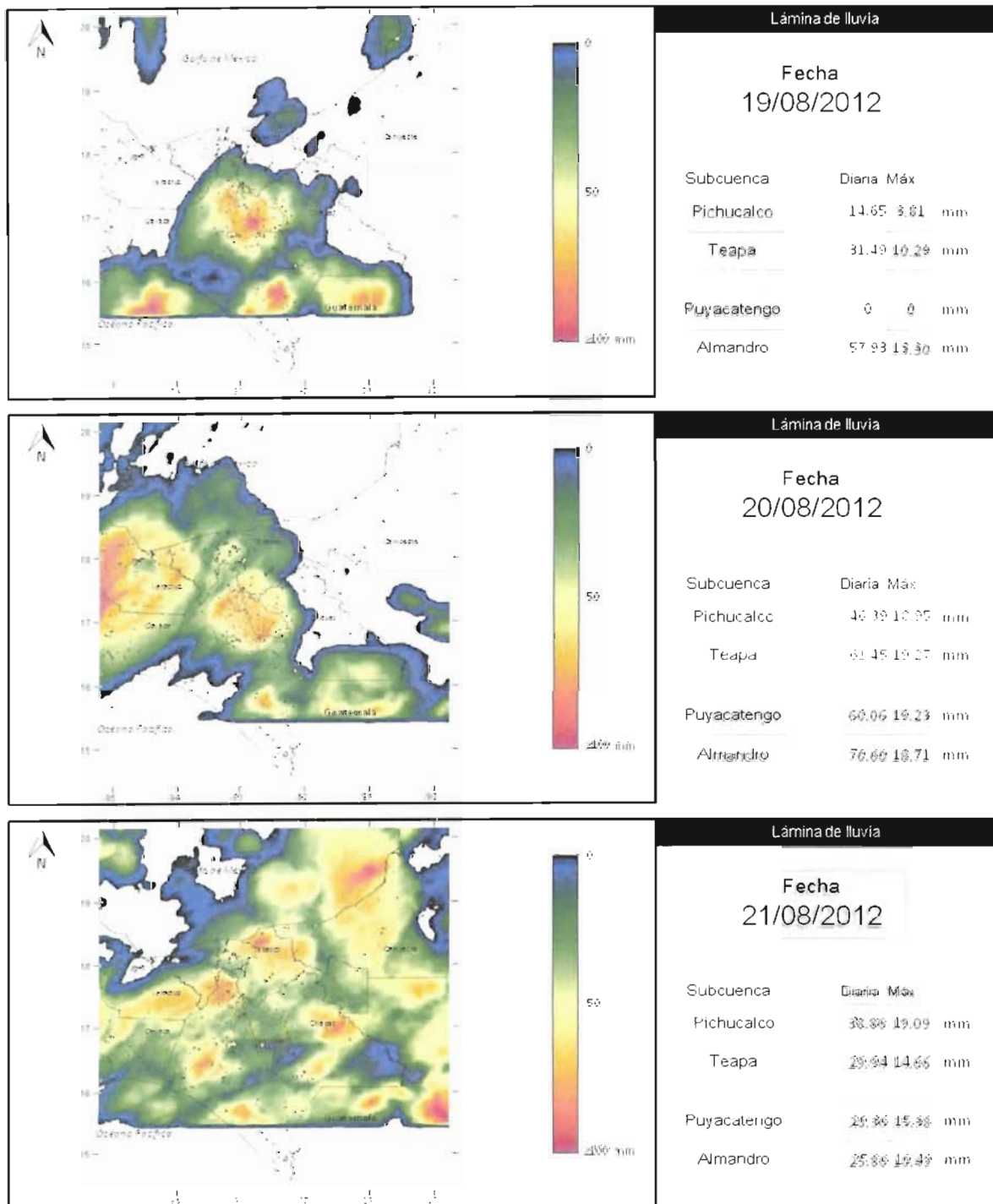


Figura 2.a.23 Estimación de la lluvia diaria de los días 19 a 21 de agosto

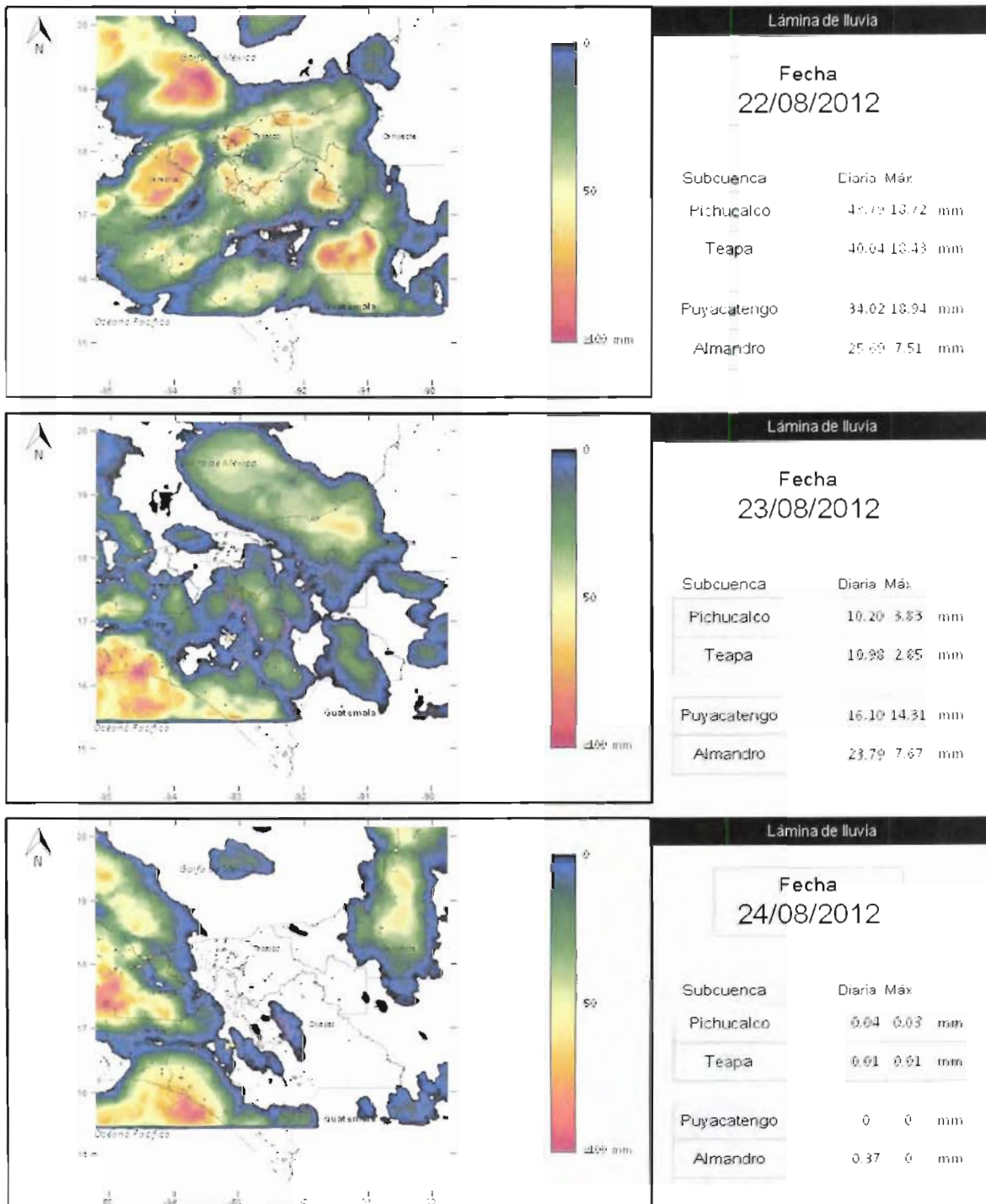


Figura 2.a.24 Estimación de la lluvia diaria de los días 22 a 24 de agosto

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

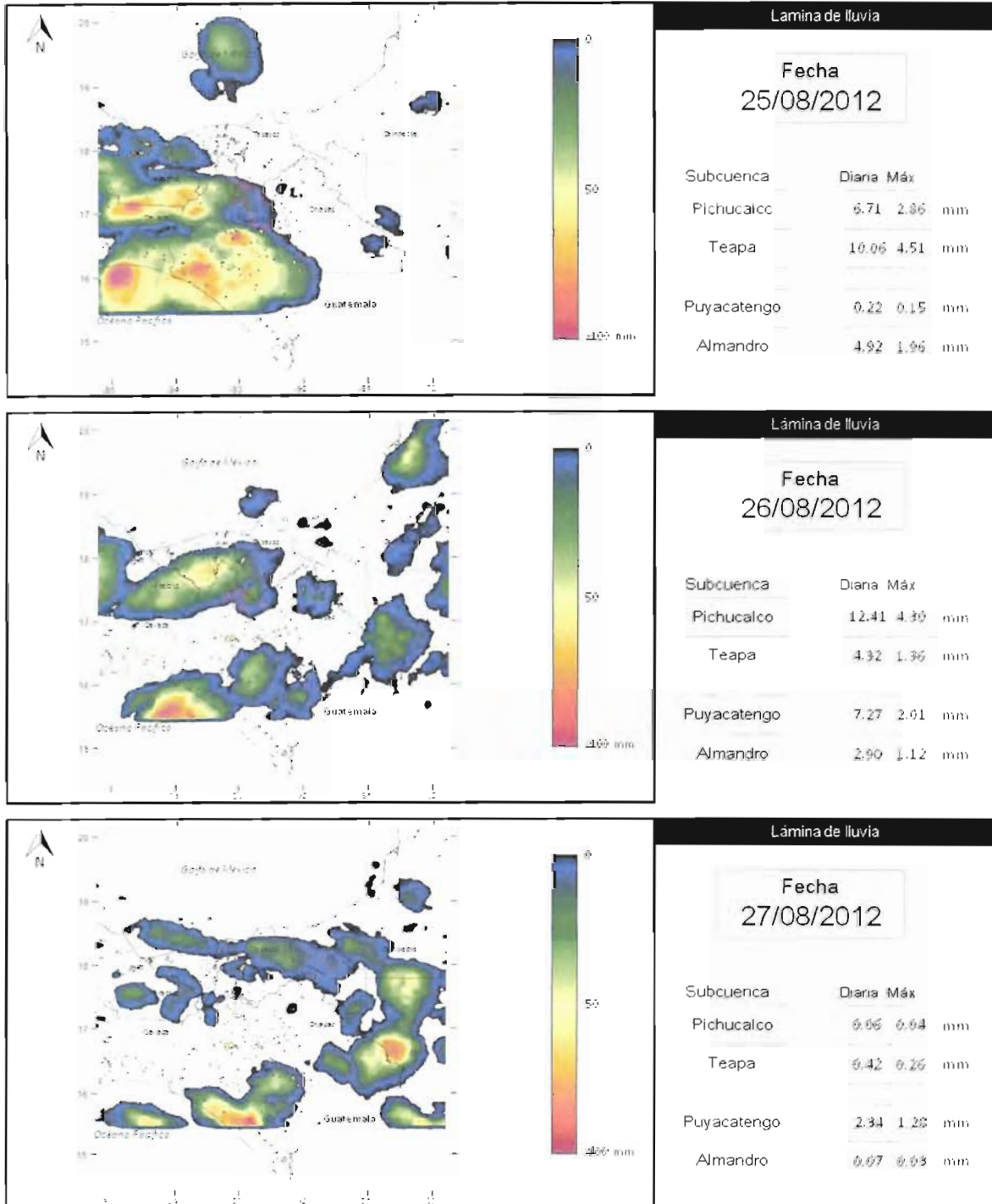


Figura 2.a.25 Estimación de la lluvia diaria de los días 25 a 27 de agosto

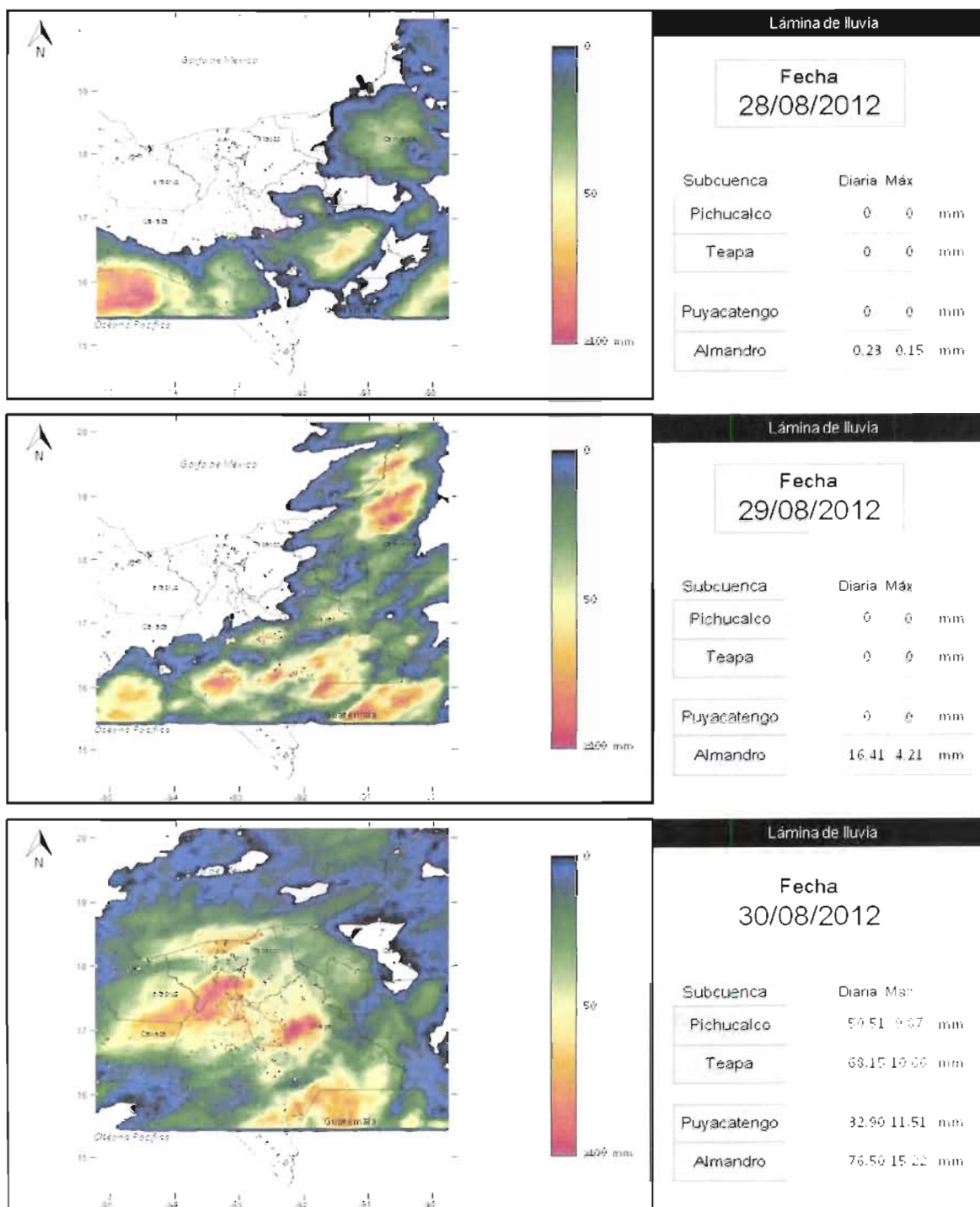


Figura 2.a.26 Estimación de la lluvia diaria de los días 28 a 30 de agosto

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

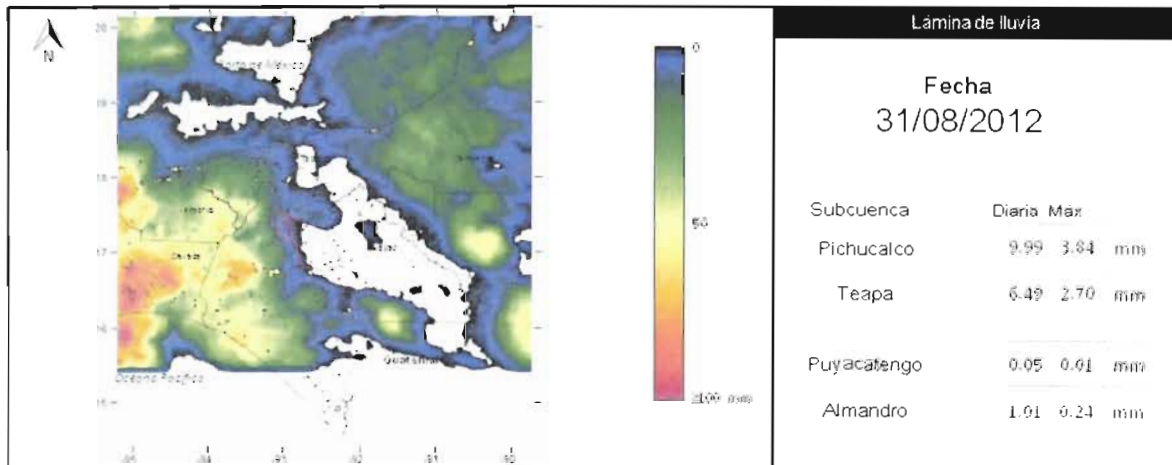


Figura 2.a.27 Estimación de la lluvia diaria del 31 de agosto

En la Tabla 2.a.8 se muestran las láminas diarias promedio del mes de agosto para las cuencas: Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa.

En la figura 2.a.28 se presenta la gráfica de las láminas diarias calculadas para el mes de agosto, se observa la presencia de láminas importantes los días: 8, 16, 20 y 30.

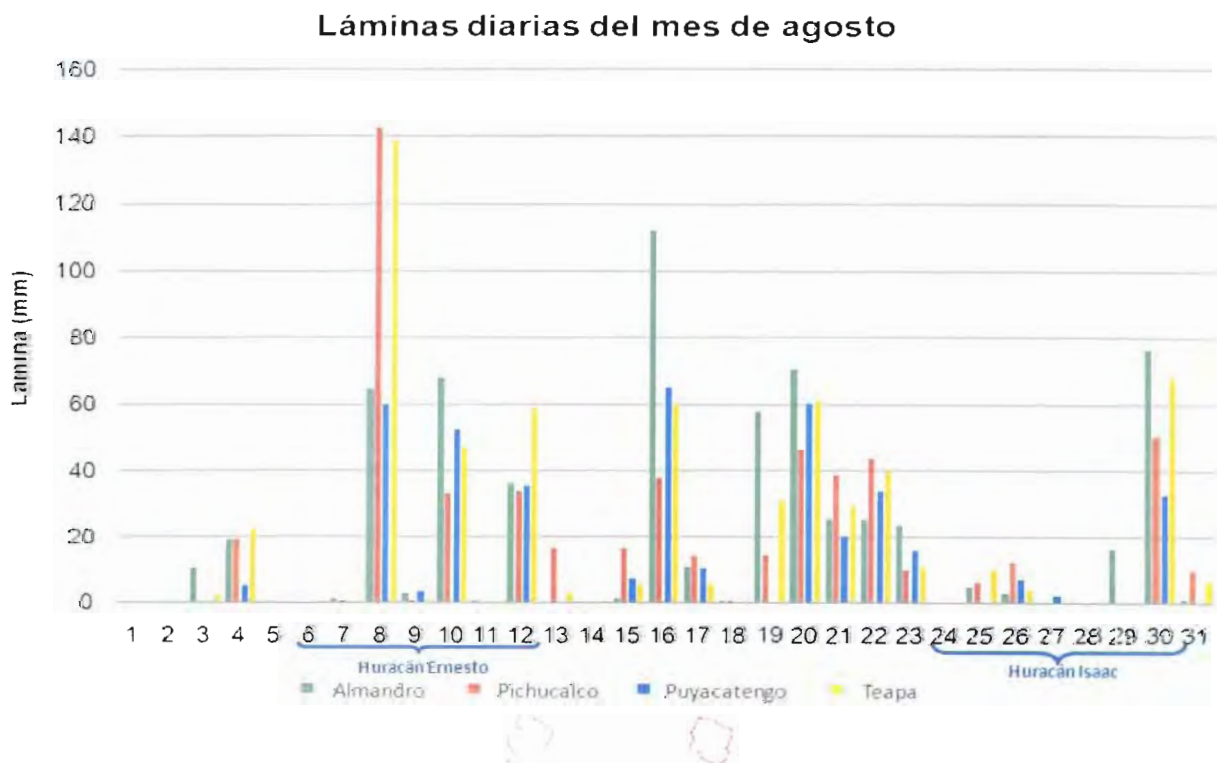


Figura 2.a.28 Hietograma del mes de agosto de 2012

Tabla 2.a.8 Láminas diarias (mm) del mes de agosto

Año	Mes	Día	Almandro	Pichucalco	Puyacatengo	Teapa
2012	8	1	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	8	2	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	8	3	10.6	0.0	0.0	2.4
2012	8	4	19.4	19.3	5.4	22.5
2012	8	5	0.0	0.5	0.0	0.0
2012	8	6	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	8	7	1.5	0.6	0.4	0.0
2012	8	8	64.8	142.7	59.9	138.9
2012	8	9	3.2	0.7	3.7	1.0
2012	8	10	67.9	33.4	52.2	47.0
2012	8	11	0.9	0.1	0.0	0.0
2012	8	12	36.4	33.9	35.7	58.7
2012	8	13	0.0	16.7	0.0	3.0
2012	8	14	0.2	0.0	0.0	0.0
2012	8	15	1.4	16.8	7.5	5.9
2012	8	16	111.9	38.0	65.1	60.2
2012	8	17	11.0	14.4	10.5	6.0
2012	8	18	0.8	0.6	0.0	0.7
2012	8	19	57.9	14.6	0.0	31.5
2012	8	20	70.6	46.4	60.1	61.5
2012	8	21	25.9	38.9	20.4	29.9
2012	8	22	25.7	43.8	34.0	40.0
2012	8	23	23.8	10.2	16.1	11.0
2012	8	24	0.4	0.0	0.0	0.0
2012	8	25	4.9	6.7	0.2	10.1
2012	8	26	2.9	12.4	7.3	4.3
2012	8	27	0.1	0.1	2.3	0.4
2012	8	28	0.2	0.0	0.0	0.0
2012	8	29	16.4	0.0	0.0	0.0
2012	8	30	76.5	50.5	32.9	68.2
2012	8	31	1.0	10.0	0.0	6.5

En la tabla 2.a.9 se muestra el resultado del análisis preliminar a los datos de las estaciones automáticas, hasta la información contenida en el mes de agosto.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO.
(MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Tabla 2.a.9 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta agosto de 2012

Identificador	Número total de datos	Número de datos validos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
TAB01	38970	38964	0	15	2235	0
TAB02	56436	56158	0	265	4886730	87
TAB03	59706	59681	0	370	9719698	163
TAB04	43104	43081	0	26	2651	0
TAB05	58921	58905	0	29	412703	7
TAB06	59359	59355	0	20	2918	0
TAB07	9438	9438	0	18	414	0
TAB08	13158	13145	0	11	610	0
TAB09	0	0	0	0	0	0
TAB10	0	0	0	0	0	0
TAB11	58356	58320	0	19	2319	0
TAB12	61026	61026	0	19	4597	0
TAB13	0	0	0	0	0	0
TAB14	61494	61494	0	9	696	0
TAB15	0	0	0	0	0	0
TAB16	61500	61500	0	20	1820	0
TAB17	23701	23603	0	602	1086	0
TAB18	61476	61448	0	17	3114	0
TAB19	61506	61506	0	20	1635	0
TAB20	61248	52730	0	49	45093	1
TAB21	51888	51852	0	3087	74239	1
TAB22	60660	60660	0	160	2076	0
TAB23	41460	41392	0	16	1035	0
TAB24	3105	3105	0	35	14245	5
TAB25	6035	6035	0	46	17844	3
TAB26	6316	6316	0	45	1097	0
TAB27	0	0	0	0	0	0
TAB28	6134	6134	0	57	1676	0
TAB29	6295	6295	0	39	1196	0
TAB30	6096	6096	0	65	2957	0
TAB31	2574	2574	0	60	1080	0
TAB32	5163	5163	0	180	11875	2
TAB33	5998	5998	0	57	1617	0
TAB34	5908	5908	0	39	16417	3
TAB35	6259	6259	0	70	4291	1
TAB36	6182	6182	0	45	1722	0
TAB37	6195	6195	0	55	1441	0
TAB38	6135	6135	0	63	2198	0
TAB39	5639	5639	0	44	2335	0
TAB40	6197	6197	0	57	1503	0
TAB41	6111	6111	0	53	2125	0
TAB42	5837	5837	0	44	1837	0
TAB43	6054	6054	0	77	2817	0
TAB44	6099	6099	0	41	1482	0
TAB45	6189	6189	0	51	2079	0
TAB46	6146	6146	0	52	9074	1
TAB47	5923	5923	0	66	1778	0
TAB48	5714	5714	0	85	1580	0
TAB49	3508	3508	0	55	7883	2
TAB50	6199	6199	0	51	2034	0
TAB51	6238	6238	0	39	14743	2
TAB52	3368	3368	0	22	472	0
TAB53	5897	5897	0	69	16521	3
TAB54	6157	6157	0	39	1882	0

VF

Lluvias del mes de septiembre

En la figura 2.a.29 se presenta la distribución de la lluvia ocurrida el día 17 de septiembre, donde la lluvia se concentró en el territorio tabasqueño. En el Anexo 2.6 se muestra el seguimiento horario de los eventos principales.

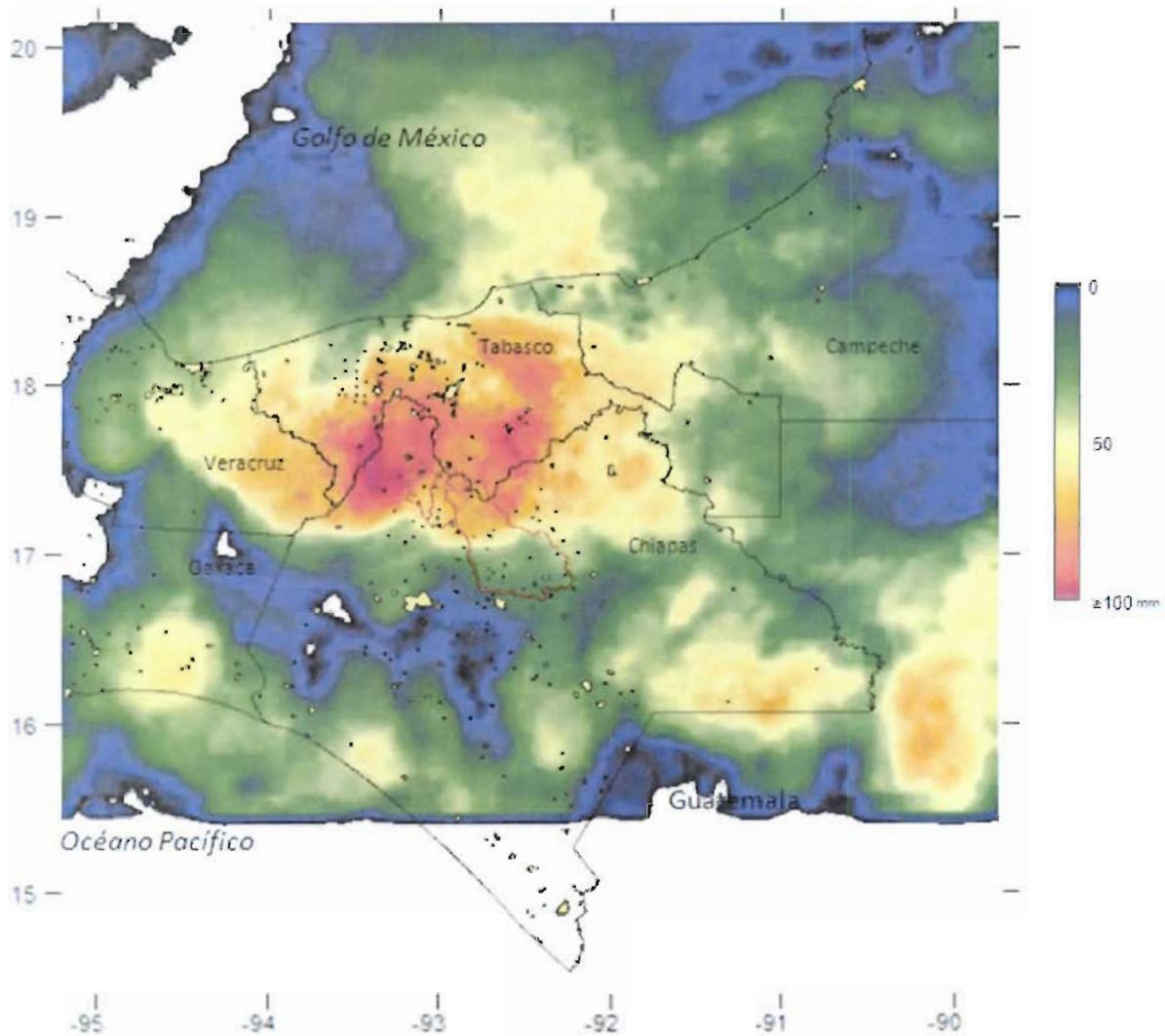


Figura 2.a.29 Lluvia del 17 de septiembre de 2012

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

En las figura 2.a.30 a 2.a.37 se muestran las estimaciones de la lluvia del mes de septiembre, además del cálculo de las láminas diarias y máximas horarias en las cuencas analizadas. El huracán Isaac no tocó al territorio mexicano, por lo que se observan núcleos aislados los días 1 al 5 de septiembre.

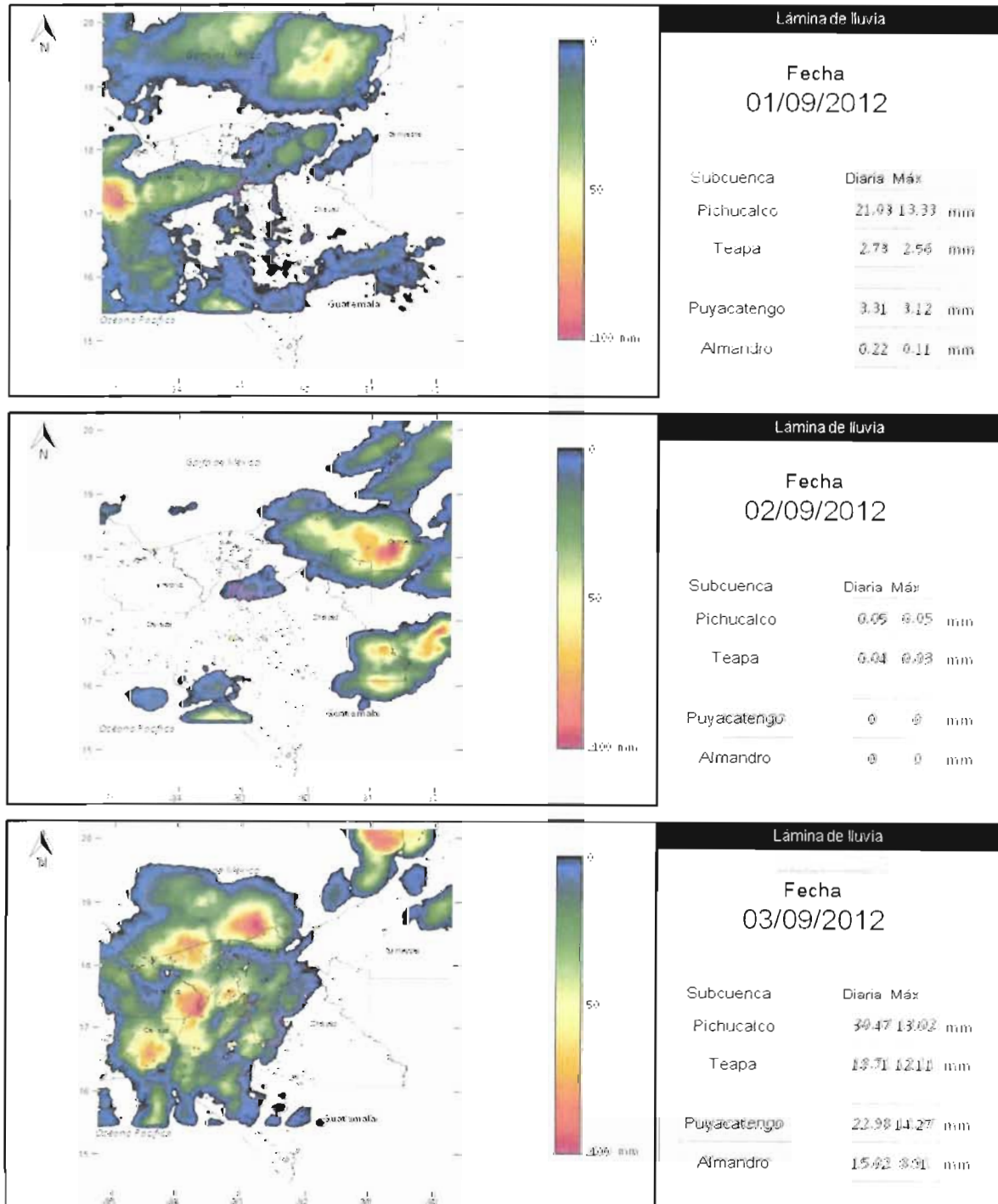


Figura 2.a.30 Estimación de la lluvia diaria de los días 1 a 3 de septiembre

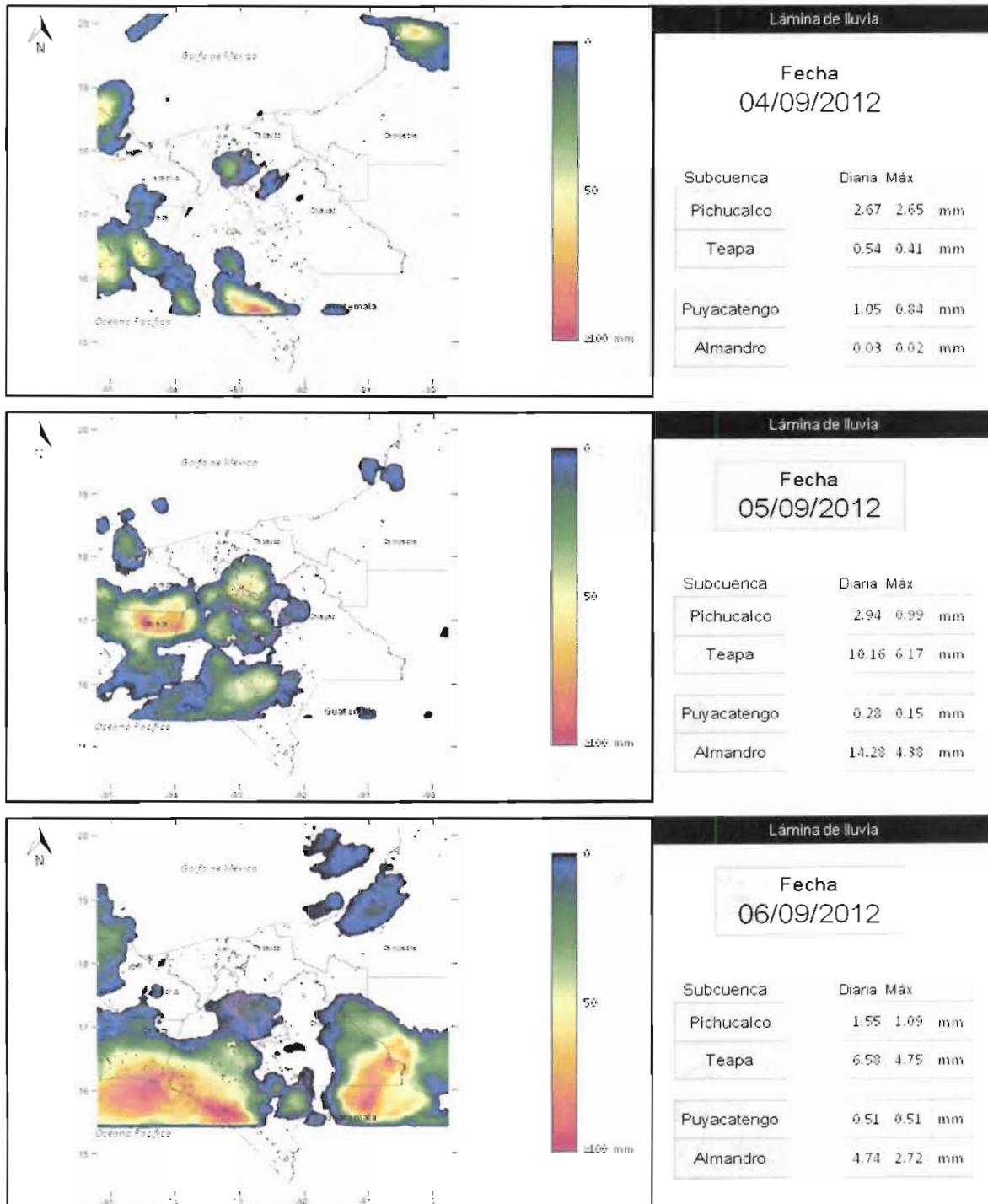


Figura 2.a.31 Estimación de la lluvia diaria de los días 4 a 6 de septiembre

VJF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

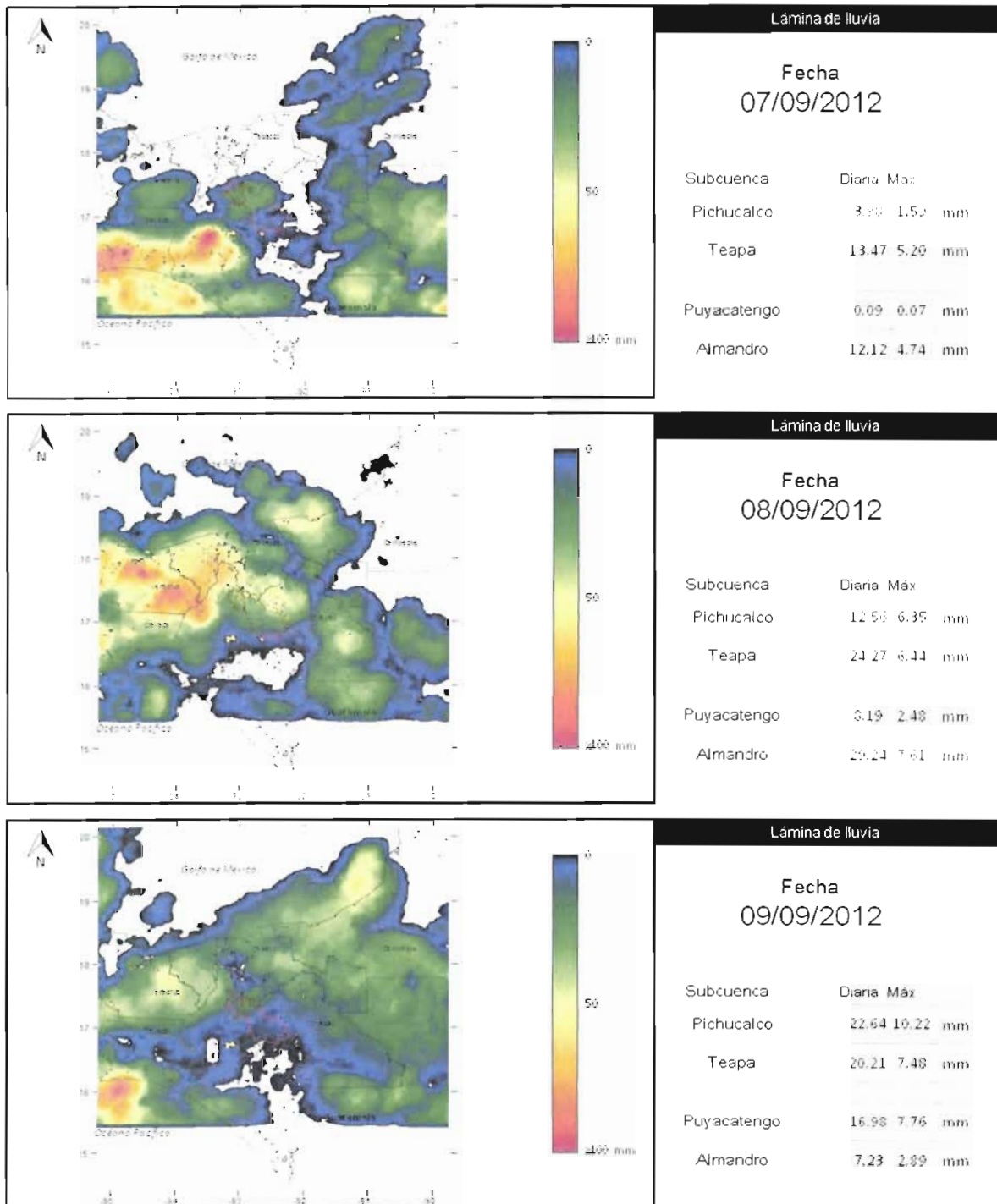


Figura 2.a.32 Estimación de la lluvia diaria de los días 7 a 9 de septiembre

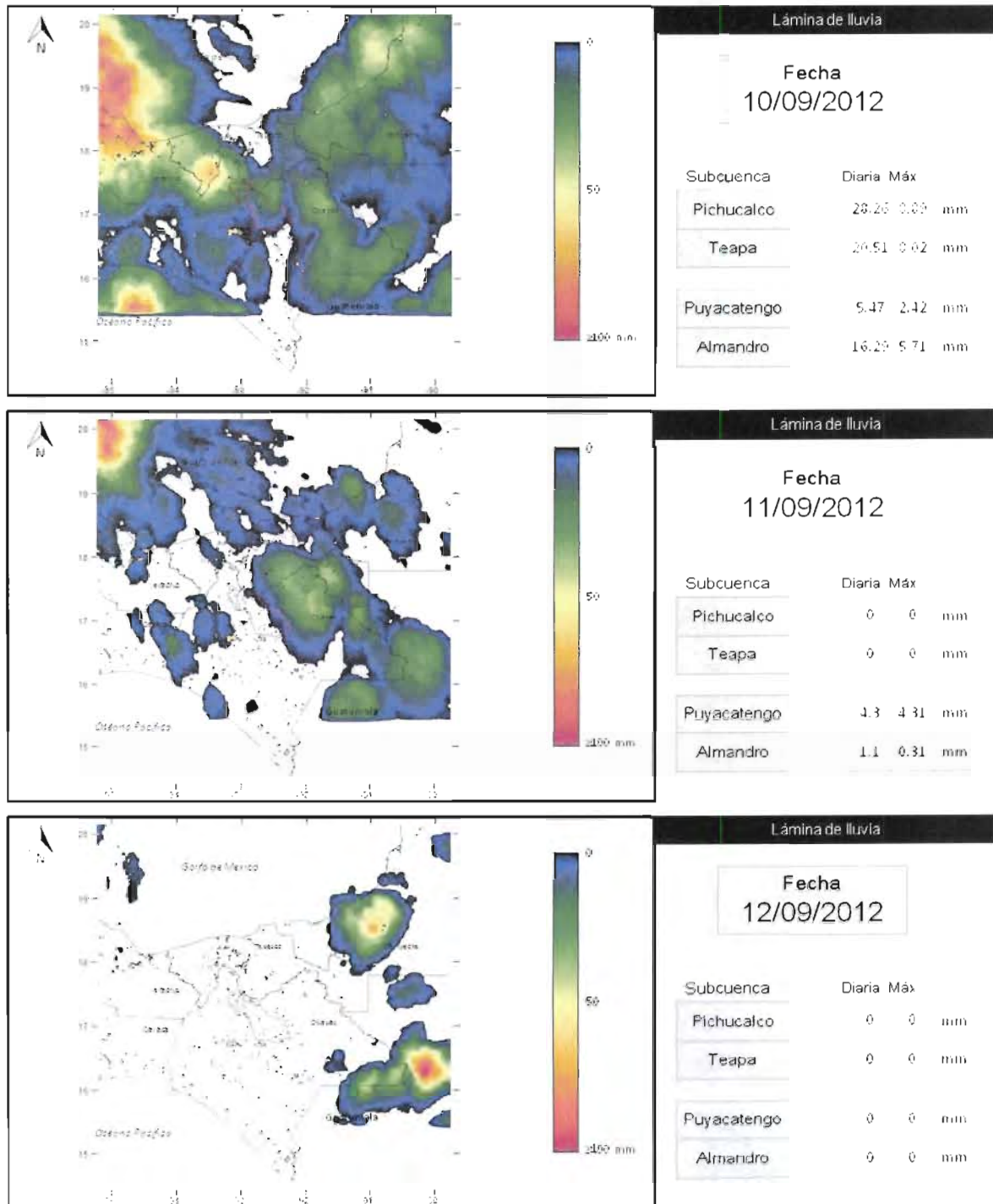


Figura 2.a.33 Estimación de la lluvia diaria de los días 10 a 12 de septiembre

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

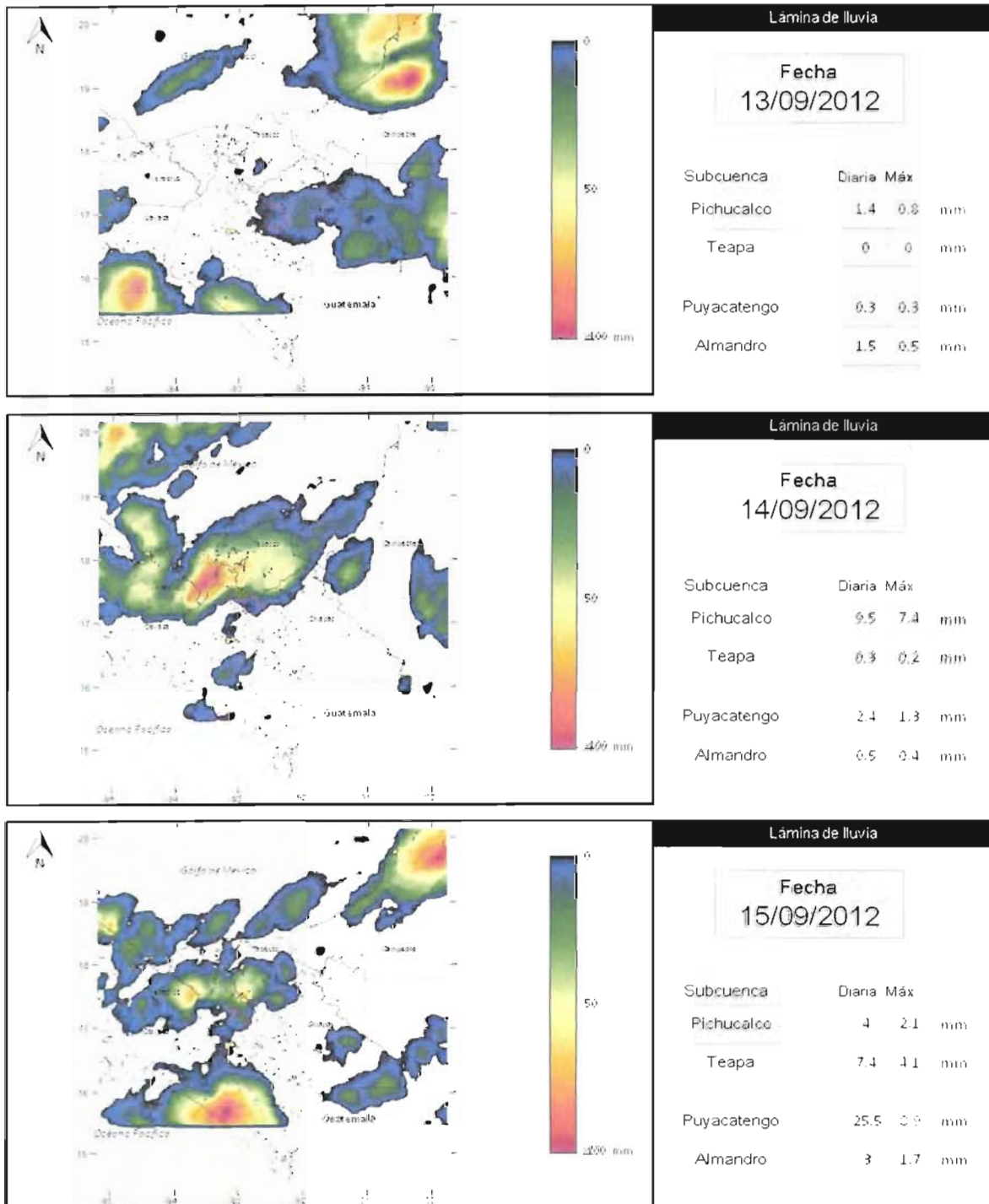


Figura 2.a.34 Estimación de la lluvia diaria de los días 13 a 15 de septiembre

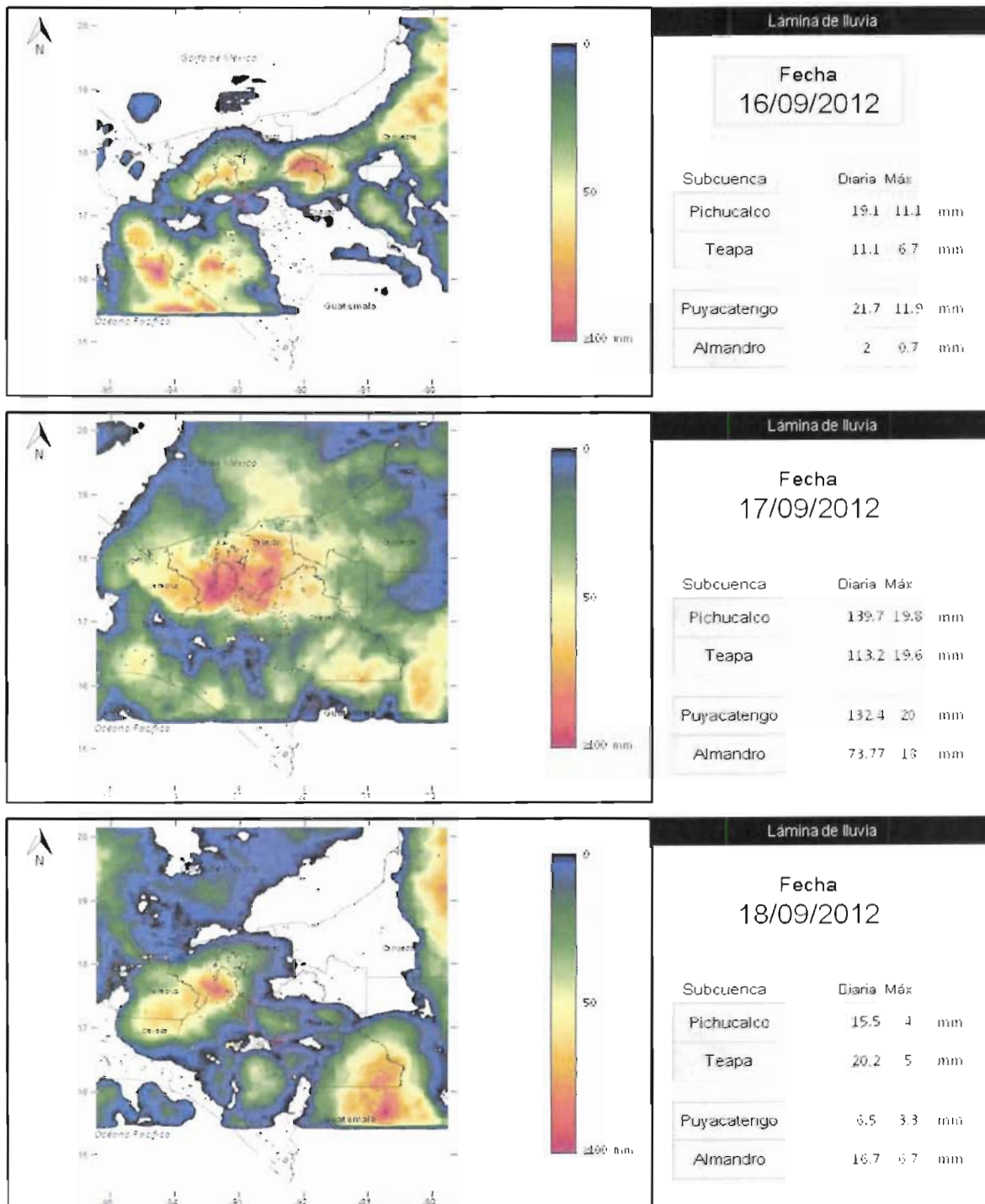


Figura 2.a.35 Estimación de la lluvia diaria de los días 16 a 18 de septiembre

VA

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

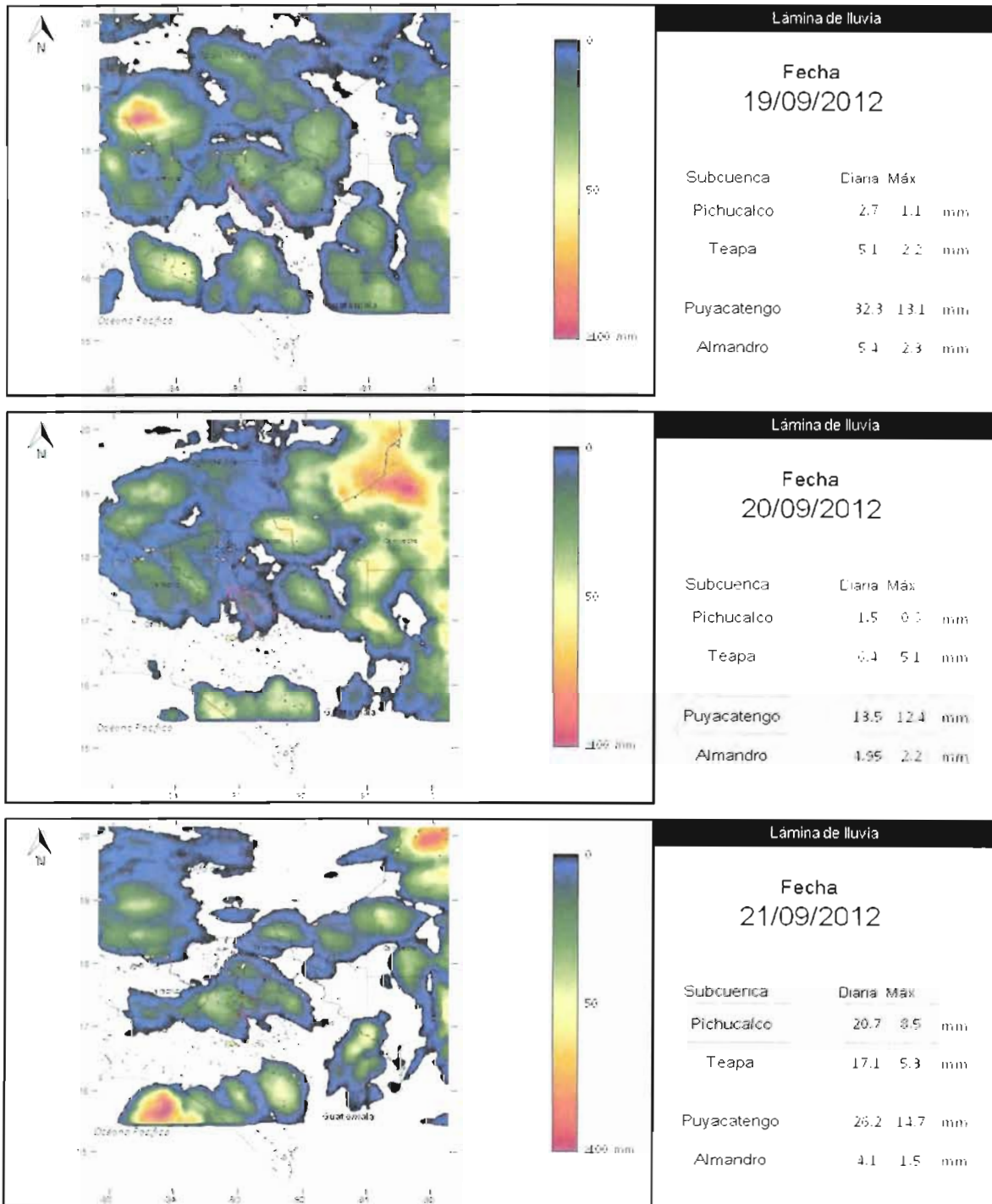


Figura 2.a.36 Estimación de la lluvia diaria de los días 19 a 21 de septiembre

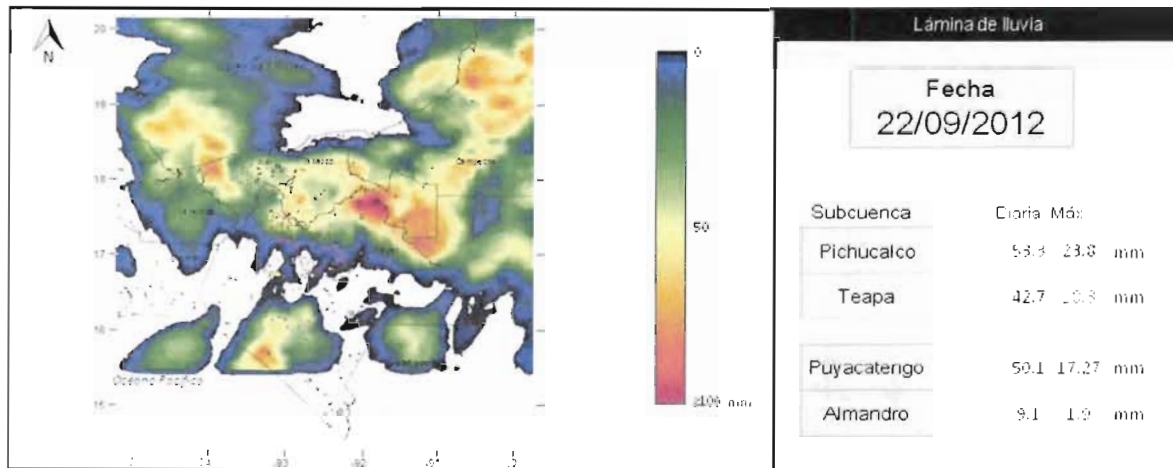


Figura 2.a.37 Estimación de la lluvia diaria del 22 de septiembre

El día 23 de octubre dejó de operar momentaneamente el satélite Goes 13, proveedor de las imágenes de temperatura del las nuves, el satélite entro nuevamente en operación el 18 de octubre, por lo que la estimación de la lluvia siguió realizandose sin problemas.

En la Tabla 2.a.10, se muestran las láminas diarias promedio del mes de septiembre para las cuecas: Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa. En la figura 2.a.38 se presenta la gráfica de las láminas diarias calculadas para el mes de agosto, se observa la presencia de láminas importantes los días: 17 y 22.

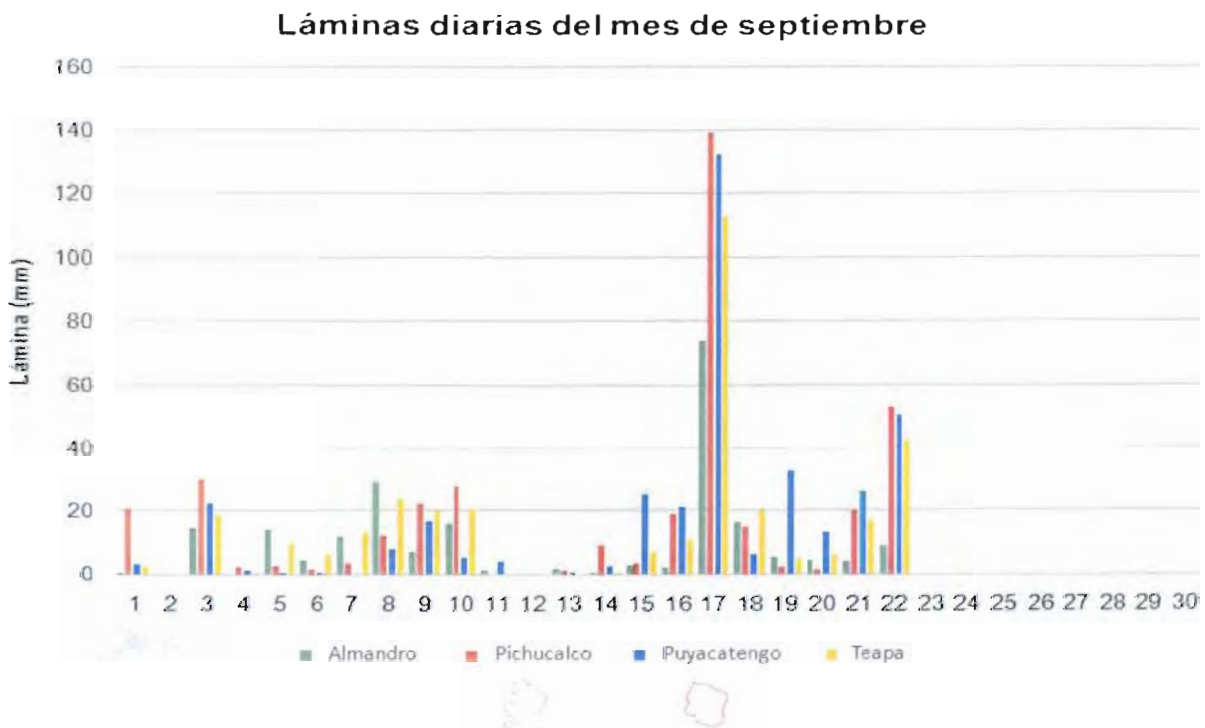


Figura 2.a.38 Hietograma del mes de septiembre de 2012

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Tabla 2.a.10 Láminas diarias (mm) del mes de septiembre

Año	Mes	Día	Aljandro	Pichucalco	Puyacatengo	Teapa
2012	9	1	0.2	21.0	3.3	2.7
2012	9	2	0.0	0.1	0.0	0.0
2012	9	3	15.0	30.5	23.0	18.7
2012	9	4	0.0	2.7	1.0	0.5
2012	9	5	14.3	2.9	0.3	10.2
2012	9	6	4.7	1.5	0.5	6.6
2012	9	7	12.1	4.0	0.1	13.5
2012	9	8	29.2	12.6	8.2	24.3
2012	9	9	7.2	22.6	17.0	20.2
2012	9	10	16.3	28.3	5.5	20.5
2012	9	11	1.1	0.0	4.3	0.0
2012	9	12	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	13	1.5	1.4	0.3	0.0
2012	9	14	0.5	9.5	2.3	0.3
2012	9	15	3.0	4.0	25.5	7.4
2012	9	16	2.0	19.1	21.6	11.1
2012	9	17	73.8	139.7	132.4	113.2
2012	9	18	16.7	15.4	6.5	20.2
2012	9	19	5.4	2.7	32.8	5.1
2012	9	20	4.9	1.5	13.5	6.4
2012	9	21	4.1	20.7	26.2	17.1
2012	9	22	9.0	53.3	50.7	42.7
2012	9	23	0.1	0.0	0.0	0.0
2012	9	24	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	25	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	26	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	27	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	28	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	29	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	30	0.0	0.0	0.0	0.0

En la tabla 2.a.11 se presentan los resultados del análisis de la información registrada de lluvias en las estaciones automáticas.

Tabla 2.a.11 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta septiembre de 2012

Identificador	Número total de datos	Número de datos validos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
TAB01	42294	42288	0	15	2534	0
TAB02	59784	59506	0	265	4887176	82
TAB03	63036	63011	0	370	9719803	154
TAB04	46458	46435	0	358	5116	0
TAB05	62239	62223	0	29	412766	7
TAB06	62689	62685	0	20	3101	0
TAB07	9438	9438	0	18	414	0
TAB08	13158	13145	0	11	610	0
TAB09	0	0	0	0	0	0
TAB10	0	0	0	0	0	0
TAB11	61770	61734	0	19	2559	0
TAB12	64446	64446	0	19	4743	0
TAB13	0	0	0	0	0	0
TAB14	64944	64944	0	9	774	0
TAB15	0	0	0	0	0	0
TAB16	64944	64944	0	20	1820	0
TAB17	24205	24107	0	602	1086	0
TAB18	64926	64898	0	17	3440	0
TAB19	64950	64940	0	20	1645	0
TAB20	64290	55761	0	49	45368	1
TAB21	55278	55242	0	3087	74239	1
TAB22	64050	64050	0	160	2156	0
TAB23	44016	43933	0	2477	3631	0
TAB24	3277	3277	0	35	14283	4
TAB25	6224	6224	0	46	17873	3
TAB26	6528	6528	0	45	1116	0
TAB27	0	0	0	0	0	0
TAB28	6317	6317	0	57	1689	0
TAB29	6371	6371	0	81	1279	0
TAB30	6284	6284	0	65	2974	0
TAB31	2574	2574	0	60	1080	0
TAB32	5163	5163	0	180	11875	2
TAB33	6178	6178	0	57	-6442	-1
TAB34	6039	6039	0	39	16498	3
TAB35	6455	6455	0	70	4334	1
TAB36	6387	6387	0	45	1768	0
TAB37	6380	6380	0	55	1531	0
TAB38	6339	6339	0	63	2291	0
TAB39	5804	5804	0	44	2446	0
TAB40	6403	6403	0	57	1547	0
TAB41	6305	6305	0	53	2184	0
TAB42	6009	6009	0	44	1920	0
TAB43	6224	6224	0	77	2851	0
TAB44	6288	6288	0	41	1520	0
TAB45	6382	6382	0	51	2102	0
TAB46	6326	6326	0	52	9119	1
TAB47	6110	6110	0	66	1848	0
TAB48	5883	5883	0	85	1650	0
TAB49	3674	3674	0	55	7994	2
TAB50	6390	6390	0	51	2076	0
TAB51	6425	6425	0	39	14790	2
TAB52	3544	3544	0	22	515	0
TAB53	6066	6066	0	69	16589	3
TAB54	6357	6357	0	39	1891	0

b) CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS

Las subcuencas se distinguen de otros rasgos característicos de la superficie terrestre, por un conjunto de propiedades que determinan su identidad. Ésta se desprende de la descripción y el análisis de los diversos elementos físicos y bióticos que conforman la estructura espacial y funcional de las subcuencas que interactúan en el tiempo. Cada una se encuentra estructurada mediante relaciones entre objetos o componentes naturales que la constituyen, su combinación y distribución. Se establece y se define mediante la relación existente entre la roca (materiales), la disposición y morfología del relieve, y el drenaje superficial que se analiza espacialmente, a través de sus propiedades geométricas y de valor numérico (morfografía y morfometría). Todo esto con el fin de describir las diferentes características de la superficie de una subcuenca hidrográfica.

Generales del estado de Tabasco

El estado de Tabasco se divide en dos regiones hidrológicas (RH), la No. 29 o Coatzacoalcos y la No. 30 o Grijalva-Usumacinta definidas por los principales ríos que las forman. La zona de estudio se encuentra en la RH No.30 la cual comprende el 75.2% de la superficie del estado y se subdivide en tres cuencas: *Río Usumacinta* (29.2%), *Laguna de Términos* (4.5%) y *Río Grijalva-Villahermosa* (41.5%), en esta última se ubica la subregión La Sierra.

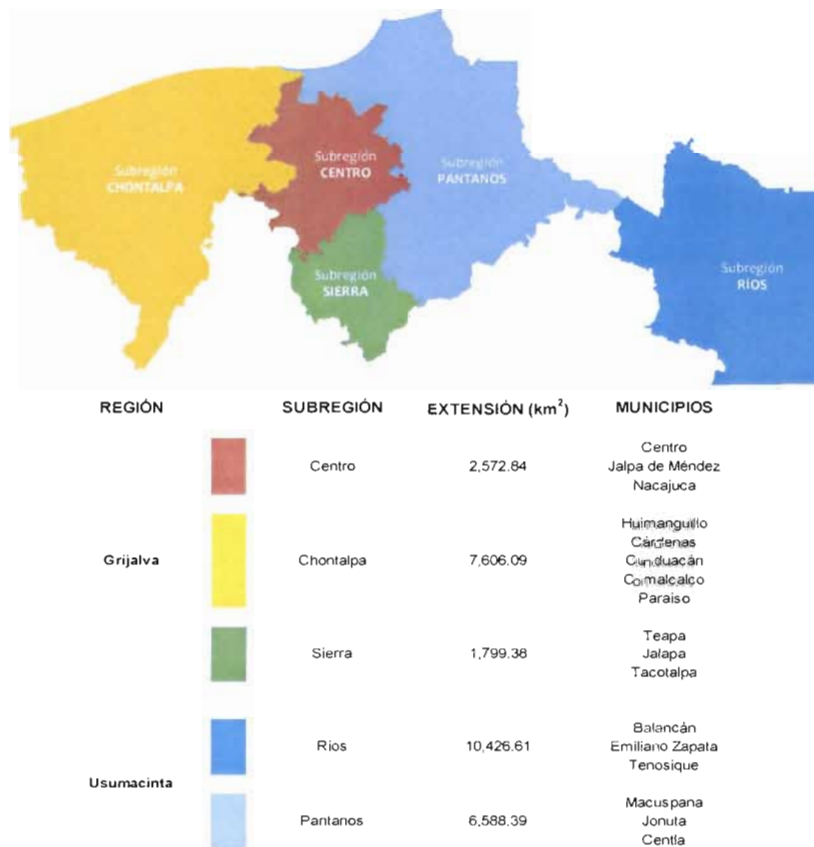


Figura 2.b. 1 Subregiones del estado de Tabasco.
FUENTE: (Centro logístico regional del sureste de México, 2009)

Las subregiones de la Sierra y Centro son las zonas que abarcan la zona de estudio dentro del estado de Tabasco, sin embargo solo una parte de las subcuencas Pichucalco, Teapa, Puyacatengo y Almandro se encuentran en la subregión de la Sierra, ya que la mayor parte se ubica dentro del estado de Chiapas, aquí se encuentran elevaciones mayores a 20 msnm.

b.1) Uso y tipo de Suelo del estado de Tabasco

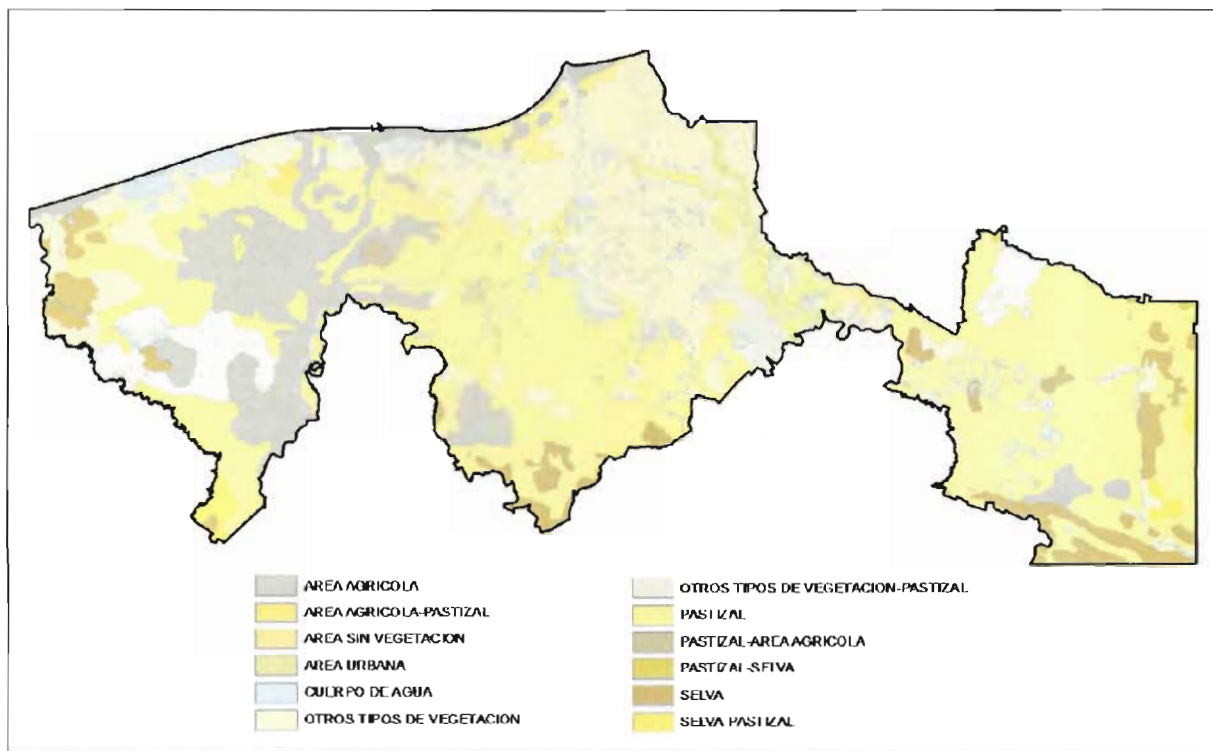


Figura 2.b 2 Uso de suelo en el estado de Tabasco
FUENTE: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010

De acuerdo con la cartografía de suelos, en la Tabla 2.b.1, se presentan los principales usos de los suelos del estado de Tabasco, se observa que las áreas de pastizales son las predominantes en el Estado. La agricultura (de temporal y permanente) ocupan el 15.59%, asimismo, la vegetación (selva y secundaria) representan en el estado el 8.26% de la superficie total. Cabe señalar, que en los últimos años, muchos pastizales se han deforestado como parte del abandono del campo; por otra parte, la vegetación hidrófila y los manglares (otros tipos de vegetación) ocupan el 19.57% observándose un decremento a comparación del año 2000 donde existía un 29.17% de la superficie en el estado en las zonas de humedales o bajiales, los cuerpos de aguas ocupan el 5.23% y la zona urbana ha ido creciendo, ocupando actualmente más de 120 km².

VJF

Tabla 2.b. 1 Uso de los suelos en Tabasco
FUENTE: México en Cifras, INEGI 2010

Uso actual	Superficie	
	km ²	%
Agricultura	3 856.26	15.59
Pastizal	12 548.53	50.73
Bosque	14.65	0.06
Selva	839.41	3.39
Otros tipos de vegetación	4 842.29	19.57
Vegetación secundaria	1 205.59	4.87
Áreas sin vegetación	14.27	0.06
Áreas urbanas	123.49	0.50
Cuerpos de agua	1 293.32	5.23
TOTAL	24 737.81	100.0
SUPERFICIE ESTATAL	24 737.81	---

En la Figura 2.b.3, se presenta la distribución por **tipo de suelo** del estado de Tabasco, las cuales se resumen en la Tabla 2.b.2, mostrando la superficie ocupada por cada tipo de suelo.

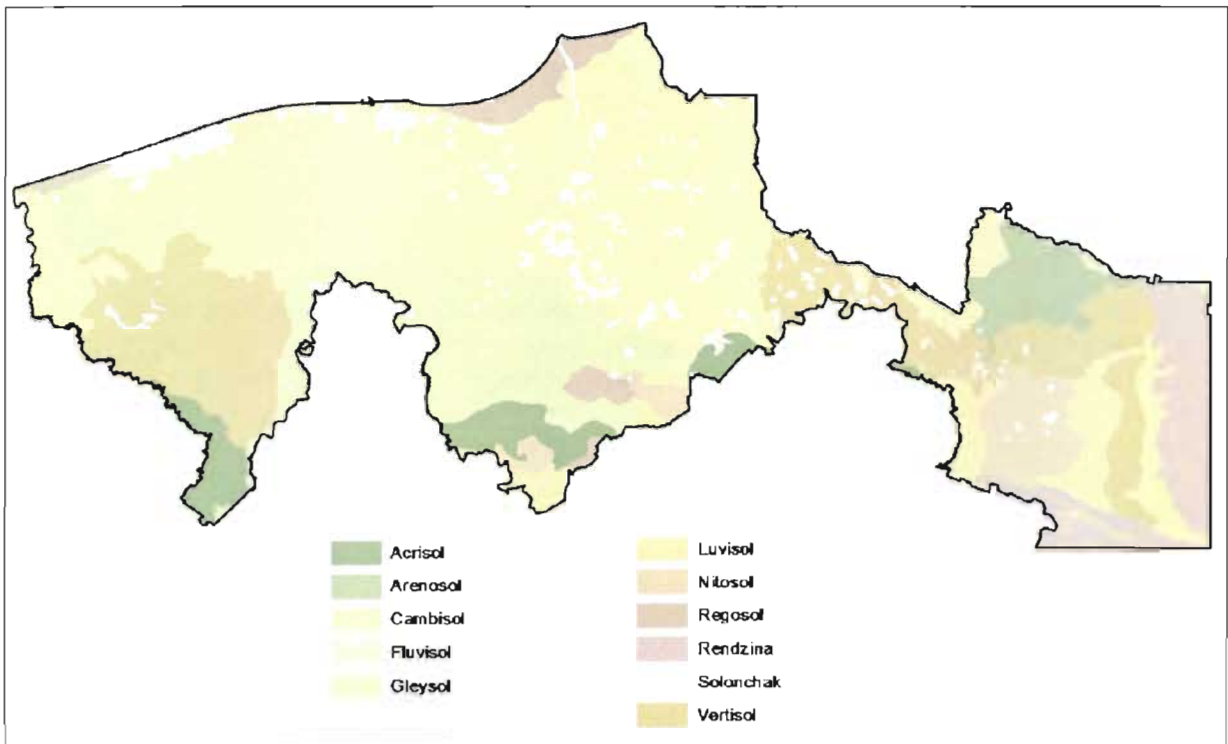


Figura 2.b 3 Tipo de suelo en el estado de Tabasco
FUENTE: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010

Tabla 2.b. 2 Tipo y uso de suelo en el estado de Tabasco.

Tipo de suelo	Uso actual	Superficie	
		ha	%
Histosoles (HS)	Pastizal	373.14	1.51
Leptosoles (LP)	Selva alta perennifolia, pastizales	1 908.36	7.71
Vertisoles (VR)	Pastizal, caña de azúcar, cacao	4 925.02	19.90
LP+VR		561.19	2.27
Fluvisoles (FL)	Cacao, plátano, papaya, cítricos	2 721.89	10.99
Solonchaks (SC)	Manglar, zacates y coco	507.33	2.05
Gleysoles (GL)	Vegetación hidrófila, selvas medianas hidrófitas y pastizales	2 111.76	8.53
GL+HS		3 410.78	13.78
Plintosoles (PT)	Pastizales	795.28	3.21
Arenosoles (AR)	Coco y pastizal	644.49	2.60
Ferralsoles (FR)	Pastizal, sandía, maíz y sorgo	157.13	0.63
Acrisoles (AC)	Pastizal, cítricos, piña	2 022.51	8.17
Luisoles (LV)	Pastizal y cítricos	2 751.09	11.12
Cambisoles (CM;)	Caña de azúcar, cacao, plátano y pastizal	406.64	1.64
TOTAL		23 296.66	94.11

Histosoles (HS)

Se distribuyen en las partes bajas del Estado, encontrándose en algunos casos asociado a las subunidades Gleysoles éutricos y Gleysoles mólicos, por lo que se establece que pueden ocupar una mayor superficie. Los Histosoles son diferentes a los demás suelos por sus características y propiedades, ya que son los únicos suelos orgánicos de la clasificación. Presentan contenidos nutrimentales extremadamente altos.

Gleysoles (GL)

Formados por materiales no consolidados, presentan propiedades gléyicas, estos suelos son derivados de sedimentos aluviales del Reciente y aluviones del Pleistoceno, presentan buenos a altos contenidos de nutrimentos y materia orgánica, texturas francas en la superficie y arcillo limosa en el horizonte C, pH ácido; son suelos profundos y con manto freático cercano a la superficie la mayor parte del año.

Asociaciones Gleysol-Histosol (GL+HS)

Las subunidades de suelos Gleysol-Histosol fueron asociadas porque ambas mostraron características similares, y se diferenciaron por el tipo de horizonte A de diagnóstico. Las características de estos suelos ya fueron descritas anteriormente; son una mezcla de aluviones recientes y sedimentos lacustres y palustres.

b.1.1 Uso y tipo de suelo en las subcuencas del río de la Sierra

Existe una gran cantidad de suelo como el luvisol, acrisol, gleysol, vertisol, cambisol, regosol, etc., por otra parte en las subcuencas del río de la Sierra predominan en gran parte los luvisol y acrisol (ver Figura 2.b.4).

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

El acrisol es un tipo de suelo poco permeable, también se presentan los gleysoles, los cuales presentan textura arcillosas con excesos de humedad por un drenaje deficiente.

En la región central y en las márgenes de los ríos se tienen fluvisoles, los cuales son suelos francos y de buena fertilidad. Al sur se presentan los acrisoles que son suelos arenosos, ácidos y de baja fertilidad. El patrón de drenado de los suelos se caracteriza por seguir de manera general una dirección de sur a norte.

La mayoría de la superficie está clasificada como suelos luvisoles, presentando problemas con el exceso de humedad por drenaje deficiente, además en la parte alta de la zona de estudio se presenta una cobertura muy alta con suelos acrisoles y gleysoles estos tipos de suelos son muy poco permeables por lo que ocasiona mayores escurrimientos.

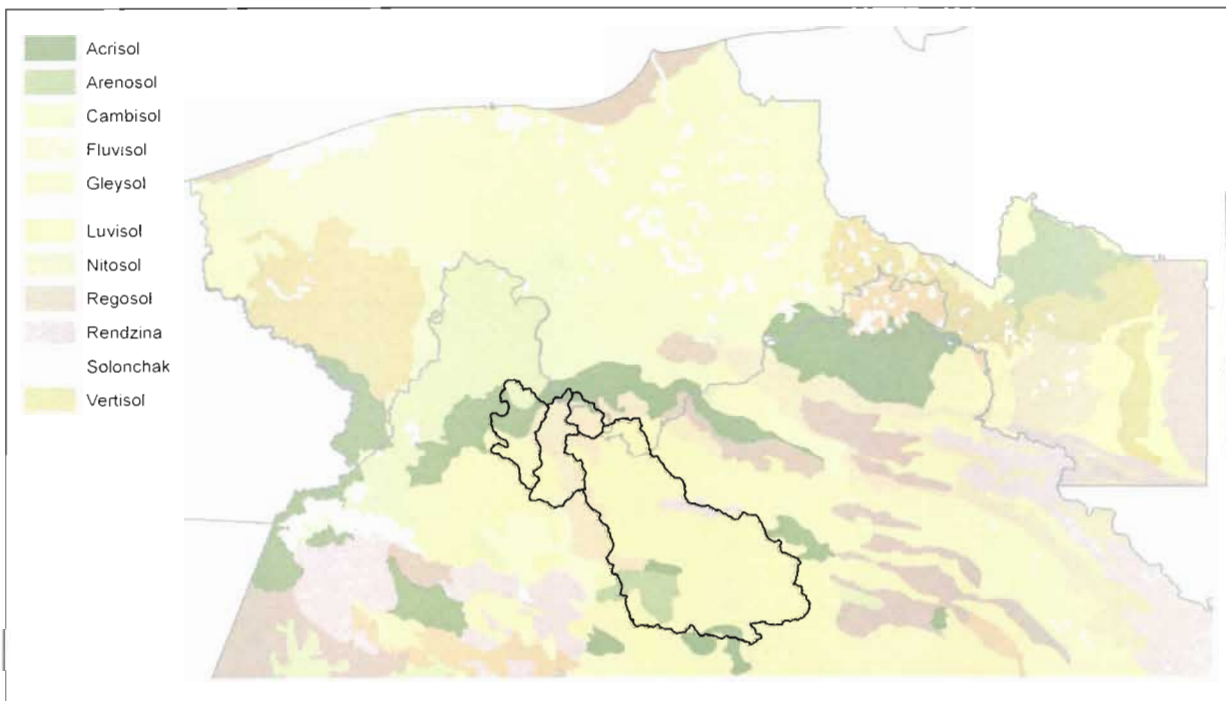


Figura 2.b 4 Tipo de suelo en las subcuencas del río de la Sierra
FUENTE: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010

En la figura 2.b. 5 se muestra el tipo de suelo por subcuenca expresada en porcentajes; donde se puede observar que el uso de suelo predominante es el pastizal.

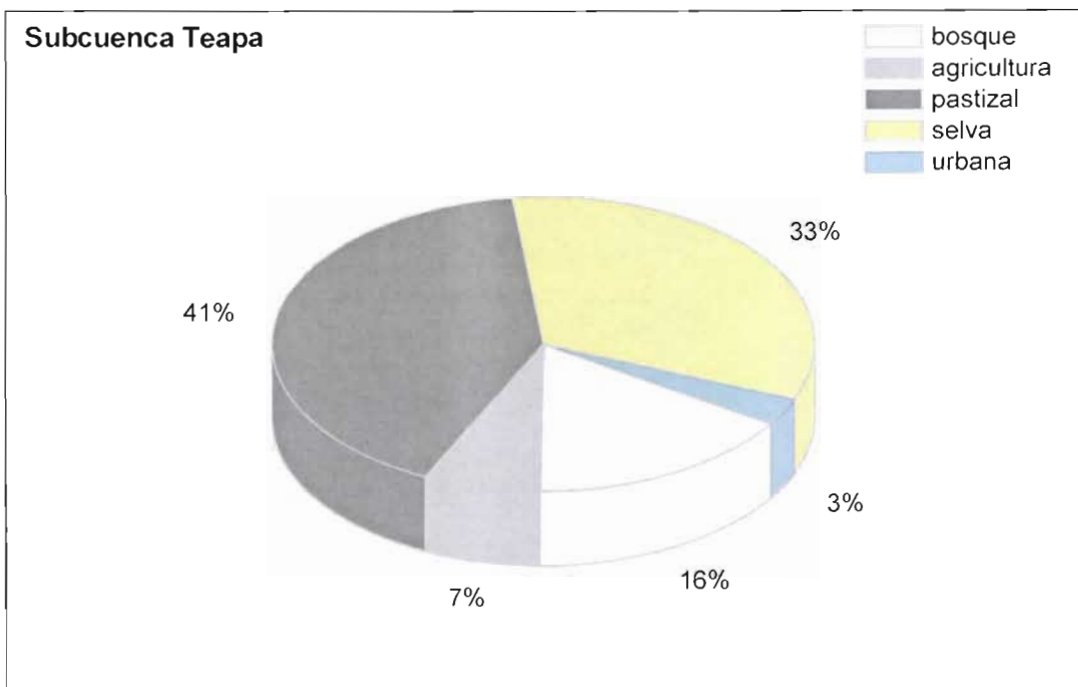
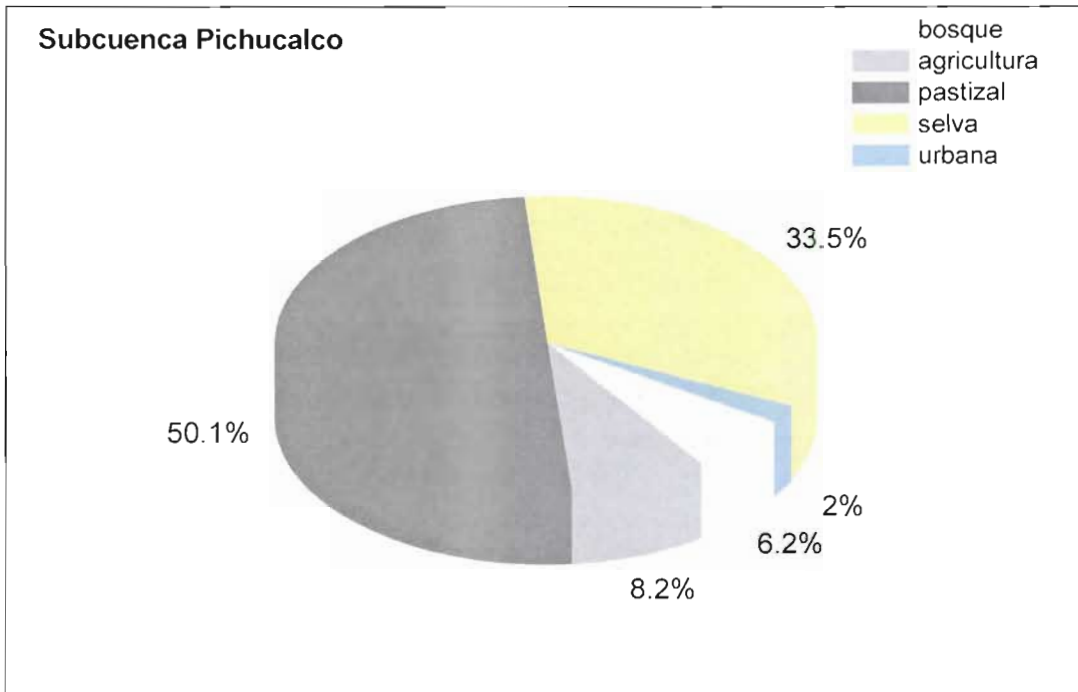


Figura 2.b. 5 Gráficas con los porcentajes de uso de suelo por subcuenca.

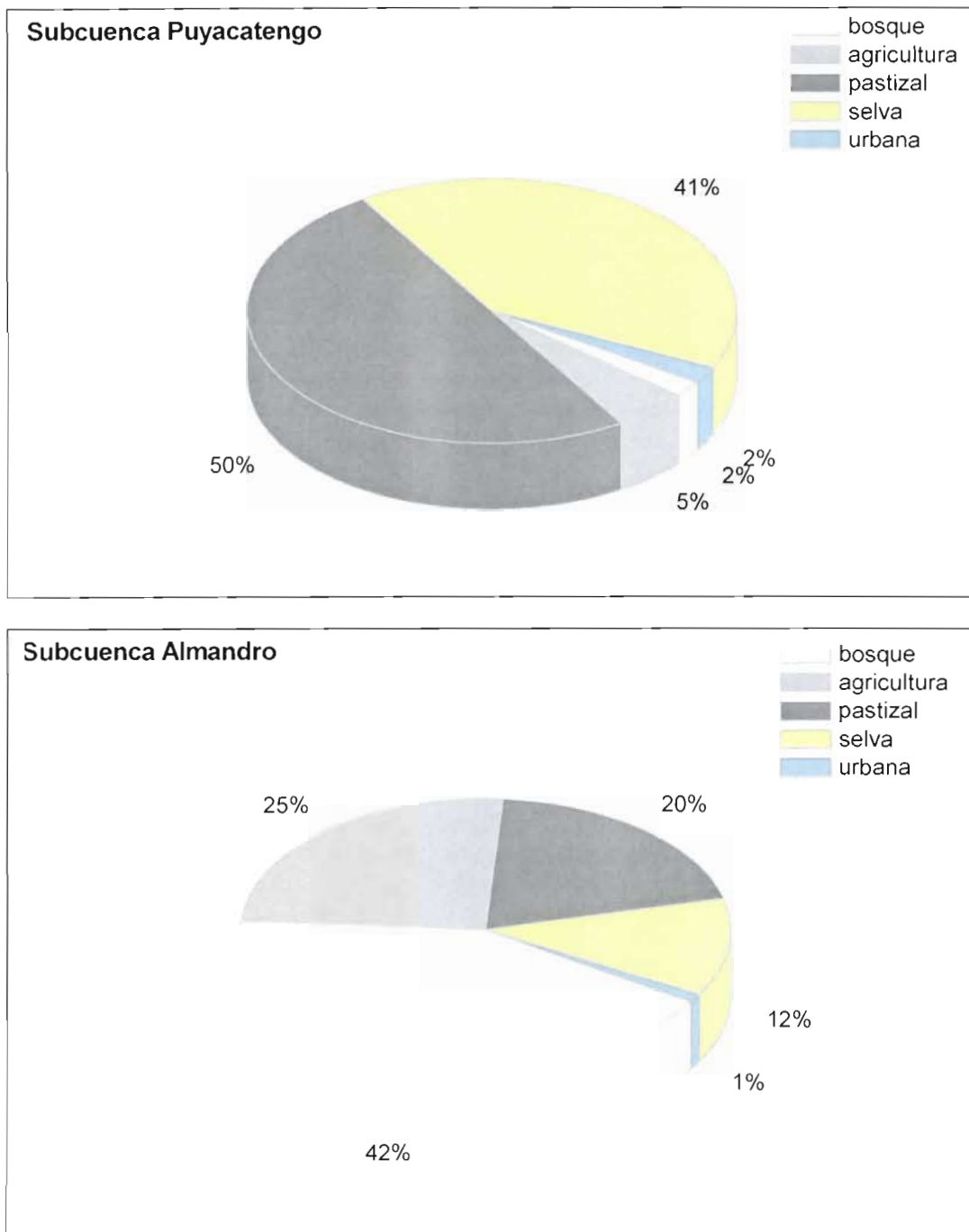


Figura 2.b. 5 Gráficas con los porcentajes de uso de suelo por subcuenca.

En hidrología se clasifica el suelo de acuerdo a su permeabilidad como Muy Alta, Buena, Media y Baja, la cual se relaciona con el grupo hidrológico A, B, C y D respectivamente. En el suelo tipo A (arenas con poco limo y arcilla) el escurrimiento es mínimo, mientras que en un suelo tipo D (arcillas en grandes cantidades, suelo poco profundo con subhorizontes casi impermeables) se presenta escurrimiento máximo. (Dominguez, 2008)

VF

Tabla 2.b. 3 Porcentajes de permeabilidad por subcuenca

	PICHUCALCO	TEAPA	PUYACATENGO	ALMANDRO
<i>Baja permeabilidad</i>	70%	60%	80%	Tiene una permeabilidad muy variable aunque la mayor parte es de baja permeabilidad.
<i>Buena permeabilidad</i>	25%	30%	20%	
<i>Alta permeabilidad</i>	5%	10%	0%	

La Tabla 2.b.3 muestra que la zona de estudio presenta en mayor porcentaje de su superficie baja permeabilidad, ya que es un suelo abundante en arcillas. Así se define que el suelo es de tipo D (Tabla 2.b.4), que las subcuencas de la Sierra presenta un alto potencial de escurrimientos y una tasa de infiltración baja.

Tabla 2.b. 4 Definiciones de Tipo de Suelos según el NRCS*

Tipo	Descripción	K (mm/h)
A	Bajo potencial de escurrimientos. Suelos con una alta tasa de infiltración incluso cuando están completamente mojados. Consiste principalmente en arenas y gravas con drenaje profundo entre bueno y excesivo.	≥ 11
B	Suelos con tasa de infiltración media cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos con drenaje profundo a moderado y textura de grano mediano. Ejemplos: marga arenosa o loess poco profundo.	3.75 - 7.5
C	Suelos con tasa de infiltración baja cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos con una capa que impide el flujo de agua hacia abajo, o suelos con textura de grano fino. Ejemplos: marga arcillosa o marga arenosa poco profunda.	1.25 - 3.75
D	Alto potencial de escurrimientos. Suelos con tasa de infiltración muy baja cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos arcillosos con un alto potencial de expansión, con un nivel freático permanentemente alto, con cubierta de arcilla en o cerca de la superficie y suelos poco profundos con una capa impermeable cerca de la superficie.	≤ 1.25

(*) National Resources Conservation Service
K= Conductividad hidráulica saturada (mm/h)

b.2) PROPIEDADES DE LAS SUBCUENCAS

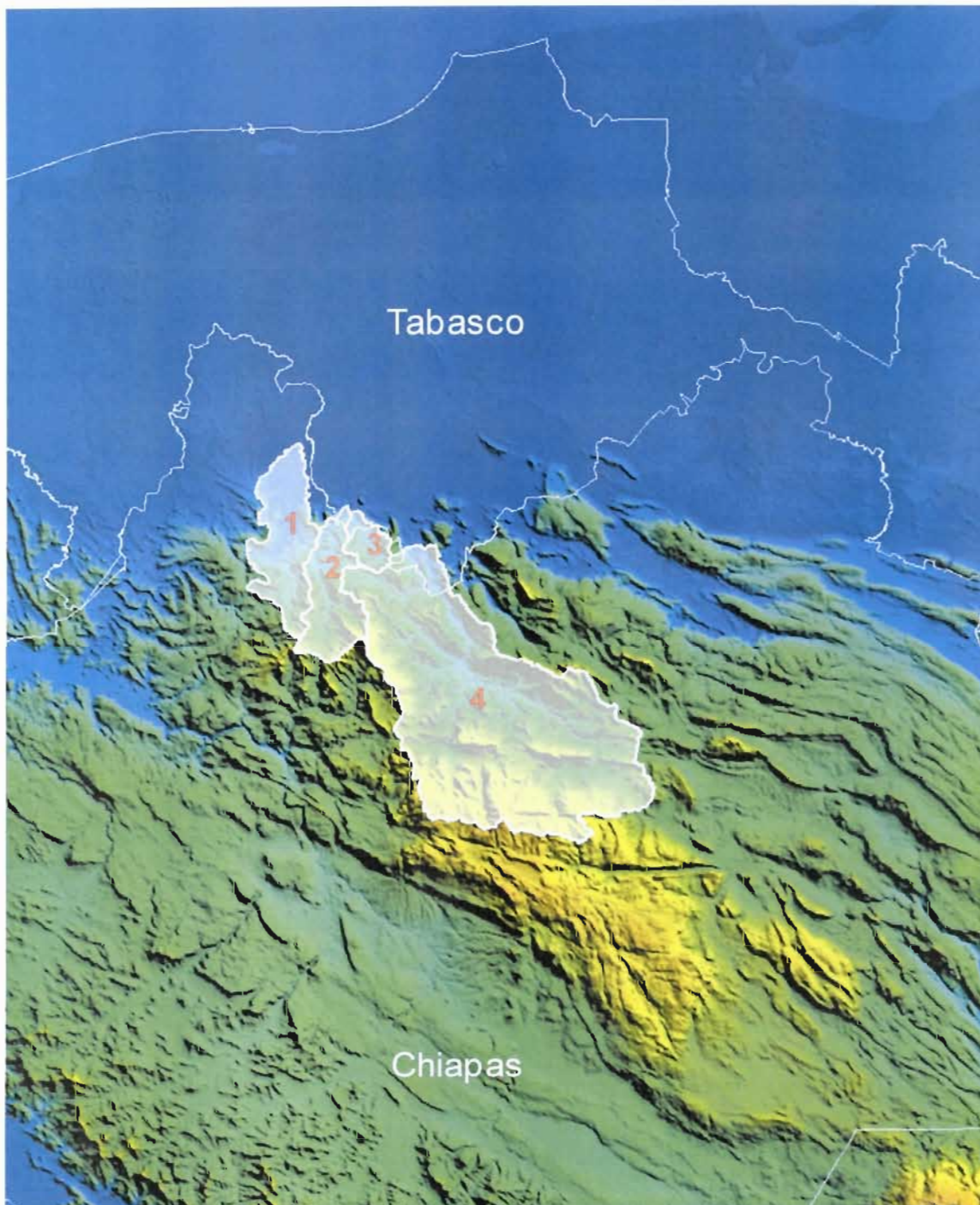
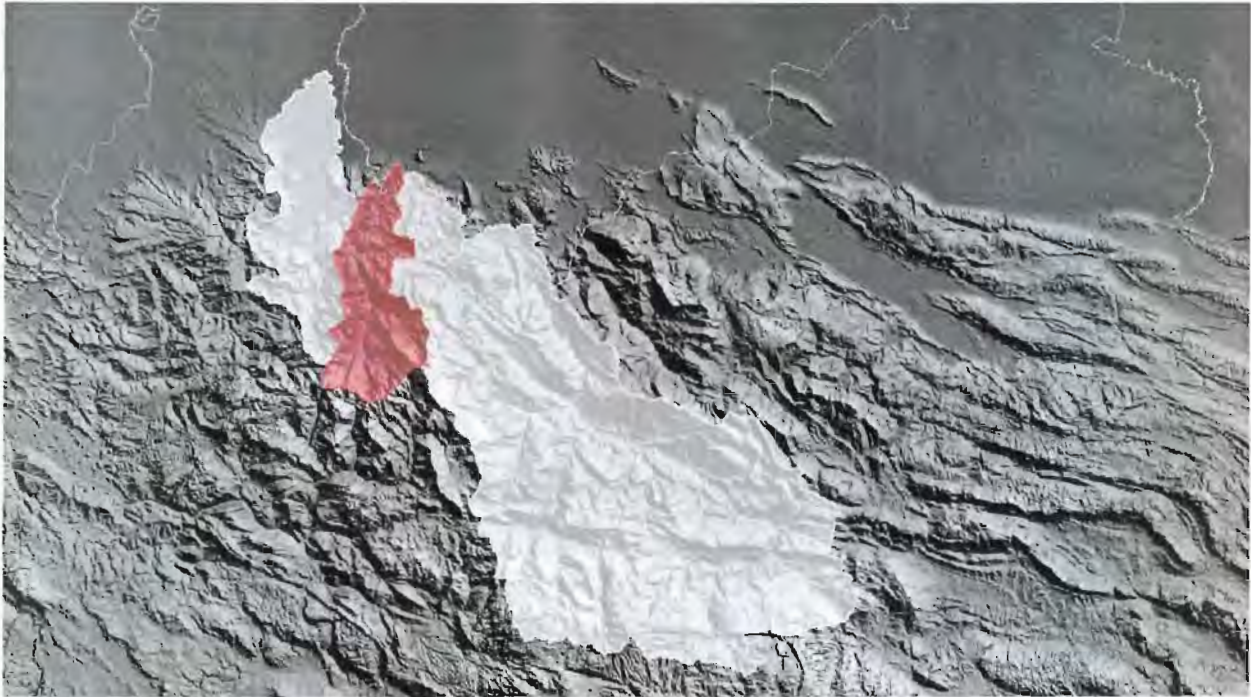


Figura 2.b. 6 Ubicación de la zona de estudio. (1) Subcuenca del río Pichucalco, (2) Subcuenca del río Teapa, (3) Subcuenca del río Puyacatengo, (4) Subcuenca del río Tacotalpa (Almandro)

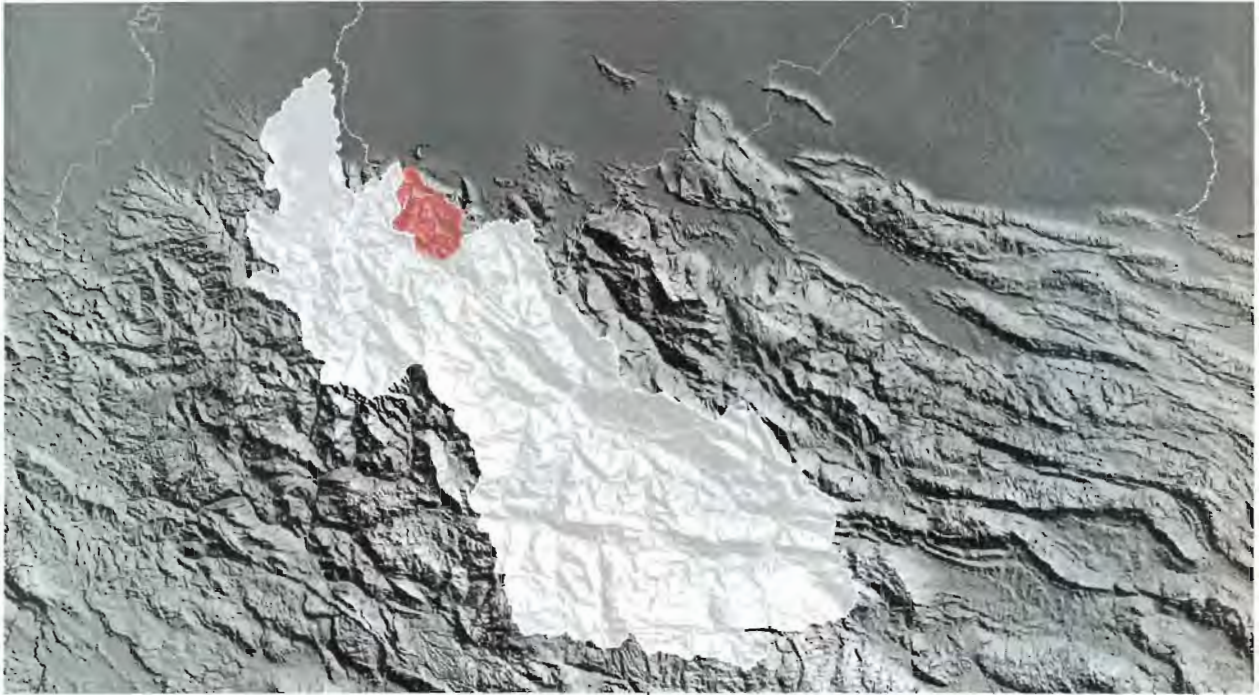
b.2.1) Subcuenca Teapa



NOMBRE	Subcuenca Teapa
DESCRIPCIÓN	Cauce principal del río Teapa
ETIQUETA	Sub-Tea
DESCARGA	EH Teapa
ÁREA (ha)	42,023.00
ANCHO (m)	900
PENDIENTE (%)	33
ÁREA IMPERMEABLE (%)	0.2
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO IMPERMEABLE	0.011
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO PERMEABLE	0.40
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO IMPERMEABLE (mm)	2.5
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO PERMEABLE (mm)	2.5
% DE SUELO IMPERMEABLE QUE NO PRESENTA DEPRESIÓN	10

VF

b.2.2) Subcuenca Puyacatengo



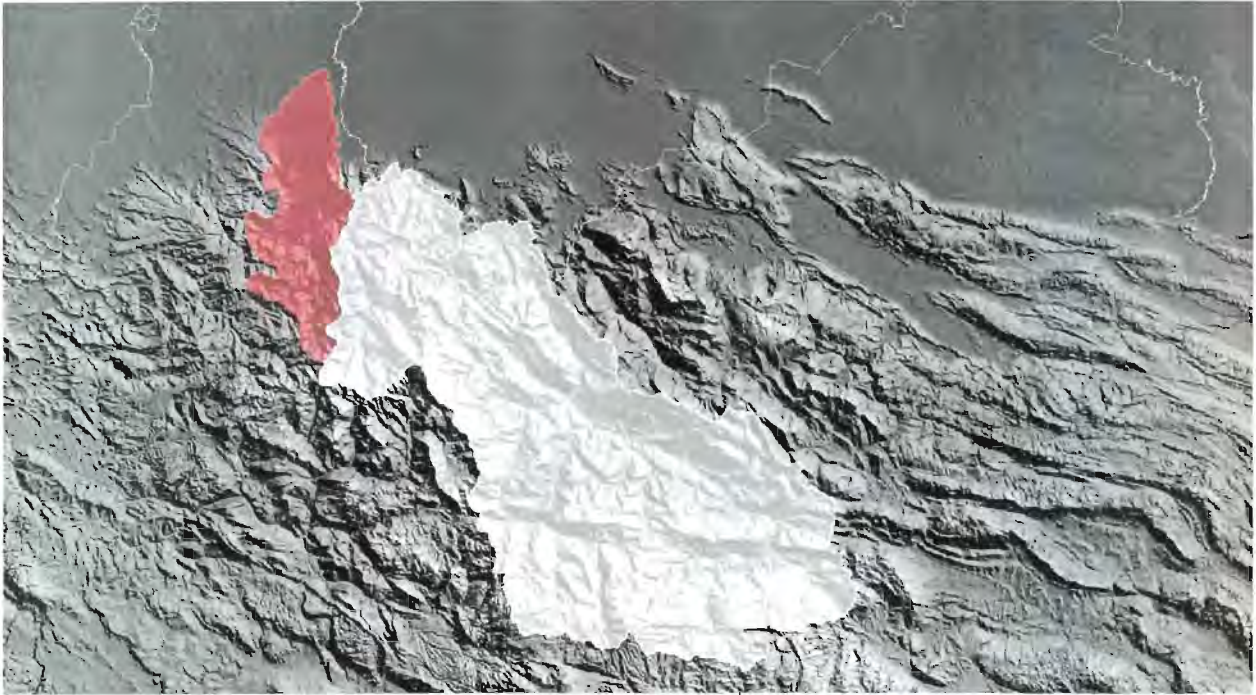
NOMBRE	Subcuenca Puyacatengo
DESCRIPCIÓN	Cauce principal del río Puyacatengo.
ETIQUETA	Sub-Puy
DESCARGA	EH Puyacatengo
ÁREA (ha)	12,150.00
ANCHO (m)	1050
PENDIENTE (%)	27
ÁREA IMPERMEABLE (%)	0.5
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO IMPERMEABLE	0.011
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO PERMEABLE	0.40
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO IMPERMEABLE (mm)	2.5
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO PERMEABLE (mm)	2.5
% DE SUELO IMPERMEABLE QUE NO PRESENTA DEPRESIÓN	10

b.2.3) Subcuenca Almandro



NOMBRE	Subcuenca Almandro
DESCRIPCIÓN	Cauce principal río Tacotalpan y río Oxolotán
ETIQUETA	Sub-Alm
DESCARGA	EH Tapijulapa
ÁREA (ha)	317,233.00
ANCHO (m)	22,500
PENDIENTE (%)	28
ÁREA IMPERMEABLE (%)	0.5
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO IMPERMEABLE	0.011
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO PERMEABLE	0.40
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO IMPERMEABLE (mm)	2.5
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO PERMEABLE (mm)	2.5
% DE SUELO IMPERMEABLE QUE NO PRESENTA DEPRESIÓN	10

b.2.4) Subcuenca Pichucalco



NOMBRE	Subcuenca Pichucalco
DESCRIPCIÓN	Cauce principal del río Pichucalco
ETIQUETA	Sub-Pichu
DESCARGA	EH San Joaquín
ÁREA (ha)	40,106.00
ANCHO (m)	30,000
PENDIENTE (%)	23.31
ÁREA IMPERMEABLE (%)	0.5
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO IMPERMEABLE	0.011
COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO PERMEABLE	0.40
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO IMPERMEABLE (mm)	2.5
ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION -SUELO PERMEABLE (mm)	2.5
% DE SUELO IMPERMEABLE QUE NO PRESENTA DEPRESIÓN	10

Para finalizar la caracterización de las subcuencas se ingresaron los datos requeridos por el software SWMM en el apartado *Propiedades de las Cuencas*; el cual se describe en la tabla siguiente:

Nombre	Nombre asignado por el usuario a la subcuenca
Coordenada X	Ubicación horizontal del centroide del área de la subcuenca en el mapa.
Coordenada Y	Ubicación horizontal del centroide del área de la subcuenca en el mapa.
Descripción	Descripción opcional de la subcuenca
Etiqueta	Etiqueta opcional utilizada para clasificar la subcuenca
Pluviómetro	Nombre del pluviómetro asociado a la subcuenca
Descarga	Nombre del nudo o subcuenca que recibirá el escurrimiento de la cuenca actual
Área	Área de la subcuenca (Ha -hectáreas)
Ancho	Ancho media de la subcuenca (se calcula dividiendo el área total de la subcuenca entre la máxima longitud de la misma)
Pendiente (%)	Pendiente media de la subcuenca
Área Impermeable (%)	Porcentaje de subcuenca cuyo suelo es impermeable
Coefficiente <i>n</i> -suelo impermeable	Coefficiente <i>n</i> de Manning para el flujo superficial sobre el área impermeable de la subcuenca
Coefficiente <i>n</i> -suelo permeable	Coefficiente <i>n</i> de Manning para el flujo superficial sobre el área permeable de la subcuenca
Alm. Dep. - Suelo impermeable	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área impermeable de la subcuenca
Alm. Dep. - Suelo permeable	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área permeable de la subcuenca
%Alm. Dep. 0	Porcentaje de suelo impermeable que no presenta almacenamiento en depresión
Flujo entre sub-áreas	Selección del sentido del flujo interno entre las áreas impermeable y permeable de la subcuenca
% flujo	Porcentaje de escurrimiento entre las distintas áreas
Infiltración	Edición de los parámetros de infiltración de la subcuenca
Aguas subterráneas	Edición de los parámetros de flujo subterráneo de la cuenca
Nieve	Nombre del conjunto de parámetros de nieve asignados a la subcuenca (si existen)
Acumulación inicial	Cantidades iniciales de contaminantes sobre la subcuenca
Usos de suelo	Asignar usos de suelo de la subcuenca
Long. Cauce	Longitud total de cauces en la subcuenca. Se utiliza cuando la acumulación de contaminantes se define por unidad de longitud del cauce.

Sin embargo, para el objetivo del estudio no todos los parámetros son aplicables a las subcuencas de los ríos de la Sierra; a continuación se muestran los parámetros que se aplicaron. Los parámetros excluidos son los que se refieren al agua subterránea, índice de nieve y contaminantes.

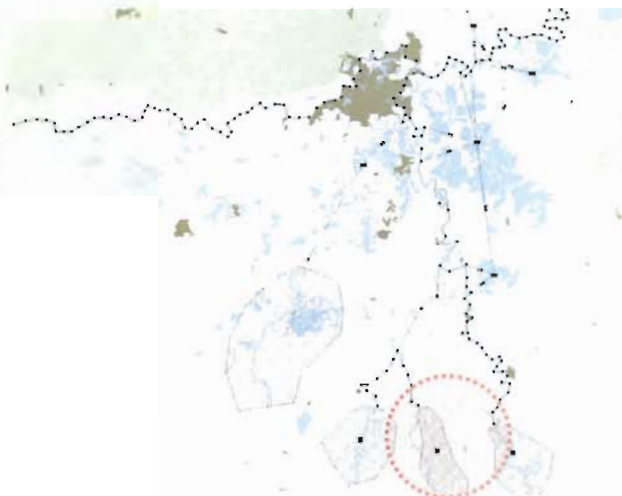
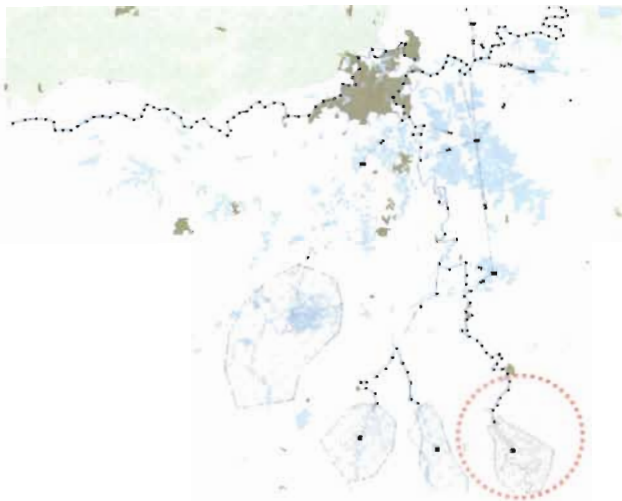
MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Nombre	Nombre asignado por el usuario a la subcuenca
Pluviómetro	Nombre del pluviómetro asociado a la subcuenca
Descarga	Nombre del nudo o subcuenca que recibirá el escurrimiento de la cuenca actual
Área	Área de la subcuenca (Ha -hectáreas)
Ancho	Ancho media de la subcuenca (se calcula dividiendo el área total de la subcuenca entre la máxima longitud de la misma)
Pendiente (%)	Pendiente media de la subcuenca
Área Impermeable (%)	Porcentaje de subcuenca cuyo suelo es impermeable
Coefficiente <i>n</i> -suelo impermeable	Coefficiente <i>n</i> de Manning para el flujo superficial sobre el área impermeable de la subcuenca
Coefficiente <i>n</i> -suelo permeable	Coefficiente <i>n</i> de Manning para el flujo superficial sobre el área permeable de la subcuenca
Alm. Dep. - Suelo impermeable	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área impermeable de la subcuenca
Alm. Dep. - Suelo permeable	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área permeable de la subcuenca
%Alm. Dep. 0	Porcentaje de suelo impermeable que no presenta almacenamiento en depresión
Flujo entre sub-áreas	Selección del sentido del flujo interno entre las áreas impermeable y permeable de la subcuenca
% flujo	Porcentaje de escurrimiento entre las distintas áreas
Infiltración	Edición de los parámetros de infiltración de la subcuenca

Por lo tanto, los datos finales son los siguientes para cada subcuenca:

TABLA DE ATRIBUTOS		UBICACIÓN EN EL ESQUEMA	
Subcatchment CUENCA_RICHICALCO			
Property	Value		
Name	CUENCA_RICHICALCO		
X Coordinate	3032.105		
Y Coordinate	3374.060		
Description			
Tag			
Rain Gage	Richicalco		
Outlet	RICHICALCO		
Area	40106		
Width	7402.36		
% Slope	1.9		
% Imperv	12		
M Imperv	0.011		
M Perv	0.40		
Distors Imperv	2.5		
Distors Perv	2.5		
%Zero Imperv	10		
Subarea Routing	OUTLET		
Percent Routed	100		
Infiltration	GREEN_AMPT		
Groundwater	NO		
Snow Pack			
LID Control	0		
Land Uses	0		
Initial Buildup	NONE		
Curb Length	0		
Subcatchment CUENCA_TEAPA			
Property	Value		
Name	CUENCA_TEAPA		
X Coordinate	4530.075		
Y Coordinate	1127.819		
Description			
Tag			
Rain Gage	Teapix		
Outlet	TEAPA		
Area	42023		
Width	7381.90		
% Slope	4.2		
% Imperv	9		
M Imperv	0.011		
M Perv	0.40		
Distors Imperv	2.5		
Distors Perv	2.5		
%Zero Imperv	10		
Subarea Routing	OUTLET		
Percent Routed	100		
Infiltration	GREEN_AMPT		
Groundwater	NO		
Snow Pack			
LID Control	0		
Land Uses	0		
Initial Buildup	NONE		
Curb Length	0		

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

TABLA DE ATRIBUTOS	UBICACIÓN EN EL ESQUEMA																																																				
<p>Subcatchment CUENCA_PUYACATENGO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Name</td><td>CUENCA_PUYACATENGO</td></tr> <tr><td>X Coordinate</td><td>809824</td></tr> <tr><td>Y Coordinate</td><td>802256</td></tr> <tr><td>Description</td><td></td></tr> <tr><td>Tag</td><td></td></tr> <tr><td>Rain Gage</td><td>Puyacatengo</td></tr> <tr><td>Outlet</td><td>PUYACATENGO</td></tr> <tr><td>Area</td><td>12150</td></tr> <tr><td>Width</td><td>4760.97</td></tr> <tr><td>T Slope</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>I Imperv</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>N Imperv</td><td>0.011</td></tr> <tr><td>H Perv</td><td>0.40</td></tr> <tr><td>Dstore Imperv</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>Dstore Perv</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>I2Zero Imperv</td><td>10</td></tr> <tr><td>Subarea Routing</td><td>OUTLET</td></tr> <tr><td>Percent Routed</td><td>100</td></tr> <tr><td>Infiltration</td><td>GREEN_AMPT</td></tr> <tr><td>Groundwater</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Snow Pack</td><td></td></tr> <tr><td>LID Controls</td><td>0</td></tr> <tr><td>Land Uses</td><td>0</td></tr> <tr><td>Initial Bulkup</td><td>NONE</td></tr> <tr><td>Curv Length</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Property	Value	Name	CUENCA_PUYACATENGO	X Coordinate	809824	Y Coordinate	802256	Description		Tag		Rain Gage	Puyacatengo	Outlet	PUYACATENGO	Area	12150	Width	4760.97	T Slope	2.5	I Imperv	0.2	N Imperv	0.011	H Perv	0.40	Dstore Imperv	2.5	Dstore Perv	2.5	I2Zero Imperv	10	Subarea Routing	OUTLET	Percent Routed	100	Infiltration	GREEN_AMPT	Groundwater	NO	Snow Pack		LID Controls	0	Land Uses	0	Initial Bulkup	NONE	Curv Length	0	
Property	Value																																																				
Name	CUENCA_PUYACATENGO																																																				
X Coordinate	809824																																																				
Y Coordinate	802256																																																				
Description																																																					
Tag																																																					
Rain Gage	Puyacatengo																																																				
Outlet	PUYACATENGO																																																				
Area	12150																																																				
Width	4760.97																																																				
T Slope	2.5																																																				
I Imperv	0.2																																																				
N Imperv	0.011																																																				
H Perv	0.40																																																				
Dstore Imperv	2.5																																																				
Dstore Perv	2.5																																																				
I2Zero Imperv	10																																																				
Subarea Routing	OUTLET																																																				
Percent Routed	100																																																				
Infiltration	GREEN_AMPT																																																				
Groundwater	NO																																																				
Snow Pack																																																					
LID Controls	0																																																				
Land Uses	0																																																				
Initial Bulkup	NONE																																																				
Curv Length	0																																																				
<p>Subcatchment CUENCA_ALMANDRO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Name</td><td>CUENCA_ALMANDRO</td></tr> <tr><td>X Coordinate</td><td>7612702</td></tr> <tr><td>Y Coordinate</td><td>874060</td></tr> <tr><td>Description</td><td></td></tr> <tr><td>Tag</td><td></td></tr> <tr><td>Rain Gage</td><td>Alamando</td></tr> <tr><td>Outlet</td><td>TAPULALAPA</td></tr> <tr><td>Area</td><td>317233</td></tr> <tr><td>Width</td><td>23850.45</td></tr> <tr><td>T Slope</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>I Imperv</td><td>20</td></tr> <tr><td>N Imperv</td><td>0.013</td></tr> <tr><td>H Perv</td><td>0.40</td></tr> <tr><td>Dstore Imperv</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>Dstore Perv</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>I2Zero Imperv</td><td>10</td></tr> <tr><td>Subarea Routing</td><td>OUTLET</td></tr> <tr><td>Percent Routed</td><td>100</td></tr> <tr><td>Infiltration</td><td>GREEN_AMPT</td></tr> <tr><td>Groundwater</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Snow Pack</td><td></td></tr> <tr><td>LID Controls</td><td>0</td></tr> <tr><td>Land Uses</td><td>0</td></tr> <tr><td>Initial Bulkup</td><td>NONE</td></tr> <tr><td>Curv Length</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Property	Value	Name	CUENCA_ALMANDRO	X Coordinate	7612702	Y Coordinate	874060	Description		Tag		Rain Gage	Alamando	Outlet	TAPULALAPA	Area	317233	Width	23850.45	T Slope	2.1	I Imperv	20	N Imperv	0.013	H Perv	0.40	Dstore Imperv	2.5	Dstore Perv	2.5	I2Zero Imperv	10	Subarea Routing	OUTLET	Percent Routed	100	Infiltration	GREEN_AMPT	Groundwater	NO	Snow Pack		LID Controls	0	Land Uses	0	Initial Bulkup	NONE	Curv Length	0	
Property	Value																																																				
Name	CUENCA_ALMANDRO																																																				
X Coordinate	7612702																																																				
Y Coordinate	874060																																																				
Description																																																					
Tag																																																					
Rain Gage	Alamando																																																				
Outlet	TAPULALAPA																																																				
Area	317233																																																				
Width	23850.45																																																				
T Slope	2.1																																																				
I Imperv	20																																																				
N Imperv	0.013																																																				
H Perv	0.40																																																				
Dstore Imperv	2.5																																																				
Dstore Perv	2.5																																																				
I2Zero Imperv	10																																																				
Subarea Routing	OUTLET																																																				
Percent Routed	100																																																				
Infiltration	GREEN_AMPT																																																				
Groundwater	NO																																																				
Snow Pack																																																					
LID Controls	0																																																				
Land Uses	0																																																				
Initial Bulkup	NONE																																																				
Curv Length	0																																																				

c) DETERMINACIÓN DE VALORES DE LOS PARÁMETROS DEL HIDROESTIMADOR

Para determinar los valores de los parámetros del hidroestimador es necesario, definir a que nos referimos con "parámetros del hidroestimador", ya que son de suma importancia durante la transformación de lluvia en escurrimiento y determinan la cantidad de precipitación que escurrirá, se definirán como: *pérdidas*.

Estas pérdidas se definen como: *la diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca (o subcuenca) y el que escurre por su salida*. En general, las pérdidas están constituidas por la intercepción en el follaje de las plantas y en los techos de las construcciones, la retención en depresiones o charcos (que posteriormente se evapora o infiltra), la evaporación y la infiltración. La porción considerable de las pérdidas está dada por la infiltración, por lo que, **determinar los valores de los parámetros del hidroestimador** están dados por esta variable de pérdida.

c.1) Información hidrométrica CONAGUA

Dado que el objetivo del estudio es estimar los niveles y gastos de la zona de los ríos de la Sierra, es necesario contar con información hidrométrica de sitio que nos ayude a verificar los datos obtenidos en el modelo.

Para ello se recabó información de gastos y niveles reportados por la CONAGUA en sus boletines hidrometeorológicos a partir del 01 de junio al 02 de noviembre del año 2011 y del 01 de mayo al 30 de septiembre del año 2012, a continuación se presenta la información en forma gráfica, la base de datos se puede consultar en el Anexo 2.c.1 Base de datos hidrometeorológicos 2011-2012.

Nota: los intervalos de tiempo junio-noviembre 2011 y mayo-septiembre 2012, se deben a que el hidroestimador entró en operación oficialmente en el mes de junio, por lo que a partir de ese momento se inició la calibración del modelo lluvia-escurrimiento.

Las estaciones hidrométricas consideradas para el estudio fueron:

- 1) EH González
- 2) EH Porvenir
- 3) EH Pueblo Nuevo
- 4) EH San Joaquín
- 5) EH Teapa
- 6) EH Puyacatengo
- 7) EH Tapijulapa

Las tres estaciones iniciales se consideran puntos de control para la calibración del modelo de **transito de avenidas** mientras que las cuatro siguientes son puntos de control para el **modelo lluvia-escurrimiento**.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

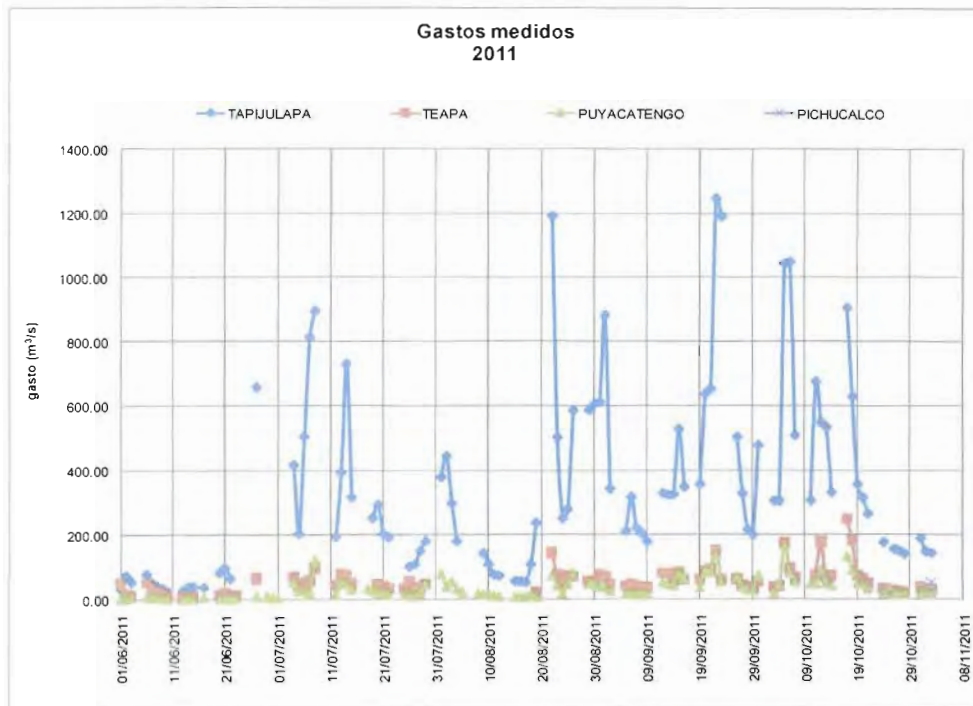


Figura 2.c. 1 Gráfica de gastos para los puntos de control en el modelo lluvia-escorrimento para el año 2011

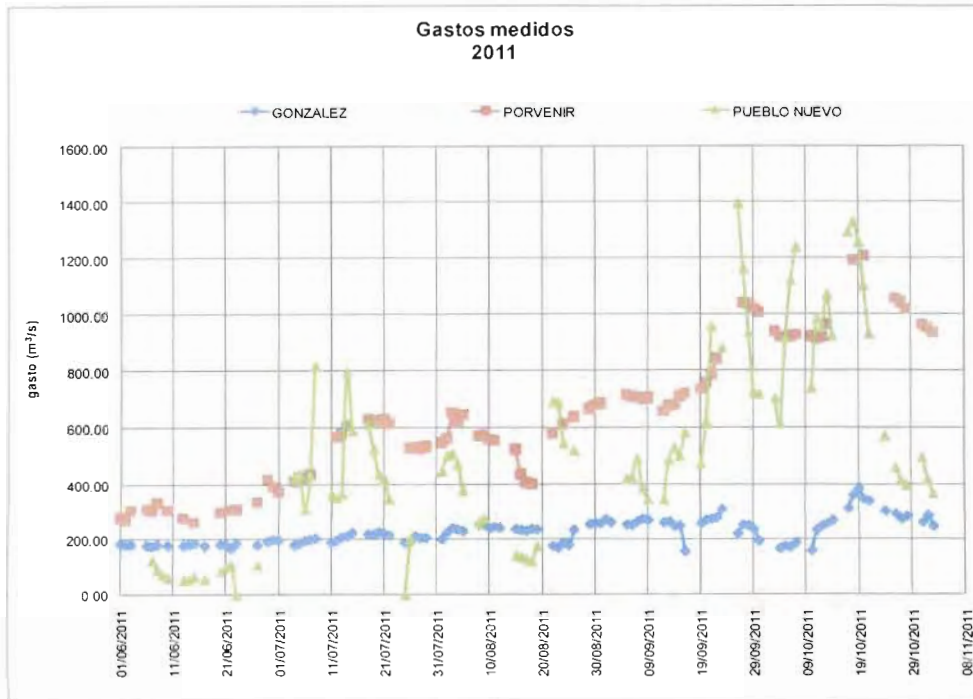


Figura 2.c. 2 Gráfica de gastos para los puntos de control en el modelo tránsito de avenidas para el año 2011

VJ

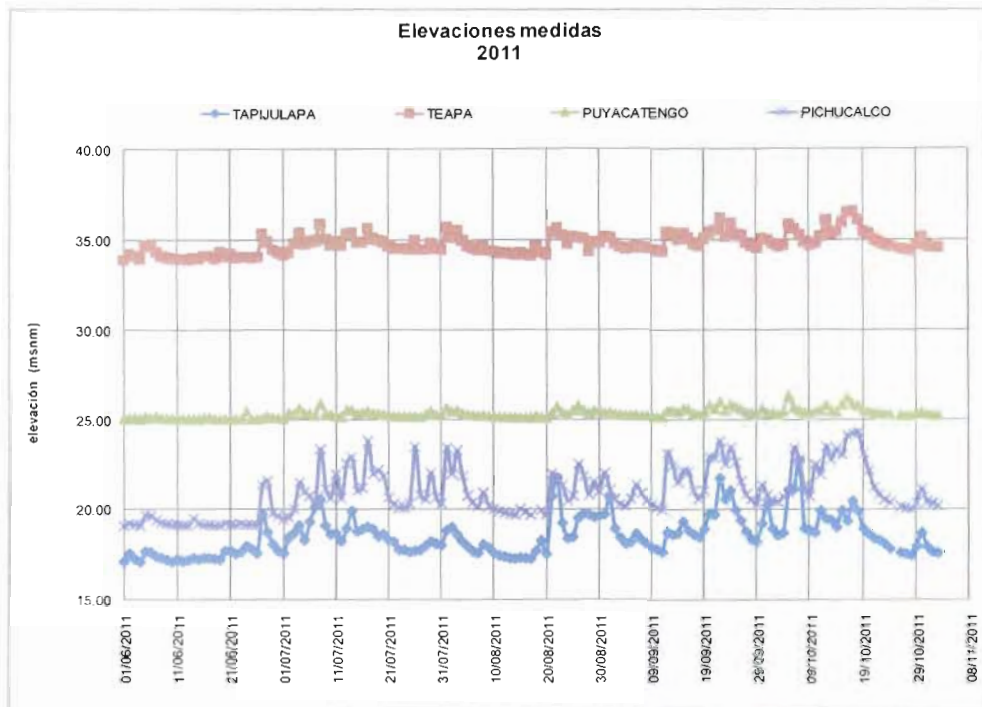


Figura 2.c. 3 Gráfica de elevaciones para los puntos de control en el modelo lluvia escurrimiento para el año 2011

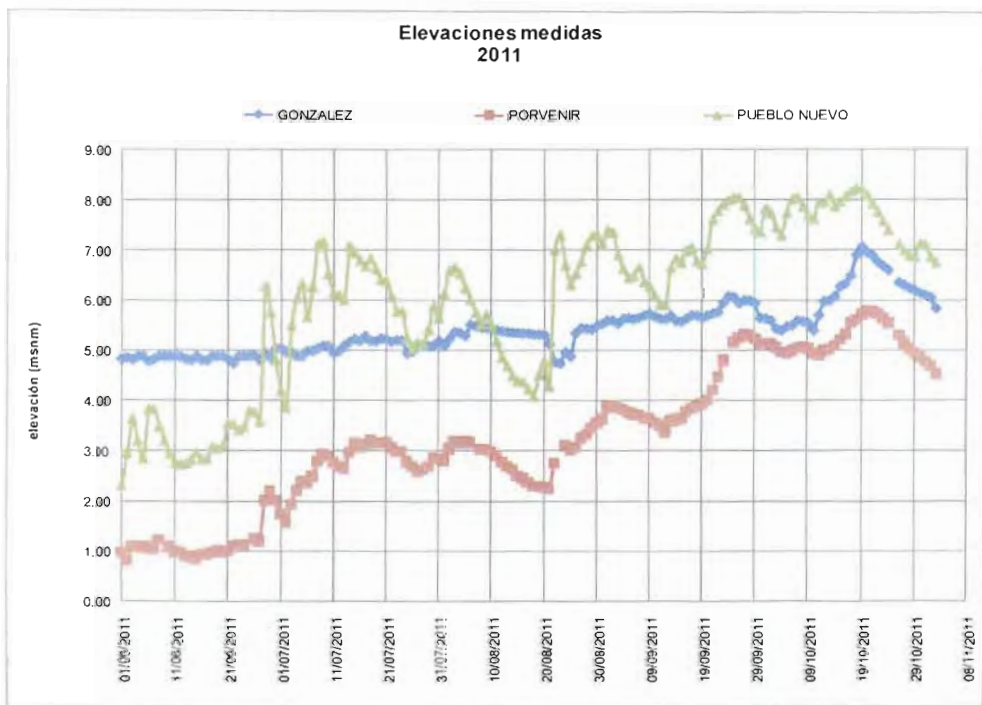


Figura 2.c. 4 Gráfica de elevaciones para los puntos de control en el modelo tránsito de avenidas para el año 2011

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

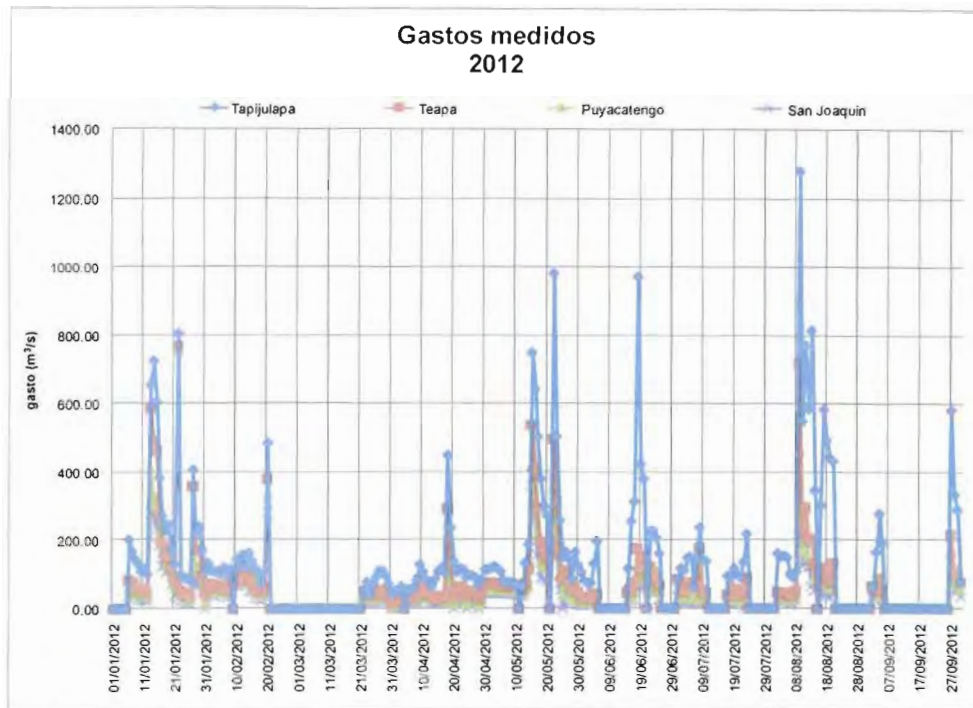


Figura 2.c. 5 Gráfica de gastos para los puntos de control en el modelo lluvia escurrimiento para el año 2012

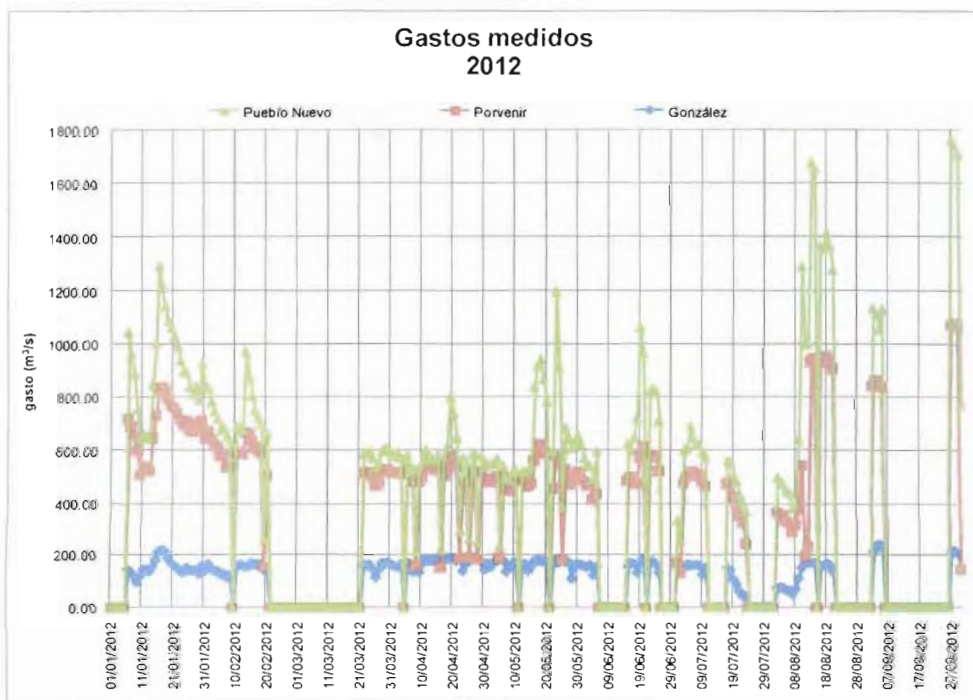


Figura 2.c. 6 Gráfica de gastos para los puntos de control en el modelo tránsito de avenidas para el año 2012

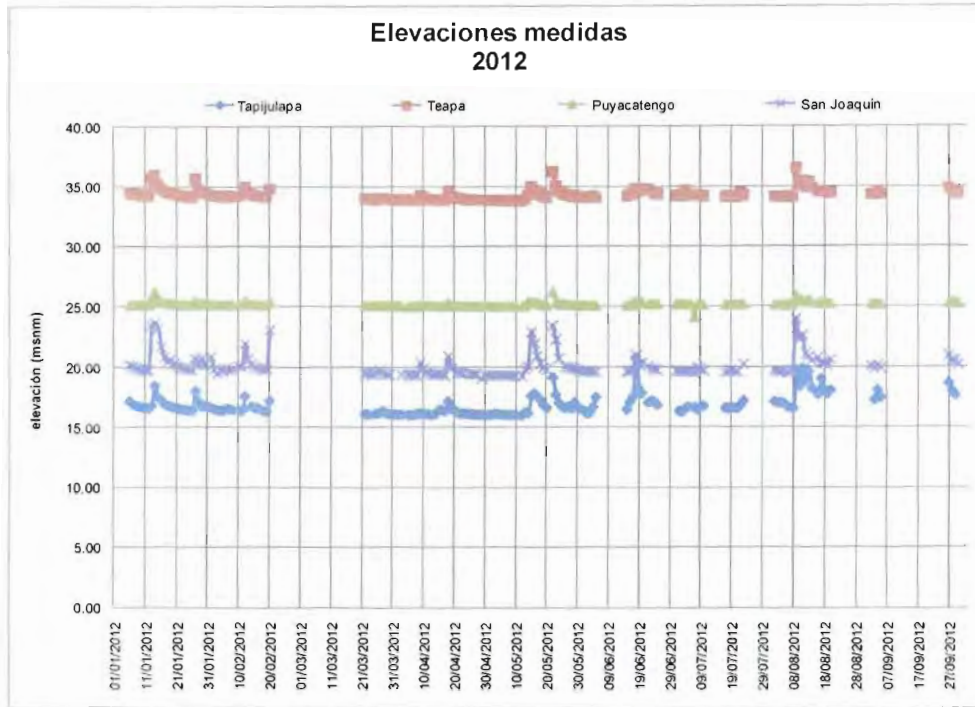


Figura 2.c. 7 Gráfica de elevaciones para los puntos de control en el modelo lluvia escurrimiento para el año 2012

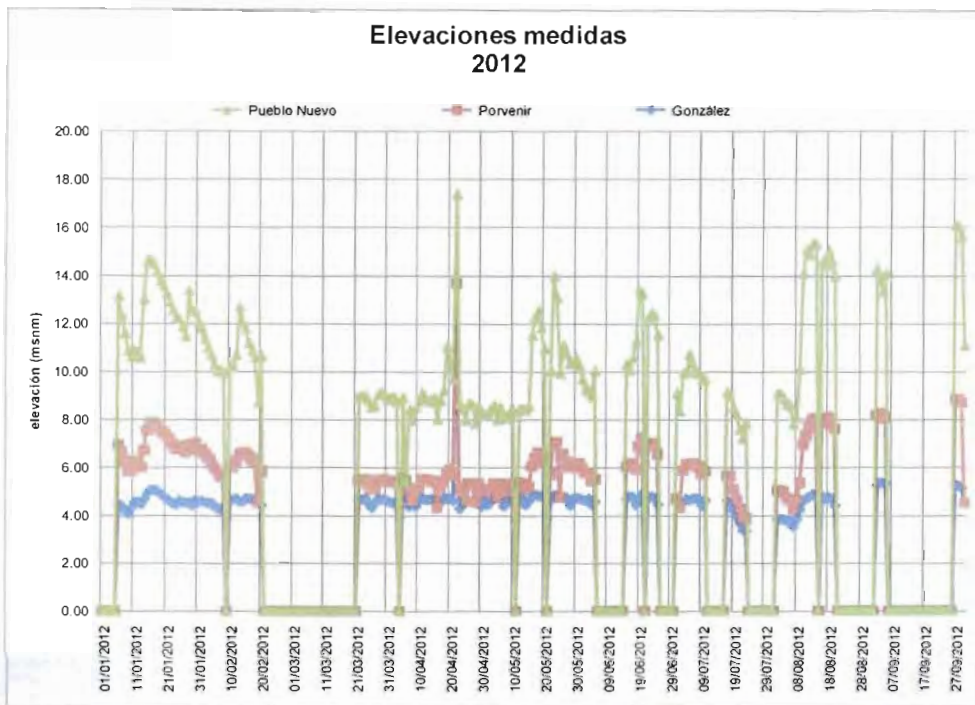


Figura 2.c. 8 Gráfica de elevaciones para los puntos de control en el modelo tránsito de avenidas para el año 2012

c.2) Método Green y Ampt

El SWMM v.5.0 permite tres modelos de infiltración: Horton, Green-Ampt y Número de curva. es importante determinar el modelo con el cual se trabajara ya que este debe ser el mismo para cada una de las subcuencas. Para estudiar la zona de las subcuencas de los ríos de la Sierra se determinó usar el modelo de **Green y Ampt**, ya que éste procedimiento además de mejorar la representación del fenómeno real, permite considerar la influencia de la humedad inicial del suelo y puede ser empleado aún cuando **no exista información de campo**.

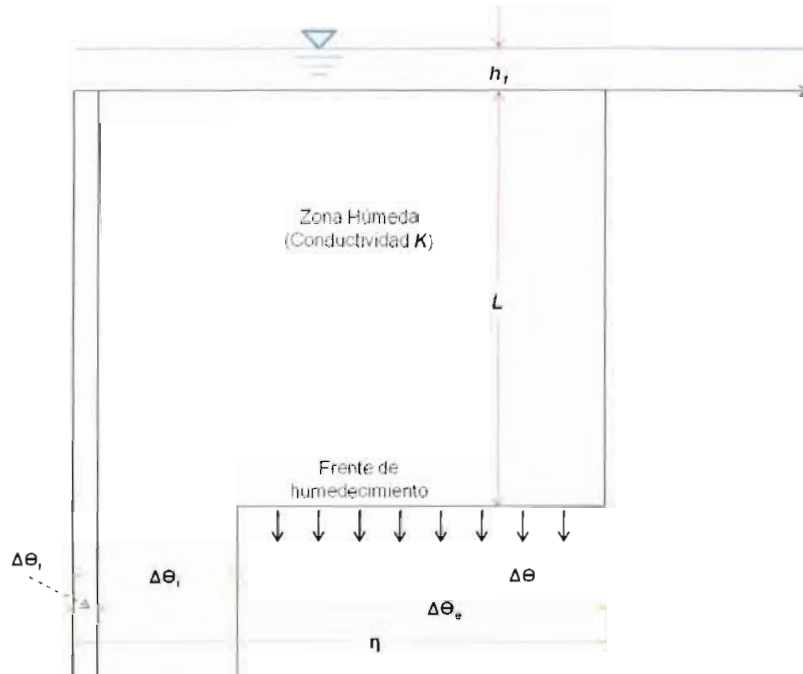


Figura 2.c. 91 Modelo de infiltración de Green - Ampt

De acuerdo a la figura 2.c.9, podemos asumir que inicialmente el suelo tiene una nivel de humedad θ_i , que puede alcanzar un valor máximo igual al de la porosidad del terreno η , que representa el máximo volumen de huecos que pueden ser ocupados por el agua. El frente de humedad avanza hasta una profundidad L , en un tiempo t desde que empezó el proceso de infiltración, y en ese mismo momento tenemos un encharcamiento en superficie h milímetros.

Para una columna de suelo, de altura L , considerando una superficie transversal unidad, la cantidad de agua almacenada como resultado de la infiltración será $L(\eta - \theta_i)$, de manera que en términos de infiltración acumulada podemos escribir:

$$F(t) = L(\eta - \theta_i) = L \Delta \theta$$

Por otro lado, podemos plantear la ley de Darcy entre el nivel de agua en superficie y el del frente de avance, para expresar el flujo en el medio subterráneo:

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial z}$$

Si planteamos que q es constante a lo largo de toda la columna de agua, y será en particular la capacidad de infiltración ($-f$) debido a que q está definido como positivo hacia arriba. Ahora particularizando entre la superficie del terreno y el lado seco de la posición de frente de humedad, se tiene.

$$f = K \frac{h_1 - h_2}{z_1 - z_2}$$

La altura de agua, h , es la llamada profundidad de encharcamiento y en la parte "seca" del frente de humedad, el avance del agua se realiza mediante dos mecanismos: la acción de la gravedad, expresada como la profundidad ($L+h_1$), pero además el agua avanza gracias a la tensión de succión derivada de las fuerzas de tensión superficial que se generan entre el agua y los conductos a través de los cuales el agua avanza en el terreno. Esta tensión de succión, lo mismo que la conductividad hidráulica o permeabilidad, varían con la humedad del terreno. Reescribiendo la ecuación anterior tenemos:

$$f = K \left[\frac{\psi \Delta \theta + F}{F} \right]$$

Como expresamos la capacidad de infiltración como la derivada de la infiltración acumulada, $f = \frac{dF}{dt}$, podemos escribir:

$$\frac{dF}{dt} = K \left[\frac{\psi \Delta \theta + F}{F} \right]$$

donde integrando la ecuación diferencial, podemos llegar a obtener tanto la ecuación de la infiltración acumulada, como la de la capacidad de infiltración:

$$F(t) = Kt + \psi \Delta \theta \ln \left[1 + \frac{F(t)}{\psi \Delta \theta} \right]$$

$$f(t) = K \left[\frac{\psi \Delta \theta}{F(t)} + 1 \right]$$

La aplicación del modelo de Green-Ampt requiere la estimación de una serie de parámetros como son:

- *Conductividad hidráulica saturada (K_s)*

Se refiere a la velocidad con la que el agua pasa a través de la masa del suelo, por unidad de gradiente de carga hidráulica. Este parámetro depende de la porosidad del suelo, particularmente de la proporción de poros con radio equivalente mayor a 15 μm que se mantienen abiertos en condiciones de saturación. Las unidades de K_s son: m/s

- *Potencial de succión del terreno (ψ)*

El agua está sometida a una presión que tiene varios componentes, unos que tienden a expulsar el agua del suelo (presión positiva) y otros que tienden a retenerla (presión negativa). La suma algebraica de estos componentes es el potencial total, y el agua del suelo tenderá a desplazarse desde los puntos de mayor potencial a los de menor potencial. En resumen, es la variable que determina el movimiento del agua en el suelo.

- *Porosidad del suelo*

Se define como el espacio de suelo que no está ocupado por sólidos. Se define también como la porción de suelo que está ocupada por aire y/o por agua.

VF

En suelos secos los poros estarán ocupados por aire y en suelos inundados, por agua. Los factores que la determinan son principalmente la textura, estructura y la cantidad de materia orgánica. Dado que estos parámetros son desconocidos para cada una de las subcuencas se recurrió a datos sugeridos por la literatura.

Tabla 2.c. 1 Características del suelo

FUENTE: Rawls, W.J. et al. (1983). ASCE Journal of Hydraulic Engineering, N° 109; p.1316

Textura del suelo	K (mm/h)	ψ (mm)	Φ
Arena	120.40	49	0.437
Arena margosa	29.97	61	0.437
Marga arenosa	10.92	110	0.453
Marga	3.30	89	0.463
Sedimentos de marga	6.60	170	0.501
Marga areno-arcillosa	1.52	220	0.398
Marga arcillosa	1.02	210	0.464
Sedimentos de marga arcillosa	1.02	270	0.471
Arcilla arenosa	0.51	240	0.430
Sedimentos de arcilla	0.51	290	0.479
Arcilla	0.25	320	0.475

K: conductividad hidráulica saturada (mm/h)

ψ : altura de succión (mm)

Φ : porosidad (fracción)

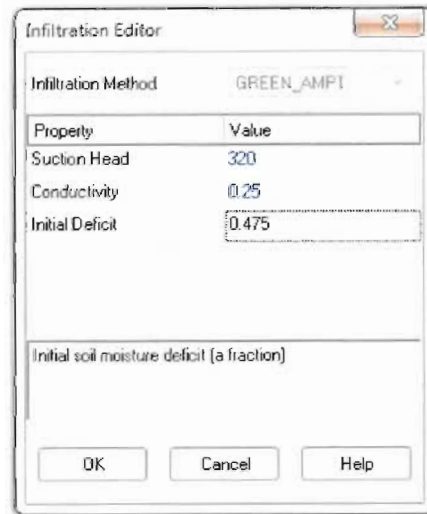


Figura 2.c. 10 Editor de datos método de Green-Ampt en SWMM v.5.0

Para la determinación de los valores de calibración del hidroestimador en conjunto con el modelo de simulación se consideraron como puntos de calibración (o finos) las siguientes variables: % de área impermeable y parámetros de infiltración, siendo estos últimos los que rigen las pérdidas de lluvia por infiltración. En la siguiente figura 2.c.11 se muestra un esquema simplificado de la calibración.

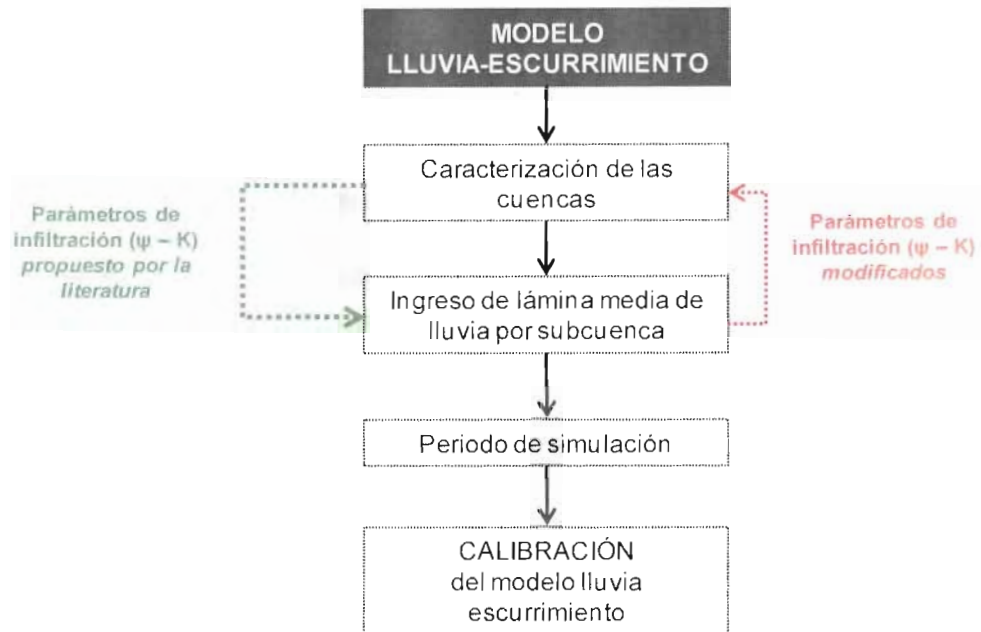


Figura 2.c. 11 Diagrama de flujo para la calibración de parámetros de pérdidas por infiltración

Para realizar en primera instancia la calibración de los parámetros de infiltración; se tomó como base el propuesto en la literatura tomando en cuenta exclusivamente la textura del suelo que presentan las subcuencas en mayor porcentaje.

Los suelos de las subcuencas de la Sierra esta compuestas en promedio por un 85% de arcillas (como se observó en el apartado 2.b), por lo que de la siguiente tabla se tomaron lo valores recomendados. Dado que esta clasificación presenta 6 combinaciones de suelo con arcillas, se tomo el dato de ARCILLA como primer dato de arranque, suponiendo que los suelos en estudio no presentan ningún tipo de combinación.

Tabla 2.c. 2 Características del tipo suelo

Textura del suelo	K _f [mm/h]	Ψ _f [mm]	Φ
Arena	120.40	49	0.437
Arena margosa	29.97	61	0.437
Marga arenosa	10.92	110	0.453
Marga	3.30	89	0.463
Sedimentos de marga	6.60	170	0.501
Marga areno-arcillosa	1.52	220	0.398
Marga arcillosa	1.02	210	0.464
Sedimentos de marga arcillosa	1.02	270	0.471
Arcilla arenosa	0.51	240	0.430
Sedimentos de arcilla	0.51	290	0.479
Arcilla	0.25	320	0.475

Así, la primera simulación realizada fue en el periodo del 28 de junio al 02 de noviembre del 2011 y se tomaron los valores de: **K: 0.25 [mm/h]** **ψ: 320 [mm]** **Φ: 0.475**, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Puntos de control -Modelo lluvia-escorrimento

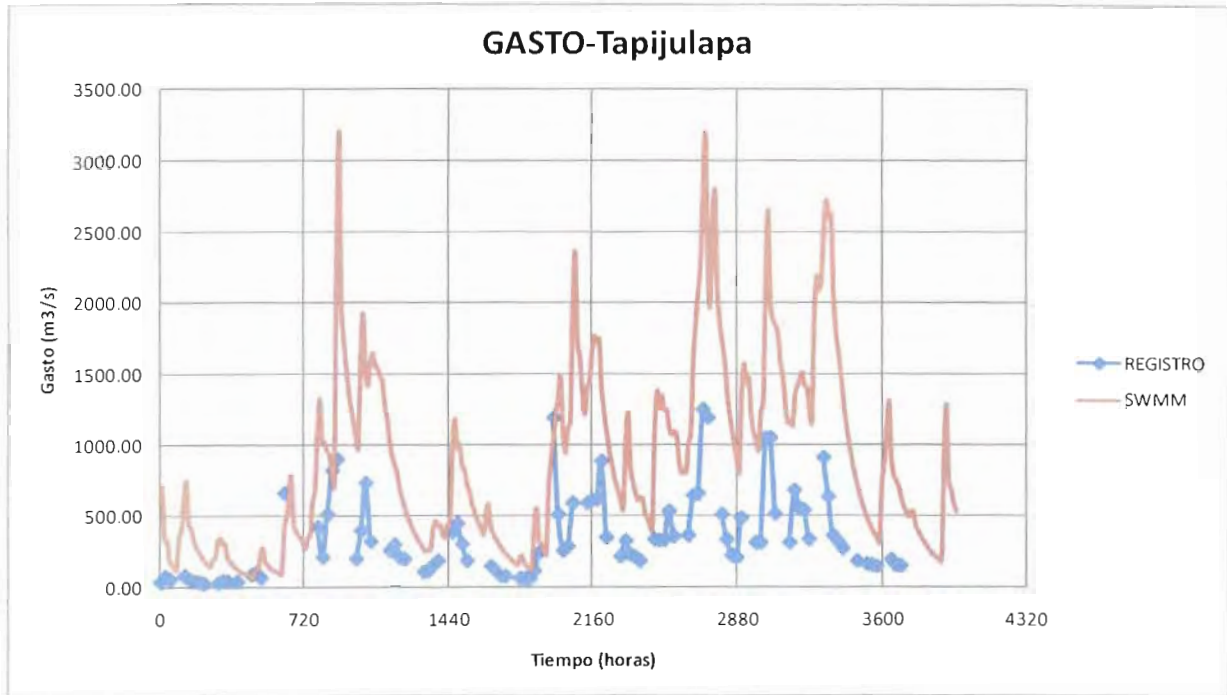


Figura 2.c. 12 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Tapijulapa

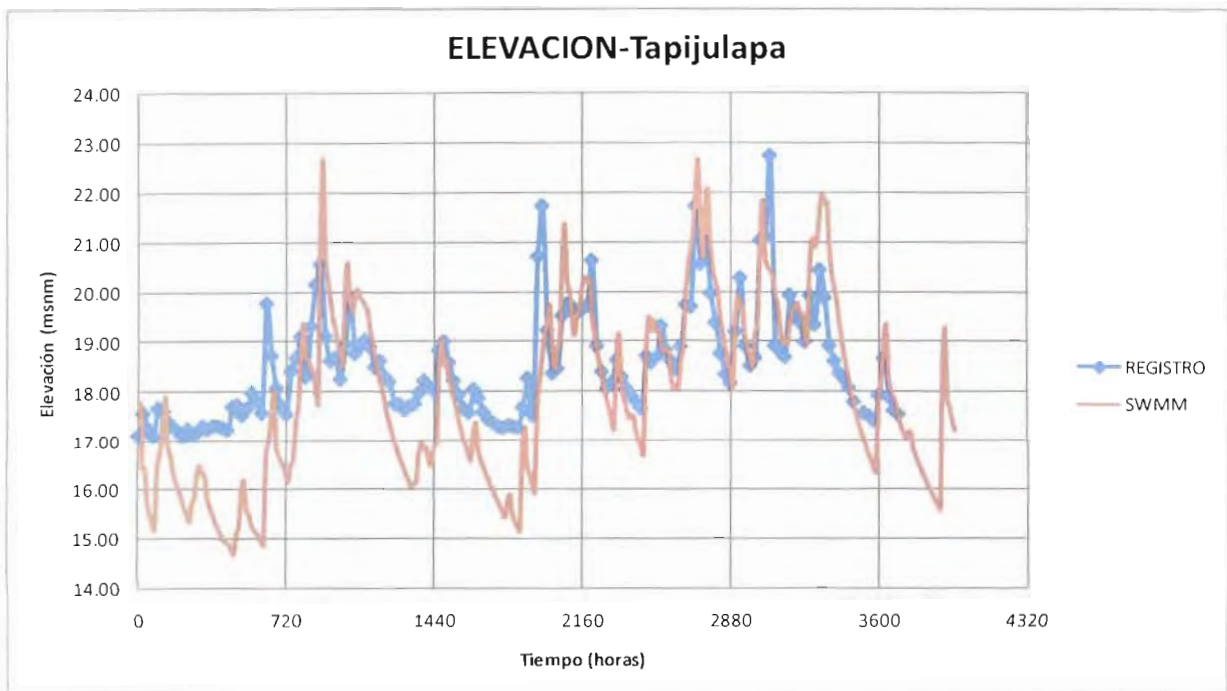


Figura 2.c. 13 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Tapijulapa

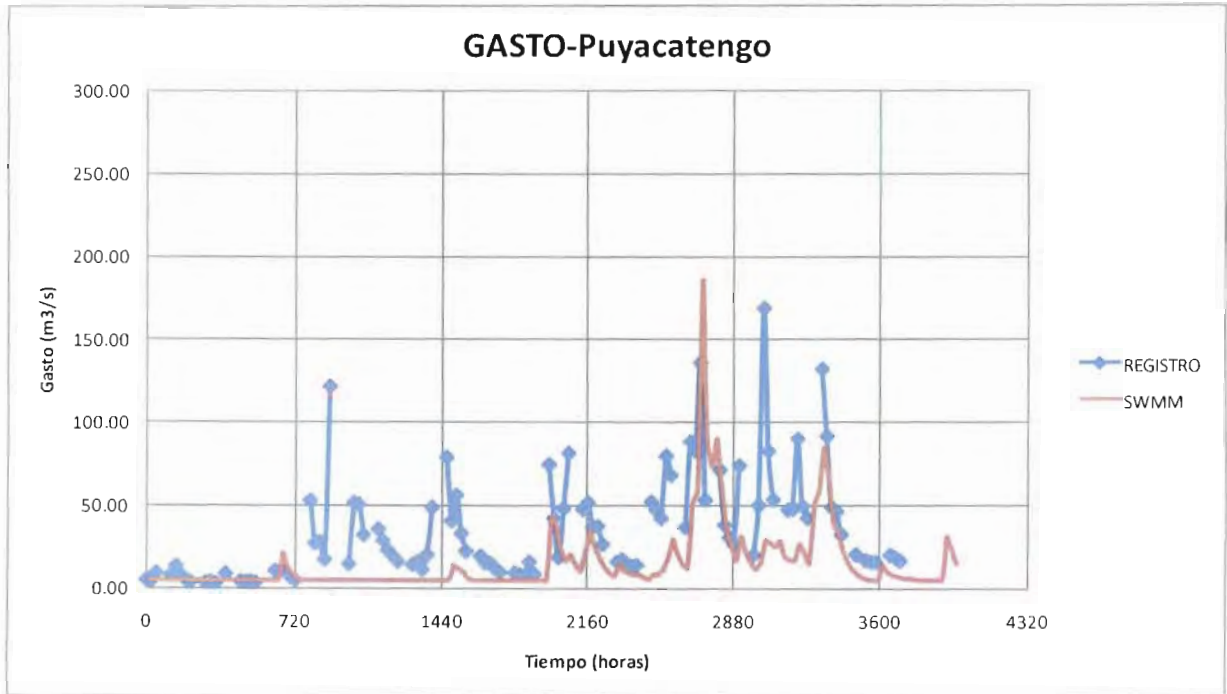


Figura 2.c. 14 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Puyacatengo

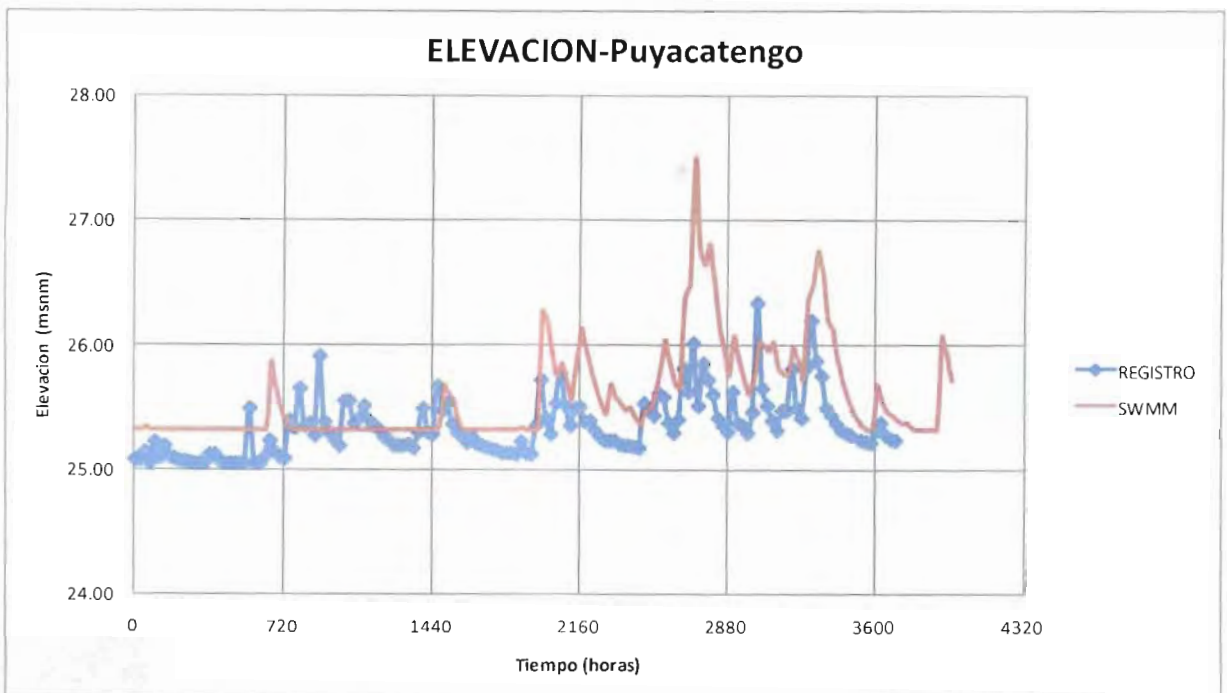


Figura 2.c. 15 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Puyacatengo

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO, (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

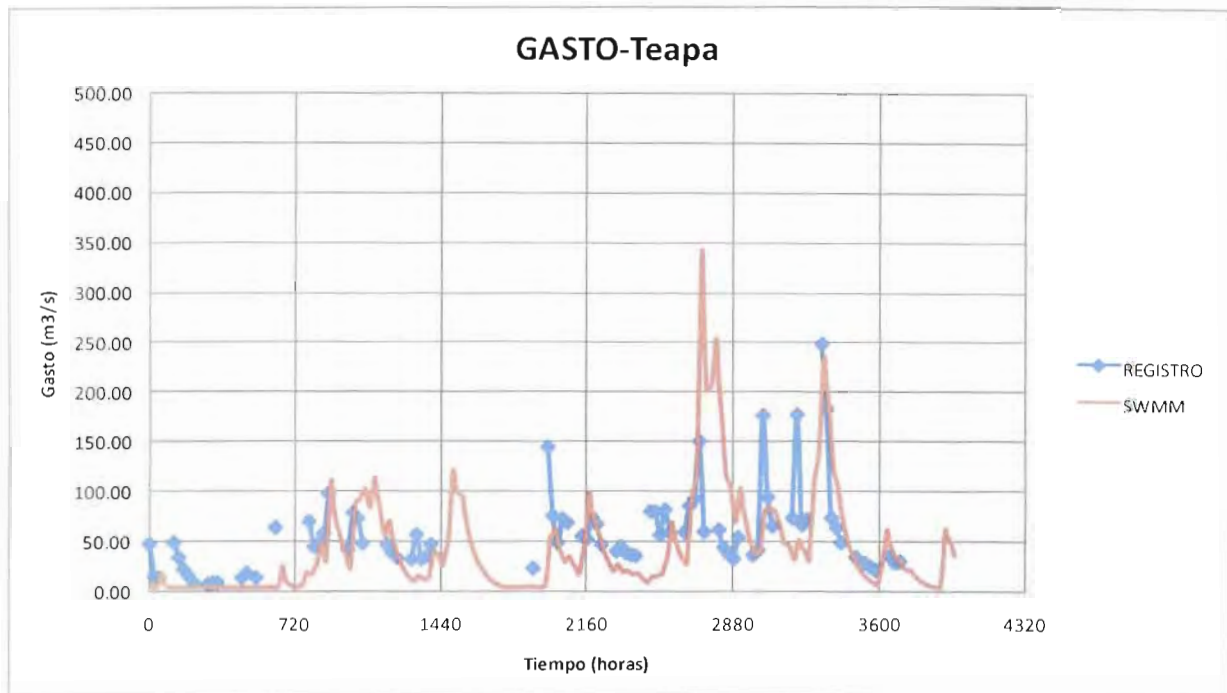


Figura 2.c. 16 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Teapa

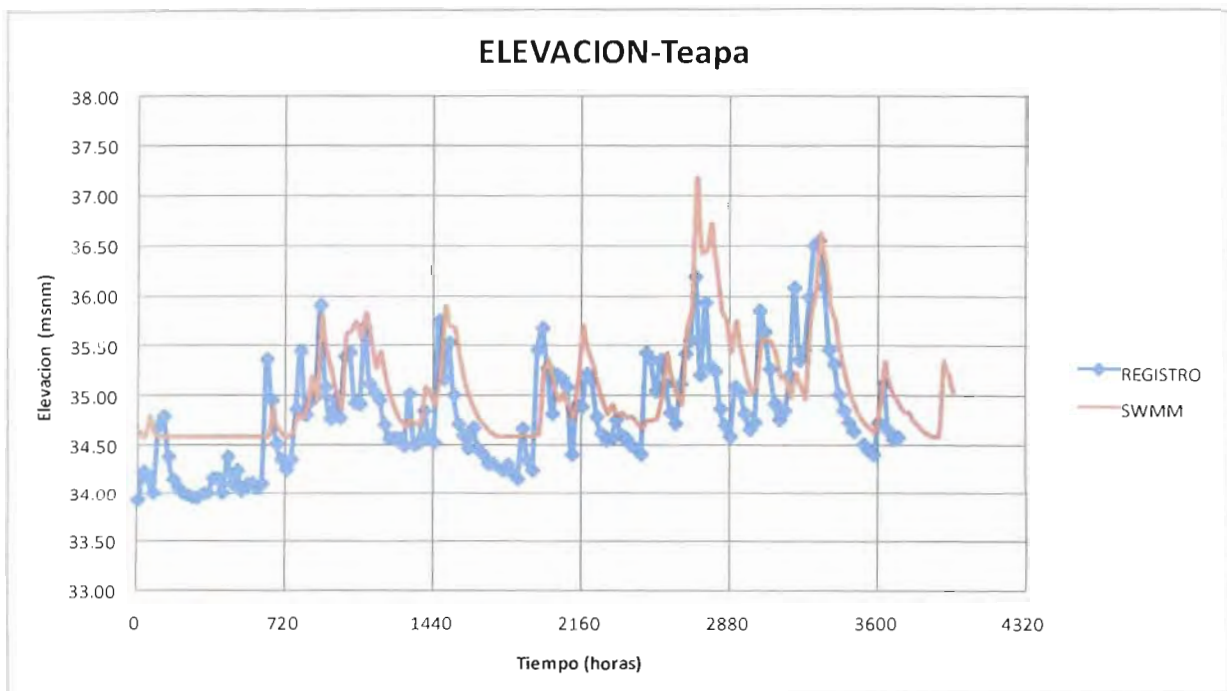


Figura 2.c. 17 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Teapa

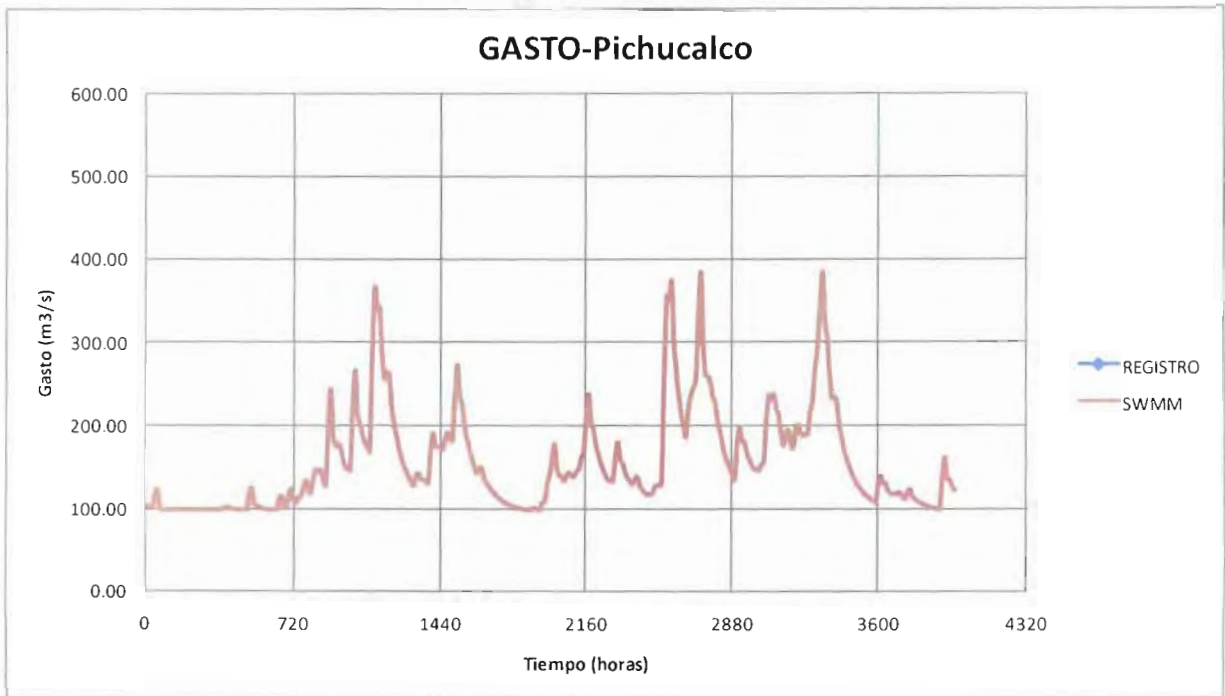


Figura 2.c. 18 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH San Joaquín

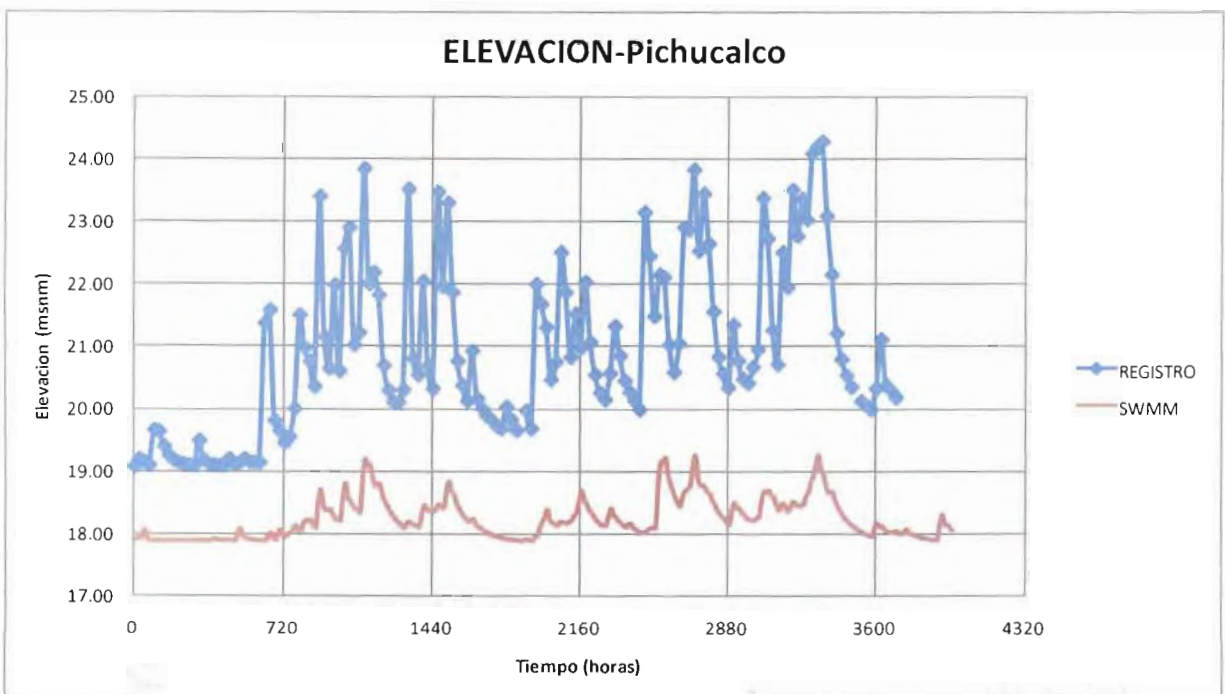


Figura 2.c. 19 Resultados de la primera simulación para calibrar el año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH San Joaquín

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Las gráficas anteriores (figuras 12-19) describen el gasto y elevaciones en las estaciones hidrométricas los cuales son los puntos de control dentro del modelo lluvia-escorrimento del SWMM. La línea azul describe el comportamiento de los datos medidos por la CONAGUA, mientras que la línea roja describe el comportamiento de los resultados obtenidos con el modelo SWMM. A partir de estos resultados se comenzaron a trabajar con diferentes valores de K y ψ , hasta obtener el mejor ajuste de datos.

Nota. La gráfica de gastos del punto de control Pichucalco (estación hidrométrica San Joaquín) no presenta datos medidos, debido a que durante el periodo de calibración los boletines hidrometeorológicos no reportaban esta variable.

En la siguiente tabla se muestran las combinaciones de valores de infiltración por subcuenca las cuales arrojaron valores satisfactorios, debido a que presentó el mejor ajuste de curvas.

Tabla 2.c. 3 Combinación de parámetros para calibrar el modelo lluvia-escorrimento

Subcuenca	K (mm/s)	Ψ (mm)	Θ
Aljandro	320	2.0	0.475
Puyacatengo	270	0.1	0.475
Teapa	270	0.2	0.475
Pichucalco	320	0.07	0.475

Los resultados obtenidos con estas combinaciones para los puntos de control del modelo lluvia-escorrimento se muestran a continuación.

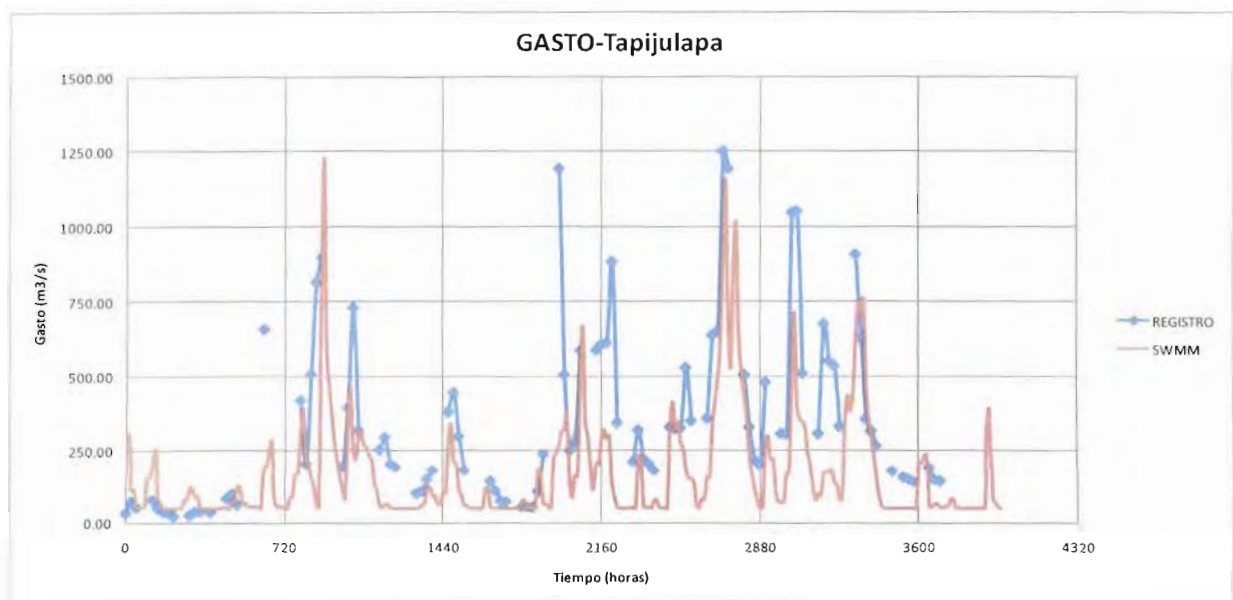


Figura 2.c. 20 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Tapijulapa

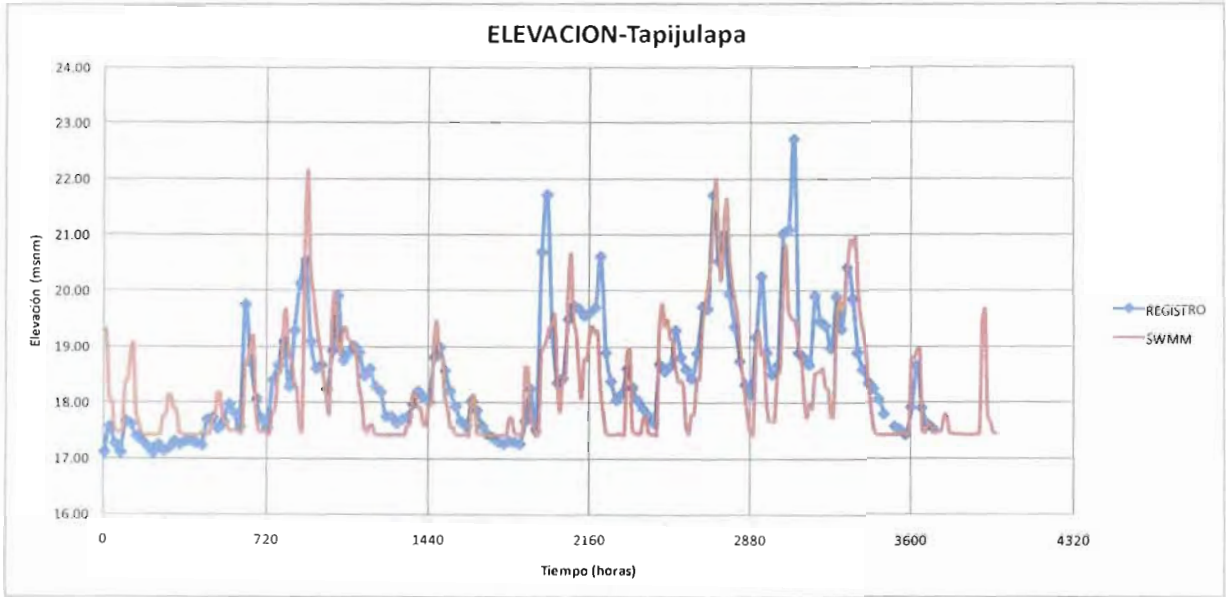


Figura 2.c. 21 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Tapijulapa

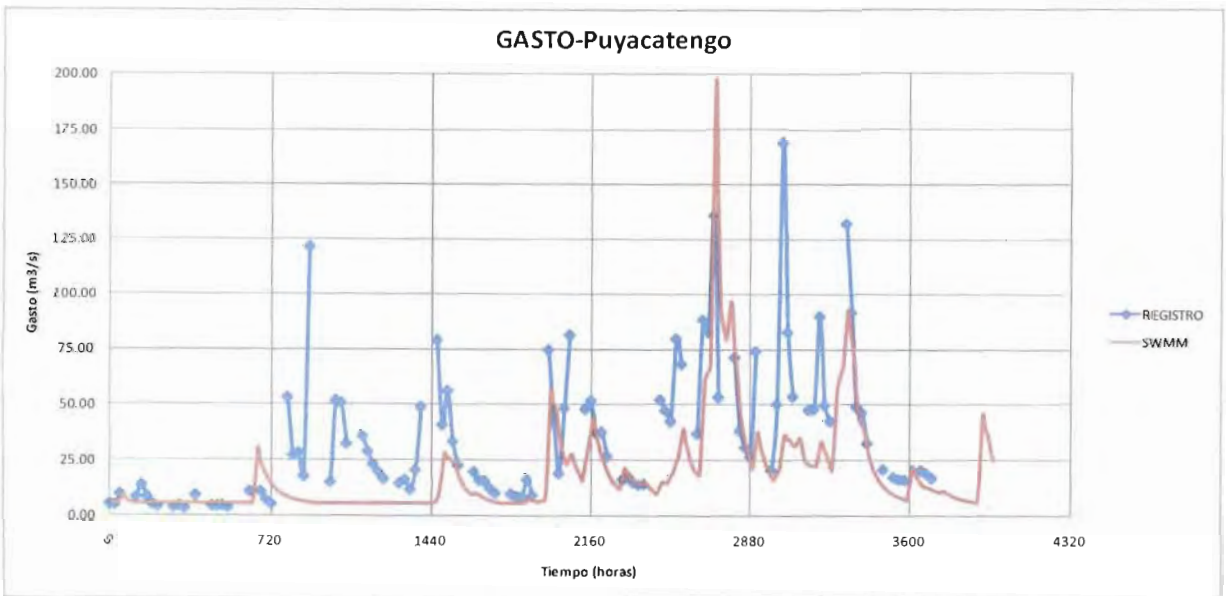


Figura 2.c. 22 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Puyacatengo

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

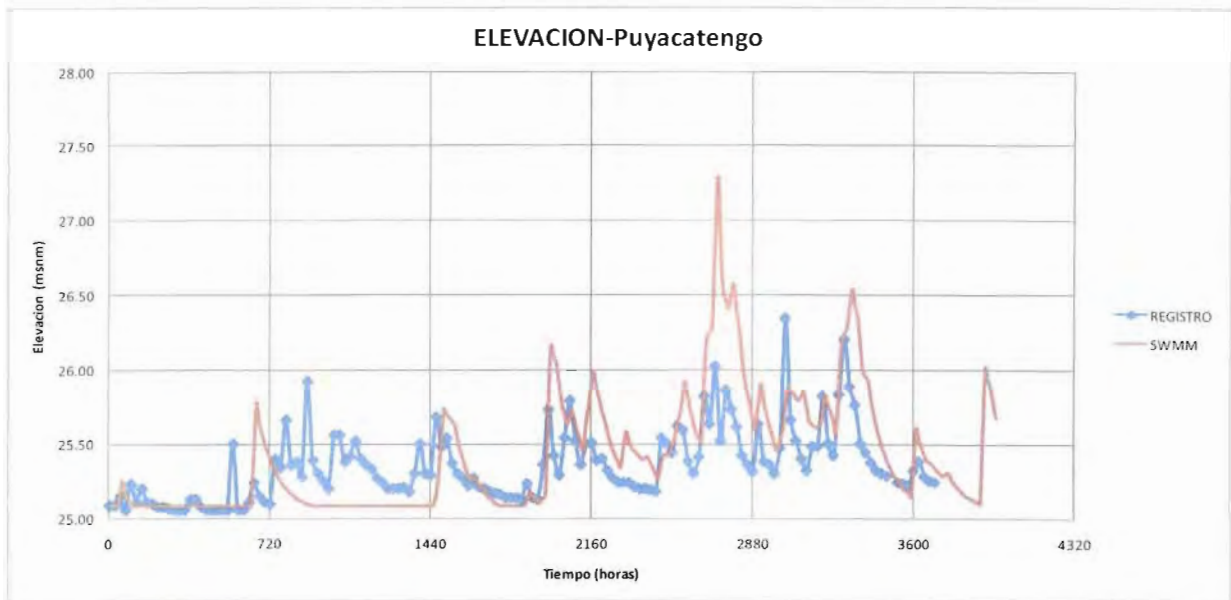


Figura 2.c. 23 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Puyacatengo

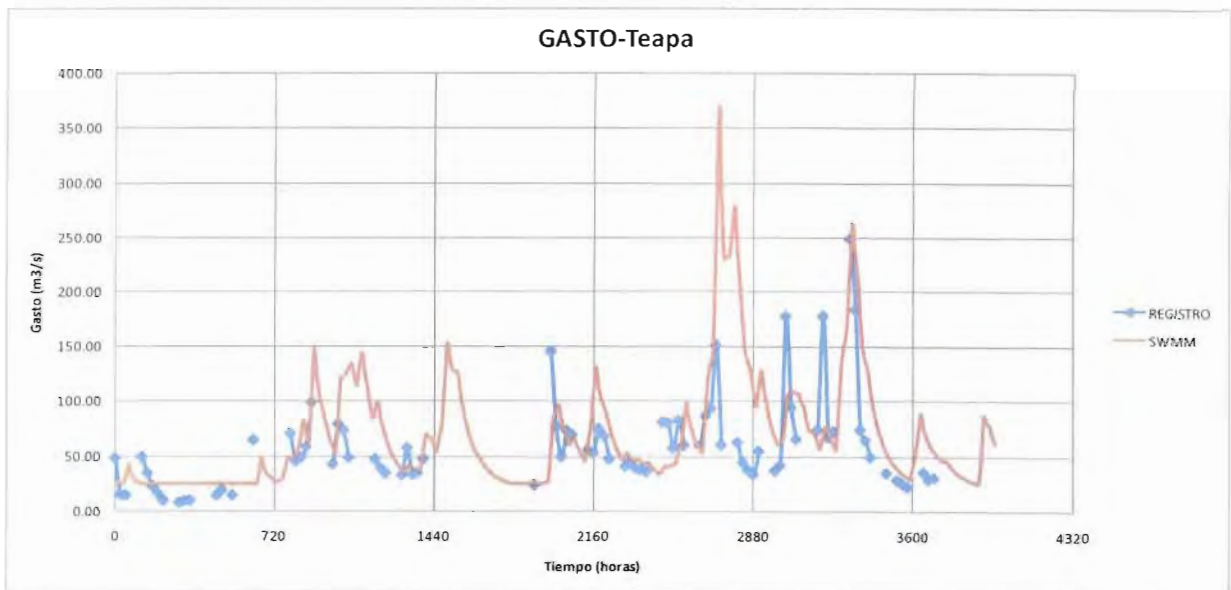


Figura 2.c. 24 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Teapa

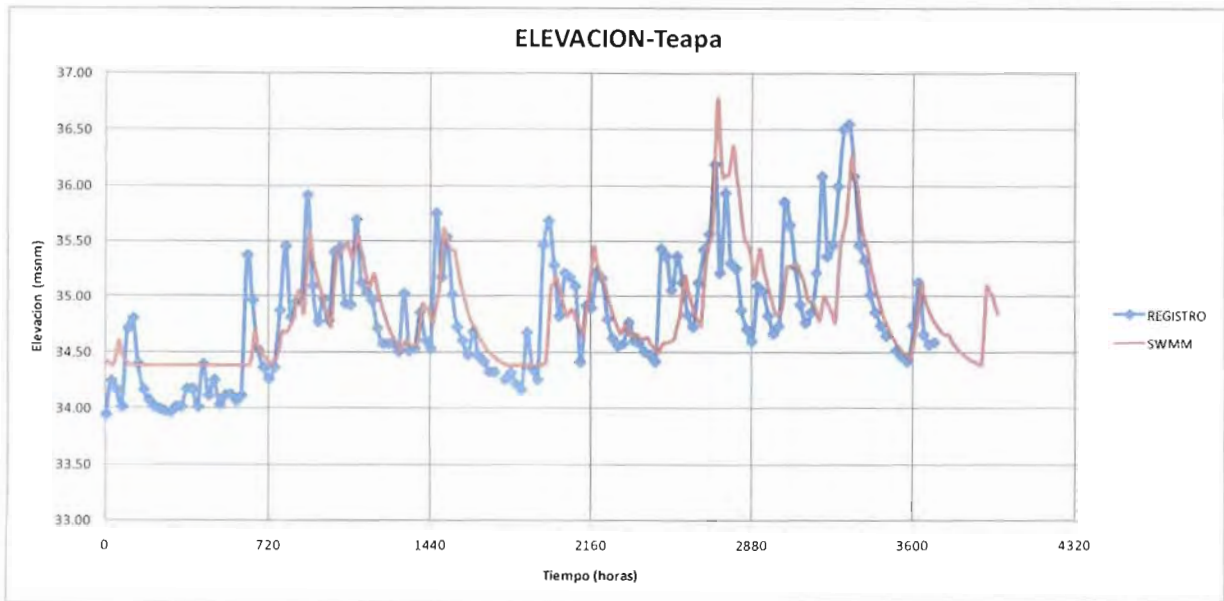


Figura 2.c. 25 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Teapa

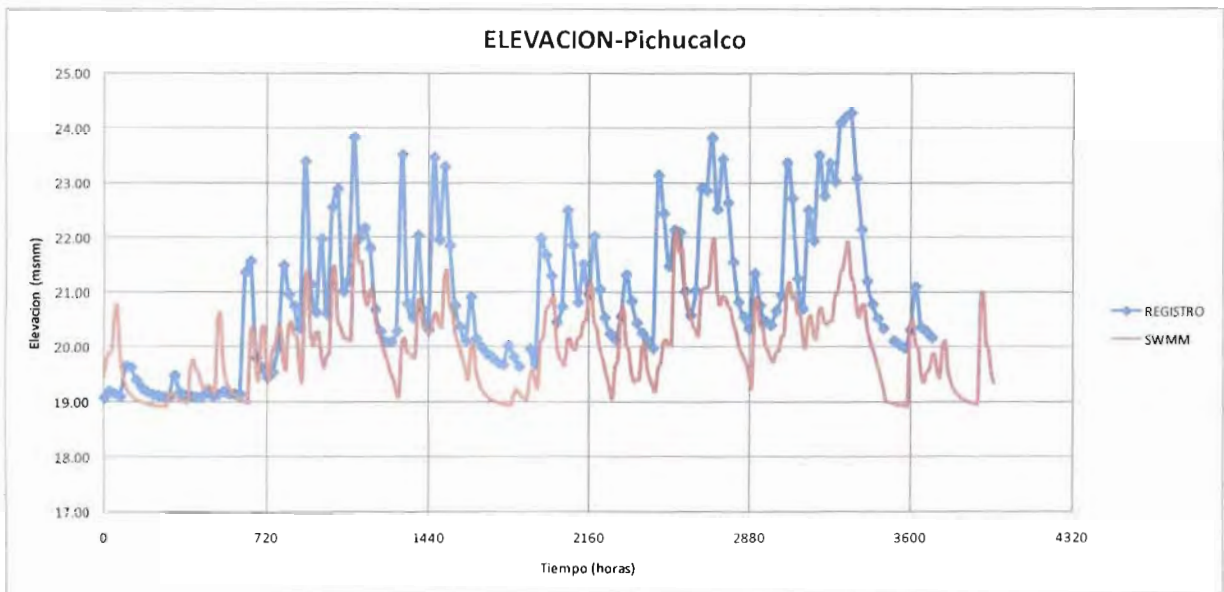


Figura 2.c. 26 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH San Joaquín

Como se puede observar en las figuras anteriores (20-26) los datos resultado de la simulación del modelo lluvia escurrimiento, representan un acercamiento positivo a lo registrado en las estaciones hidrométricas. Con estos resultados se comprobó por medio del modelo tránsito de avenidas los puntos de control aguas abajo de las subcuencas de la Sierra (Porvenir y Pueblo Nuevo), obteniendo los siguientes resultados.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

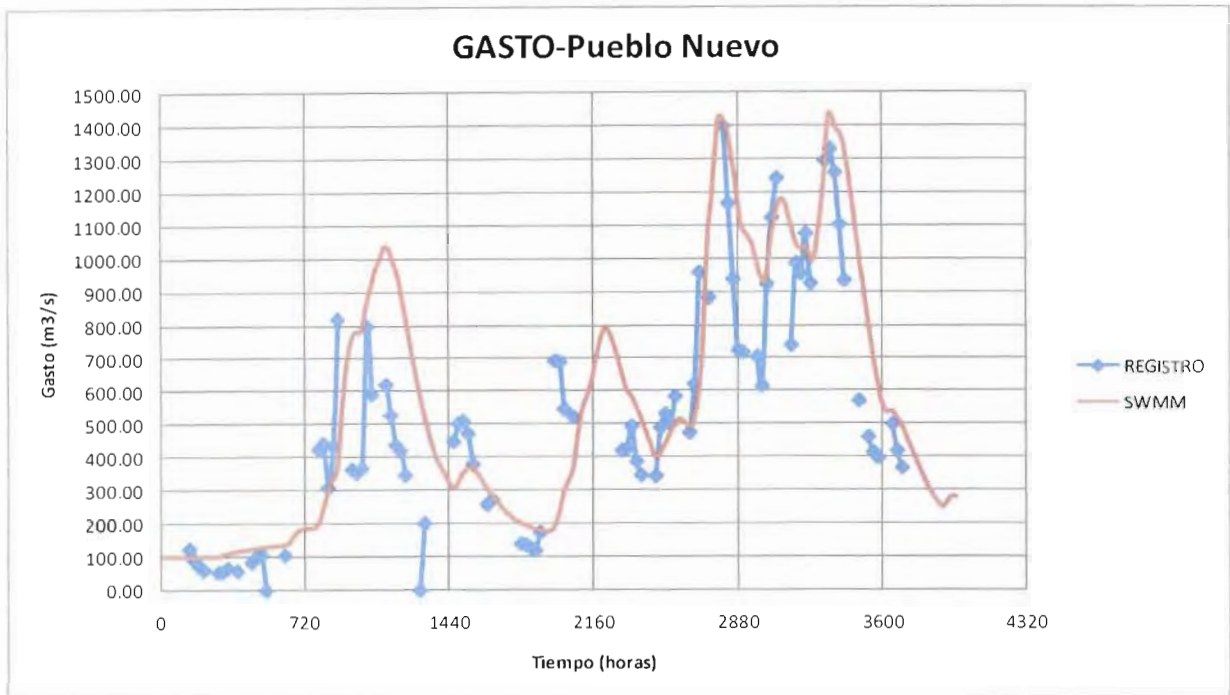


Figura 2.c. 27 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Pueblo Nuevo

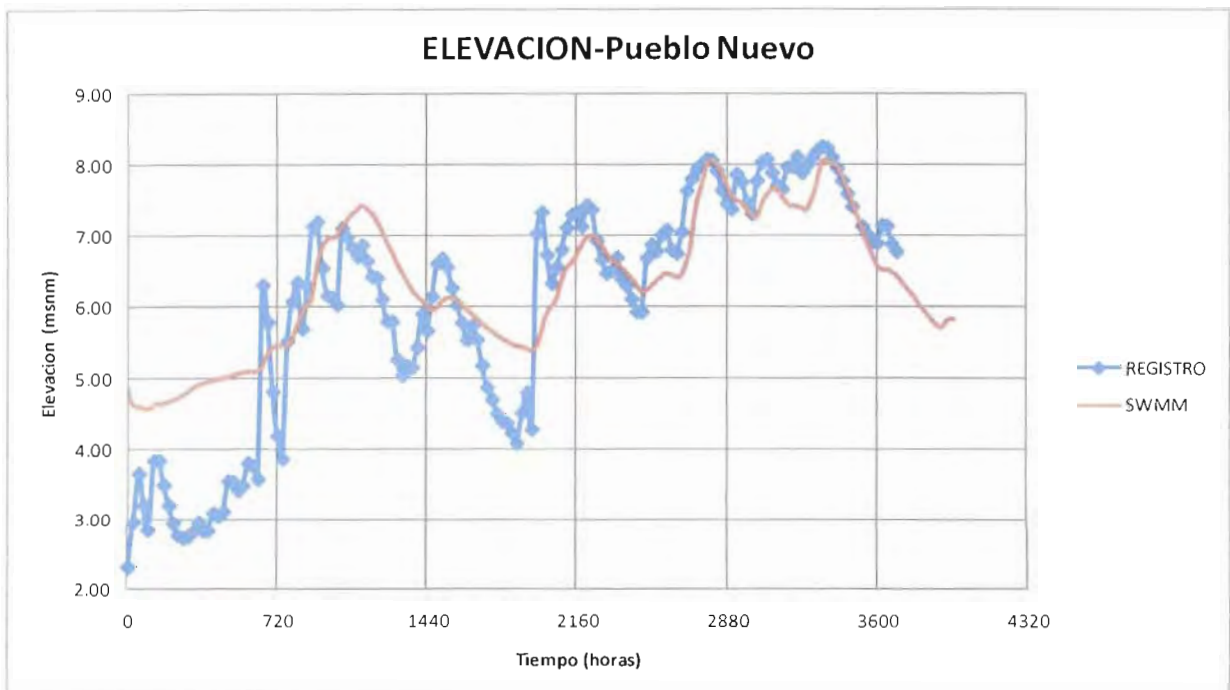


Figura 2.c. 28 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Pueblo Nuevo

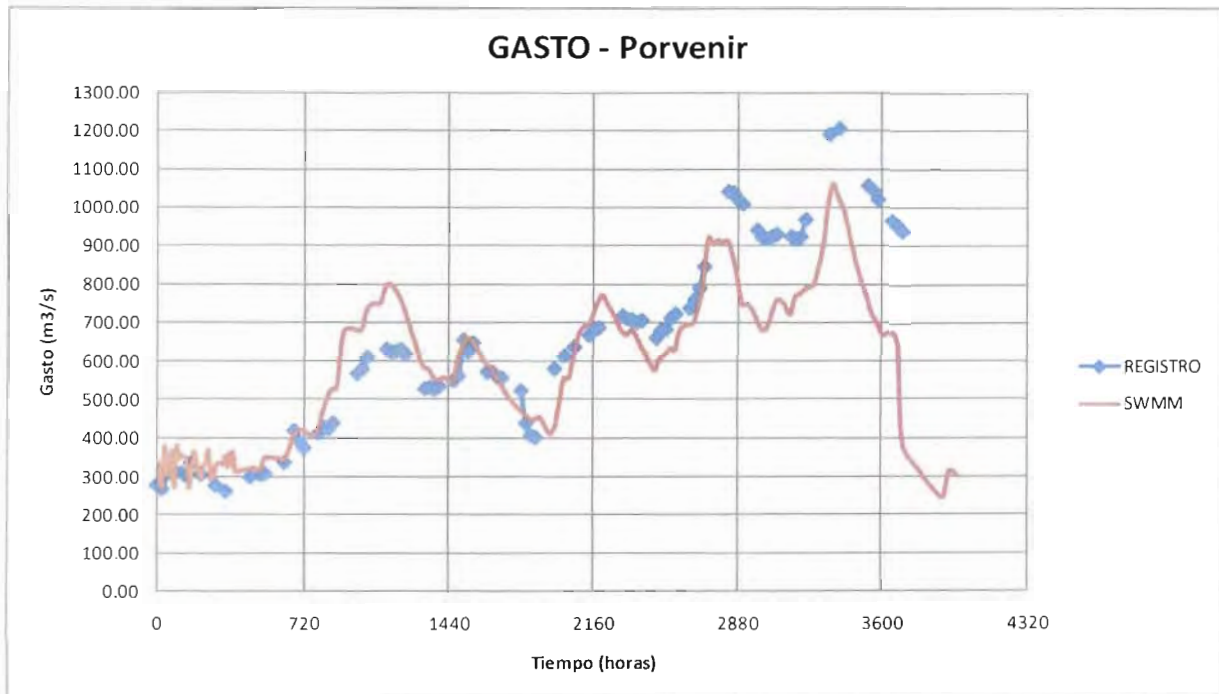


Figura 2.c. 29 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Gasto Punto de control: EH Porvenir

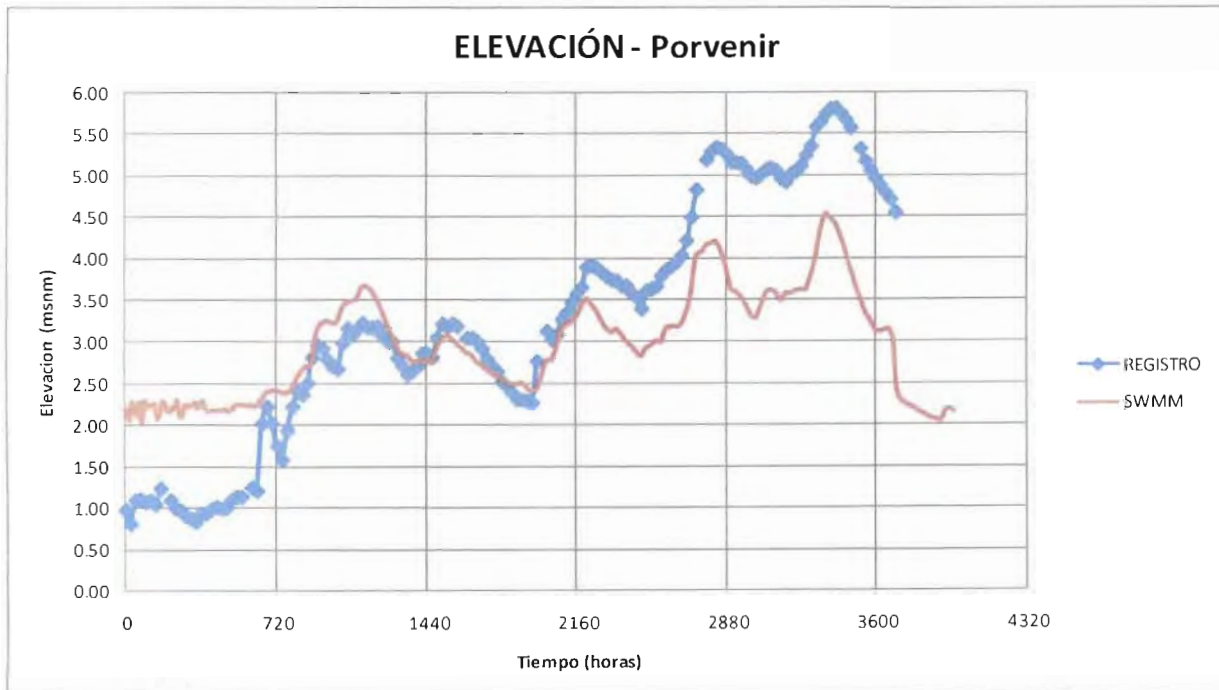


Figura 2.c. 30 Resultados de la calibración del año 2011
Variable: Elevación Punto de control: EH Porvenir

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Se puede observar que los resultados obtenidos a partir del modelo lluvia escurrimiento son buenos, ya que al momento de transitar el escurrimiento calculado, los resultados de la simulación son similares a los medidos en las estaciones hidrométricas.

Una vez calibrado el modelo de los ríos de la Sierra en el modelo SWMM en ambos módulos (lluvia-escurrimiento y tránsito de avenidas) se realizó un análisis de datos obtenidos a partir de las diferentes combinaciones de parámetros del hidroestimador (capacidad hidráulica y potencial de succión).

La metodología a seguir fue la siguiente: se depuraron las simulaciones y se trabajó con las que dieron mejores resultados. Se calculó la diferencia en los picos de las avenidas entre los datos medidos (CONAGUA) y simulados (SWMM) para cada una de las variables (elevación-gasto) y se asignó a un par de datos $K - \psi - \Theta$, esto se hizo para cada una de las subcuencas como se muestra en la tabla 2.c.4.

Tabla 2.c. 4 Análisis de elevaciones y gastos

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			GASTO MAX		GASTO MIN		ELEVACION MAX		ELEVACION MIN	
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM
20/10/2011	ALMANDRO	100	0.25	0	1,248.11	6,771.02	25.16	99.25	22.72	27.8	17.11	18.54
20/10/2011	PUYACATENGO	100	0.25	0	169.00	215.56	3.73	30	26.34	27.12	25.06	25.7
20/10/2011	TEAPA	100	0.25	0	247.97	423.59	7.78	30	36.55	36.99	33.94	34.45
20/10/2011	PICHUCALCO	100	0.25	0	0.00	468.06	0	50.03	24.27	20.55	19.08	18.43
23/11/2011	ALMANDRO	320	0.25	0.475	1,248.11	4,535.87	25.16	67.58	22.72	28.62	17.11	18.28
23/11/2011	PUYACATENGO	320	0.25	0.475	169.00	214.55	3.73	30	26.34	27.11	25.06	25.7
23/11/2011	TEAPA	320	0.25	0.475	247.97	420.26	7.78	30	36.55	36.98	33.94	34.45
23/11/2011	PICHUCALCO	320	0.25	0.475	0.00	466.31	0	50.03	24.27	20.54	19.08	18.43
24/11/2011	ALMANDRO	60.75	31.84	0.437	1,248.11	2,567.48	25.16	50.55	22.72	25.51	17.11	18.07
24/11/2011	PUYACATENGO	108.53	11.48	0.452	169.00	36.13	3.73	30	26.34	25.79	25.06	25.7
24/11/2011	TEAPA	100.01	14.8	0.449	247.97	108.22	7.78	30	36.55	35.28	33.94	34.45
24/11/2011	PICHUCALCO	100.01	14.8	0.449	0.00	297.82	0	50.03	24.27	19.95	19.08	18.43

VF

Tabla 2.c. 4 Análisis de elevaciones y gastos (continuación)

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			GASTO MAX		GASTO MIN		ELEVACION MAX		ELEVACION MIN	
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM
02/12/2011	ALMANDRO	1	0.78	0	1,248.11	4,069.88	25.16	1.47	22.72	28.11	17.11	17.08
02/12/2011	PUYACATENGO	1	0.78	0	169.00	154.77	3.73	0	26.34	26.79	25.06	24.48
02/12/2011	TEAPA	1	0.78	0	247.97	298.28	7.78	0	36.55	36.45	33.94	33.61
02/12/2011	PICHUCALCO	1	0.78	0	0.00	349.75	0	0.03	24.27	22.15	19.08	18.92
05/12/2011	ALMANDRO	270	0.78	0.475	1,248.11	4,069.99	25.16	1.47	22.72	28.09	17.11	17.08
05/12/2011	PUYACATENGO	270	0.78	0.475	169.00	154.77	3.73	0	26.34	26.79	25.06	24.48
05/12/2011	TEAPA	270	0.78	0.475	247.97	298.28	7.78	0	36.55	36.45	33.94	33.61
05/12/2011	PICHUCALCO	270	0.78	0.475	0.00	349.78	0	0.03	24.27	22.15	19.08	18.92
07/12/2011	ALMANDRO	270	0.78	0.475	1,248.11	2,669.38	25.16	15.18	22.72	25.67	17.11	17.49
07/12/2011	PUYACATENGO	270	0.78	0.475	169.00	174.77	3.73	20	26.34	26.9	25.06	25.52
07/12/2011	TEAPA	270	0.78	0.475	247.97	328.28	7.78	30	36.55	36.6	33.94	34.45
07/12/2011	PICHUCALCO	270	0.78	0.475	0.00	399.74	0	50.03	24.27	20.32	19.08	18.43
08/12/2011	ALMANDRO	270	0.8	0.475	1,248.11	3,122.26	25.16	15.46	22.72	25.6	17.11	16.84
08/12/2011	PUYACATENGO	270	0.8	0.475	169.00	158.99	3.73	5	26.34	26.81	25.06	25.06
08/12/2011	TEAPA	270	0.8	0.475	247.97	326.36	7.78	30	36.55	36.59	33.94	34.45
08/12/2011	PICHUCALCO	270	0.8	0.475	0.00	245.28	0	5	24.27	19.73	19.08	17.55
09/12/2011	ALMANDRO	270	0.7	0.475	1,248.11	3,229.35	25.16	15.46	22.72	25.76	17.11	16.84
09/12/2011	PUYACATENGO	270	0.6	0.475	169.00	165.62	3.73	5	26.34	26.85	25.06	25.06
09/12/2011	TEAPA	270	0.2	0.475	247.97	430.92	7.78	30	36.55	37.01	33.94	34.45
09/12/2011	PICHUCALCO	270	6	0.475	0.00	136.69	0	5	24.27	19.15	19.08	17.55
13/12/2011	ALMANDRO	270	0.5	0.475	1,248.11	3,126.67	25.16	9.47	22.72	25.58	17.11	16.67
13/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	169.00	169.27	3.73	5	26.34	27.11	25.06	25.02
13/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	247.97	315.19	7.78	5	36.55	36.53	33.94	34.09
13/12/2011	PICHUCALCO	270	0.5	0.475	0.00	270.02	0	15	24.27	19.83	19.08	17.9

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RIO
GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA
ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Tabla 2.c. 4 Análisis de elevaciones y gastos (continuación)

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			GASTO MAX		GASTO MIN		ELEVACION MAX		ELEVACION MIN	
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM
13/12/2011 BIS	ALMANDRO	150	0.5	0.475	1,248.11	3,134.85	25.16	9.47	22.72	25.59	17.11	16.67
13/12/2011 BIS	PUYACATENGO	150	0.5	0.475	169.00	170.09	3.73	5	26.34	27.11	25.06	25.02
13/12/2011 BIS	TEAPA	150	0.5	0.475	247.97	317.73	7.78	5	36.55	36.55	33.94	34.09
13/12/2011 BIS	PICHUCALCO	150	0.5	0.475	0.00	270.45	0	15	24.27	19.83	19.08	17.9
14/12/2011	ALMANDRO	270	0.5	0.475	1,248.11	2,739.40	25.16	50.06	22.72	24.99	17.11	17.44
14/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	169.00	171.38	3.73	6	26.34	27.12	25.06	25.08
14/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	247.97	293.66	7.78	25	36.55	36.43	33.94	34.37
14/12/2011	PICHUCALCO	270	0.5	0.475	0.00	348.06	0	100	24.27	19.14	19.08	17.89
15/12/2011	ALMANDRO	320	1.5	0.475	1,248.11	1,522.86	25.16	50.01	22.72	22.81	17.11	17.44
15/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	169.00	171.37	3.73	6	26.34	27.12	25.06	25.08
15/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	247.97	293.65	7.78	25	36.55	36.43	33.94	34.37
15/12/2011	PICHUCALCO	50	6	0.475	0.00	173.82	0	100	24.27	18.38	19.08	17.89
09/01/2012	ALMANDRO	320	0.05	0.475	1,248.11	2,018.81	25.16	50.07	22.72	20.77	17.11	14.44
09/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	169.00	168.59	3.73	5	26.34	27.41	25.06	25.32
09/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	247.97	277.13	7.78	5	36.55	36.84	33.94	34.59
09/01/2012	PICHUCALCO	320	1.5	0.475	0.00	547.63	0	100.03	24.27	20.8	19.08	18.89
10/01/2012	ALMANDRO	320	1.5	0.475	1,248.11	2,018.99	25.16	50.07	22.72	20.77	17.11	14.44
10/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	169.00	168.60	3.73	5	26.34	27.41	25.06	25.32
10/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	247.97	277.15	7.78	5	36.55	36.84	33.94	34.59
10/01/2012	PICHUCALCO	320	0.03	0.475	0.00	864.50	0	100.28	24.27	21.65	19.08	18.9
11/01/2012	ALMANDRO	320	1.5	0.475	1,248.11	2,018.99	25.16	50.07	22.72	20.77	17.11	14.44
11/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	169.00	168.60	3.73	5	26.34	27.41	25.06	25.32
11/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	247.97	277.15	7.78	5	36.55	36.84	33.94	34.59

VF

Tabla 2.c. 4 Análisis de elevaciones y gastos (continuación)

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			GASTO MAX		GASTO MIN		ELEVACION MAX		ELEVACION MIN	
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM	REGISTRO	SWMM
11/01/2012	PICHUCALCO	320	0.5	0.475	0.00	394.94	0	100.01	24.27	20.31	19.08	18.89
13/01/2012	ALMANDRO	320	2	0.475	1,248.11	1,225.55	25.16	50.01	22.72	22.15	17.11	17.44
13/01/2012	PUYACATENGO	270	0.1	0.475	169.00	197.58	3.73	6	26.34	27.29	25.06	25.08
13/01/2012	TEAPA	270	0.2	0.475	247.97	368.98	7.78	25	36.55	36.78	33.94	34.37
13/01/2012	PICHUCALCO	50	6	0.475	0.00	173.80	0	100	24.27	18.38	19.08	17.89
17/01/2012	ALMANDRO	150	1.5	0.475	1,248.11	1,316.49	25.16	50	22.72	22.36	17.11	17.44
17/01/2012	PUYACATENGO	270	0.1	0.475	169.00	197.58	3.73	6	26.34	27.29	25.06	25.08
17/01/2012	TEAPA	80	0.2	0.475	247.97	371.44	7.78	25	36.55	36.79	33.94	34.38
17/01/2012	PICHUCALCO	50	6	0.475	0.00	173.82	0	100	24.27	18.38	19.08	17.89
18/01/2012	ALMANDRO	150	0.9	1	1,248.11	1,971.23	25.16	50	22.72	23.69	17.11	17.44
18/01/2012	PUYACATENGO	270	0.1	1	169.00	197.36	3.73	6	26.34	27.28	25.06	25.08
18/01/2012	TEAPA	100	0.2	1	247.97	368.29	7.78	25	36.55	36.78	33.94	34.38
18/01/2012	PICHUCALCO	50	1	1	0.00	285.46	0	100	24.27	18.9	19.08	17.89
20/01/2012	ALMANDRO	150	0.9	0.475	1,248.11	2,012.79	25.16	50	22.72	23.76	17.11	17.44
20/01/2012	PUYACATENGO	270	0.1	0.475	169.00	197.58	3.73	6	26.34	27.29	25.06	25.08
20/01/2012	TEAPA	100	0.2	0.475	247.97	371.16	7.78	25	36.55	36.79	33.94	34.38
20/01/2012	PICHUCALCO	3	0.2	0.475	0.00	917.29	0	100.45	24.27	21.77	19.08	18.9

Handwritten signature or initials.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Después se realizó una segunda depuración, donde solo se tomaron los datos máximos de ambas variables (elevación-gasto).

Tabla 2.c. 5 Análisis de elevaciones y gastos máximos por subcuenca

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			DIFERENCIA (MEDIDO-SIMULADO)	
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	GASTO MAX	ELEVACIÓN MAX
05/12/2011	ALMANDRO	270	0.78	0.475	1.594	1.084
07/12/2011	ALMANDRO	270	0.78	0.475	1.701	1.091
08/12/2011	ALMANDRO	270	0.8	0.475	1.661	1.052
09/12/2011	ALMANDRO	270	0.7	0.475	1.872	1.064
13/12/2011	ALMANDRO	270	0.5	0.475	2.399	1.088
14/12/2011	ALMANDRO	270	0.5	0.475	2.691	1.099
15/12/2011	ALMANDRO	320	1.5	0.475	1.080	1.019
10/01/2012	ALMANDRO	320	1.5	0.475	1.080	0.849
11/01/2012	ALMANDRO	320	1.5	0.475	1.080	0.849
13/01/2012	ALMANDRO	320	1.4	0.475	0.799	0.985
05/12/2011	PICHUCALCO	270	0.78	0.475	N/D	0.955
07/12/2011	PICHUCALCO	270	0.78	0.475	N/D	0.896
08/12/2011	PICHUCALCO	270	0.8	0.475	N/D	0.868
09/12/2011	PICHUCALCO	270	6	0.475	N/D	0.860
13/12/2011	PICHUCALCO	270	0.5	0.475	N/D	0.882
14/12/2011	PICHUCALCO	270	0.5	0.475	N/D	0.869
09/01/2012	PICHUCALCO	320	1.5	0.475	N/D	0.924
11/01/2012	PICHUCALCO	320	0.5	0.475	N/D	0.916
05/12/2011	PUYACATENGO	270	0.78	0.475	0.091	0.969
07/12/2011	PUYACATENGO	270	0.78	0.475	1.337	1.003
08/12/2011	PUYACATENGO	270	0.8	0.475	0.401	0.987
09/12/2011	PUYACATENGO	270	0.6	0.475	0.428	0.988
13/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.450	0.988
14/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.512	0.990
15/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.512	0.990
09/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.450	1.000
10/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.450	1.000
11/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.450	0.999

Tabla 2.c. 5 Análisis de elevaciones y gastos máximos por subcuenca (continuación)

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			DIFERENCIA (MEDIDO-SIMULADO)	
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	GASTO MAX	ELEVACIÓN MAX
05/12/2011	TEAPA	270	0.78	0.475	0.258	0.971
07/12/2011	TEAPA	270	0.78	0.475	1.086	0.988
08/12/2011	TEAPA	270	0.8	0.475	1.077	0.988
13/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	0.558	0.981
14/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	1.110	0.989
15/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	1.110	0.989
09/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	0.558	0.996
10/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	0.558	0.996
11/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	0.558	0.996

Para finalizar la depuración de datos, solo se trabajo con la variable ELEVACIÓN ya que no se contaba con datos medidos de la variable gasto del punto de control Pichucalco.

Tabla 2.c. 6 Análisis de elevaciones máximos por subcuenca

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			ELEVACION MAX
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	
05/12/2011	ALMANDRO	270	0.78	0.475	1.084
07/12/2011	ALMANDRO	270	0.78	0.475	1.091
08/12/2011	ALMANDRO	270	0.8	0.475	1.052
09/12/2011	ALMANDRO	270	0.7	0.475	1.064
13/12/2011	ALMANDRO	270	0.5	0.475	1.088
14/12/2011	ALMANDRO	270	0.5	0.475	1.099
15/12/2011	ALMANDRO	320	1.5	0.475	1.019
10/01/2012	ALMANDRO	320	1.5	0.475	0.849
11/01/2012	ALMANDRO	320	1.5	0.475	0.849
13/01/2012	ALMANDRO	320	1.4	0.475	0.985
05/12/2011	PICHUCALCO	270	0.78	0.475	0.955
07/12/2011	PICHUCALCO	270	0.78	0.475	0.896
08/12/2011	PICHUCALCO	270	0.8	0.475	0.868
09/12/2011	PICHUCALCO	270	6	0.475	0.860
13/12/2011	PICHUCALCO	270	0.5	0.475	0.882
14/12/2011	PICHUCALCO	270	0.5	0.475	0.869

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Tabla 2.c. 6 Análisis de elevaciones máximos por subcuenca

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			ELEVACION MAX
		ψ (mm)	K (mm/hr)	Φ (fracción)	
09/01/2012	PICHUCALCO	320	1.5	0.475	0.924
11/01/2012	PICHUCALCO	320	0.5	0.475	0.916
05/12/2011	PUYACATENGO	270	0.78	0.475	0.969
07/12/2011	PUYACATENGO	270	0.78	0.475	1.003
08/12/2011	PUYACATENGO	270	0.8	0.475	0.987
09/12/2011	PUYACATENGO	270	0.6	0.475	0.988
13/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.988
14/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.990
15/12/2011	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.990
09/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	1.000
10/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	1.000
11/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	0.999
05/12/2011	TEAPA	270	0.78	0.475	0.971
07/12/2011	TEAPA	270	0.78	0.475	0.988
08/12/2011	TEAPA	270	0.8	0.475	0.988
13/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	0.981
14/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	0.989
15/12/2011	TEAPA	270	0.5	0.475	0.989
09/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	0.996
10/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	0.996
11/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	0.996

En la Tabla 2.c.6 se puede observar que las diferencias de elevación en los picos de los limnigramas oscilan entre 0.849 como mínimo y hasta 1.099 como máximo. Así mismo, en lo que corresponde a los valores del parámetro conductividad hidráulica (K) este solo presenta dos valores 320 y 270. En el parámetro de altura de succión (ψ) los valores oscilan entre 0.5 y hasta 1.5. Con base en estos valores se generó una gráfica *característica de las subcuencas de la Sierra*, la cual tiene como objetivo concentrar el número de datos de infiltración para futuras calibraciones del modelo. (figura 2.c.31)

Relación K- ψ v.s $h_{\text{calculado}}/h_{\text{medido}}$

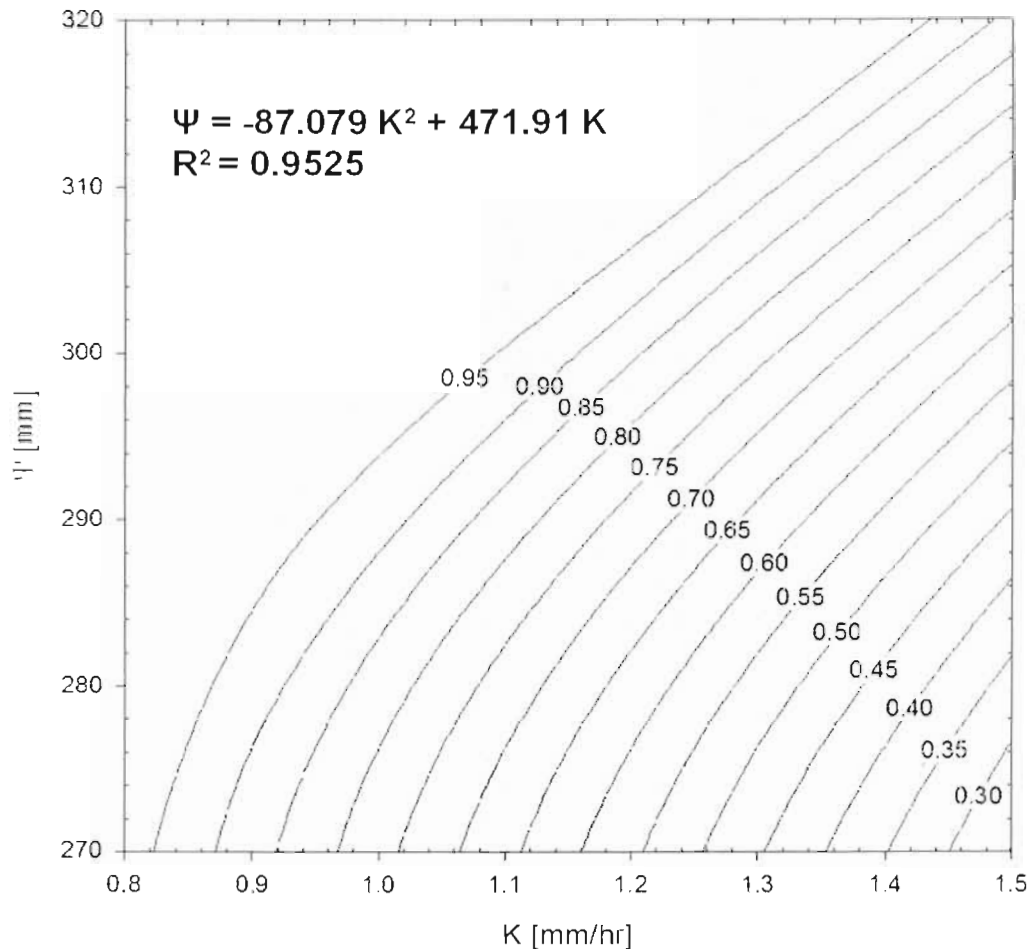


Figura 2.c. 31 Gráfica de ajuste polinomial para determinar los coeficientes de infiltración para las subcuencas del río de la Sierra

Es importante señalar que la gráfica mostrada en la figura 2.c.31, solo puede ser aplicada para el caso de las subcuencas de los ríos de la Sierra. En resumen, el proceso de calibración consistió en:

1. Variar los coeficientes de conductividad hidráulica saturada (K) y la altura de succión (ψ). Los resultados obtenidos fueron comparados con los datos obtenidos de los boletines de la CONAGUA.
2. Se relacionaron los valores de elevación del agua medida (registrada por CONAGUA) y la elevación del agua calculada (SWMM) en un ajuste polinomial de segundo orden. Obteniendo una gráfica característica para las subcuencas de la Sierra de los parámetros de infiltración por el método de Green-Ampt.

d) ELABORACIÓN DE ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE RÍOS DE LA SIERRA

Este sistema está conformado por cinco ríos principales: río Pichucalco, río Teapa, río Puyucatengo, río Tacotalpa y río Oxolotán.

Río Grijalva

Es la corriente más importante del estado de Chiapas; nace en Guatemala en la Sierra de Cuchumatanes, entra a México formado por varias corrientes, siendo las principales los ríos Lagartero, Dolores y Saleguá que al confluir forman el río San Gregorio. Por otro lado, el río San Miguel cuyo origen se sitúa también en Guatemala, baja de la Sierra de Soconusco y se une al río San Gregorio dando origen al río Grijalva. Este corre en dirección noreste, atravesando el valle de Chiapas en donde se le conoce como río Grande de Chiapas.

10 km aguas abajo del sitio donde estuvo la EH El Dorado, el río sufre una bifurcación por un nuevo cauce que abrió hacia su margen izquierda en 1932, brazo que recibió el nombre de río Samaria y cuyo rumbo es hacia el norte, hasta desembocar en el Golfo de México. Finalmente, el brazo derecho está dividido a su vez en dos corrientes: una localizada al norte, llamada río Carrizal y otra al sur, el río Viejo Mezcalapa.



Río Carrizal

Llamado también río Nuevo, es propiamente un brazo del río Mezcalapa, localizado en la Sección Carrizal de la zona de la Chontalpa. Su escurrimiento, aguas abajo de Villahermosa, puede retornar al Grijalva por el canal de La Pigua o pasar al río Medellín que es afluente del río González y posteriormente desembocar en el Golfo de México, en la Bahía de Chilatepec.



Río Pichucalco

Este río también conocido como río Blanquillo, es afluente del Grijalva; nace cerca de Chapultenango a 1,600 m de altitud, en la meseta central de Chiapas; recorre 97 km de sur a norte, pasando por la ciudad de Pichucalco y 1 km aguas arriba confluye al Viejo Mezcalapa por su margen derecha (a 60 m, aproximadamente, del puente carretero de Villahermosa a Teapa). Es navegable desde Paso de Cosayupa, cuatro km al este de la población de Pichucalco, hasta su confluencia al Viejo Mezcalapa. La cuenca total del río hasta su entrada al Grijalva es de 1,006 km².



Río de La Sierra

Este tiene su origen en el Altiplano central de Chiapas, uniéndose a lo largo del desarrollo de su cauce principal (200 km), importantes ríos y arroyos; en su parte alta se le conoce, sucesivamente como río Almandro, Oxolotán y Tapijulapa, pasa al estado de Tabasco con el nombre de río Tacotalpa, recibe por su margen izquierda las aguas unidas de los ríos Teapa y Puyacatengo. Cuatro km antes de Villahermosa, Tabasco; se une al río Grijalva por su margen derecha. La cuenca total de este río hasta la confluencia con el Grijalva es de 5,633 km².



MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO.
(MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Para la elaboración del esquema simplificado de los ríos de la Sierra, fue necesario conocer la red hidrográfica del estado de Tabasco y limitar la zona de estudio. En la siguiente figura se muestra al estado de Tabasco con su red hidrográfica, donde se puede observar en el recuadro rojo los ríos en estudio: Carrizal, Bajo Grijalva, Pichucalco, Teapa, Puyacatengo y Tapijulapa.

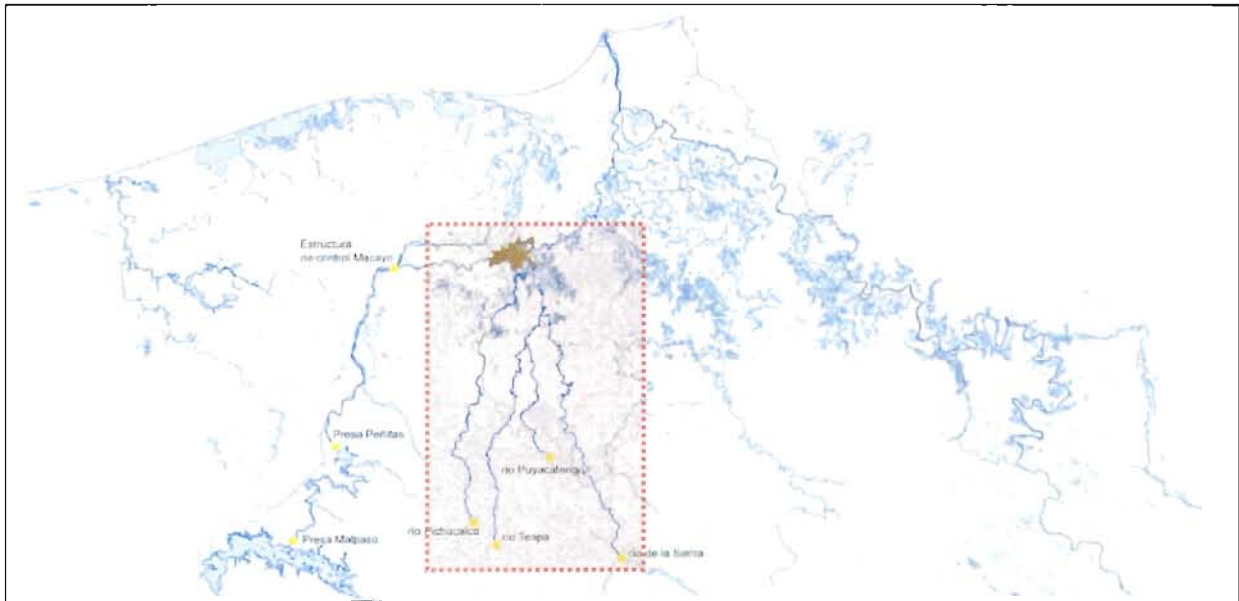


Figura 2.d.1 Mapa de la hidrología del estado de Tabasco y Chiapas, así como, el sistema de presas del Grijalva

Para realizar el proyecto en el SWMM 5.0 se requirió de una serie de pasos básicos, con el objetivo de poder representar de forma clara y precisa el problema. Estos pasos básicos son los siguientes:

1. Determinación de opciones y propiedades por defecto de los objetos visuales
2. Esquematización de los componentes físicos del área de estudio
3. Edición de las propiedades de los objetos que componen el esquema
4. Elección de las opciones de análisis
5. Simulación
6. Visualización de resultados

d.1) Representación unifilar del sistema de drenado superficial de la zona de los ríos de la Sierra

Para simular el sistema de ríos de la Sierra en el SWMM v.5.0 fue necesario generar un esquema por medio de objetos, tales como: Nudos (*junction*), conductos (*conduit*), vertedores (*weir*), almacenamientos (*storage unit*) y cuencas (*subcatchment*). Se utilizó una plantilla de fondo la cual fue generada a partir de información vectorial de INEGI de la *Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0* de la región hidrográfica No.30. (ver figura 2.d.2)

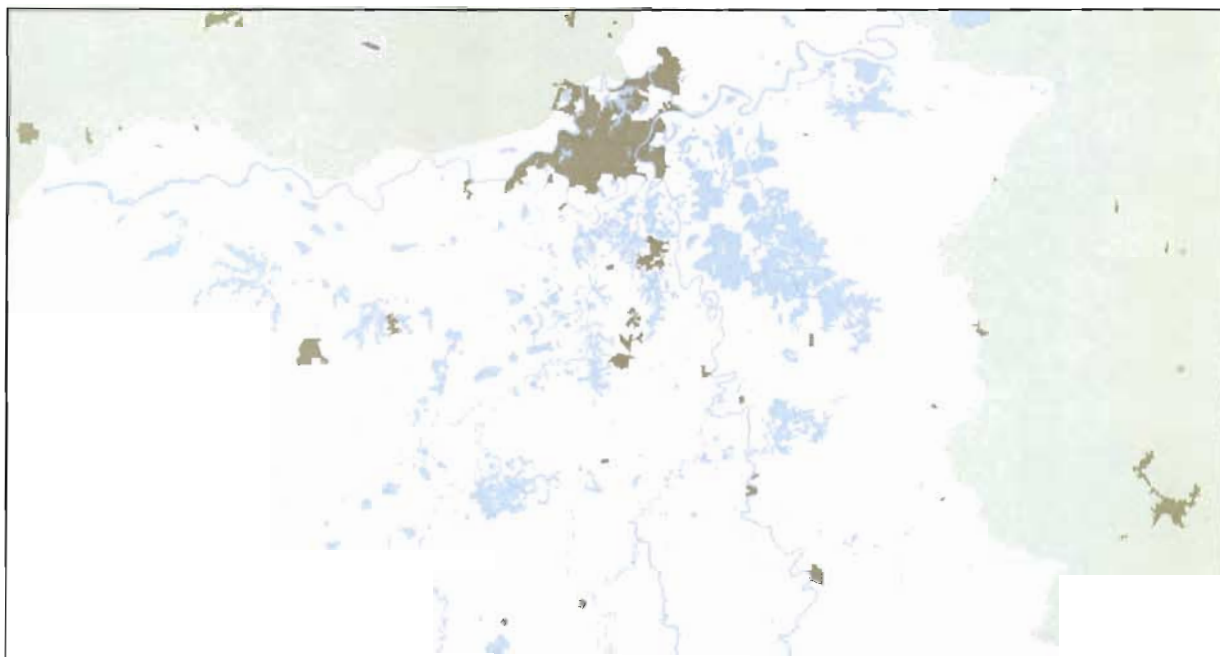


Figura 2.d. 2 Red hidrográfica de la zona de los ríos de la Sierra

El modelo de la Sierra-Carrizal-Bajo Grijalva, está integrado por los ríos: río Tacotalpan, río Puyacatengo, río Teapa, río Pichucalco, río Carrizal y río Grijalva. Estos cauces fueron esquematizados como conductos abiertos de forma irregular con 121 secciones transversales proporcionadas por la CONAGUA con un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.030. En la tabla siguiente se muestra el número de secciones transversales utilizadas por río. Cada una de estas secciones transversales estas pueden ser consultadas en el Anexo 2.d.1 así como su ubicación en la figura 2.d.3.

Tabla 2.d. 1 Número de secciones transversales empleadas en el SWMM v5.0

Río	No. de secciones empleadas
Tacotalpa	30
Puyacatengo	5
Teapa	11
Carrizal	11
Grijalva	41
La Sierra	21
Pichucalco	2

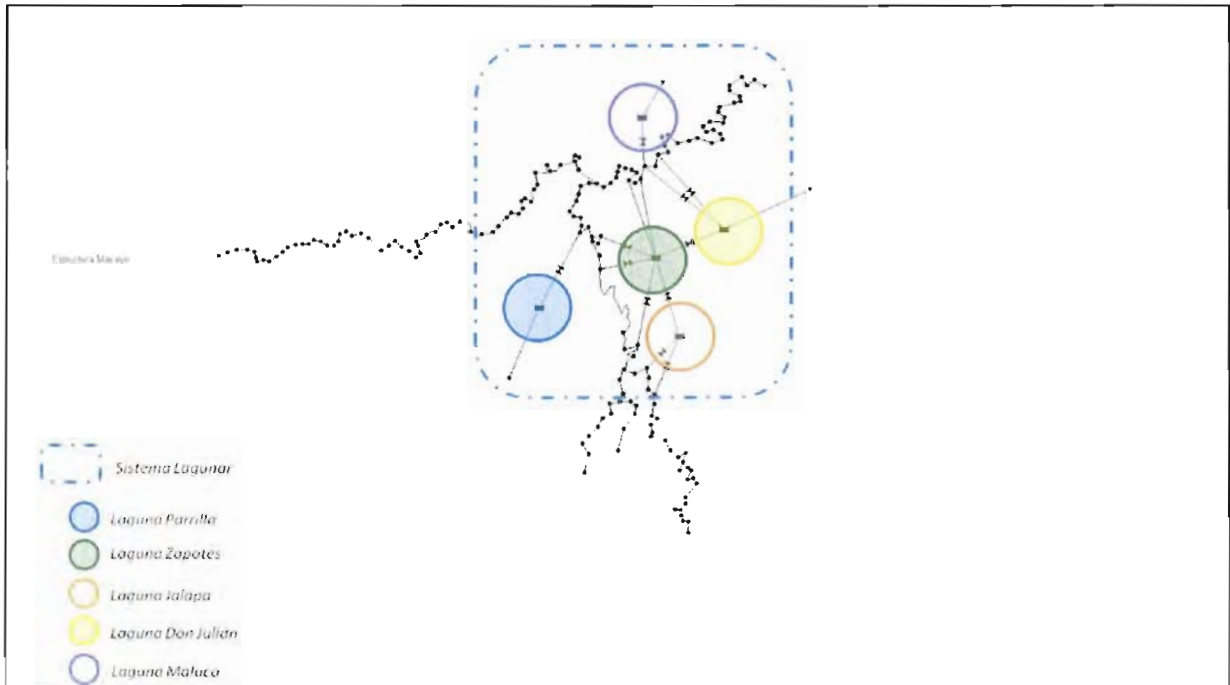


Figura 2.d. 4 Esquema gráfico del Sistema Lagunar en el SWMM v5.0

El SWMM v5.0 no cuenta con la opción de *Sistema Lagunar*, sin embargo se trabajó como *Unidad de Almacenamiento (Storage Unit)*, para lo cual es necesario contar con la curva *Gastos vs Elevaciones* de cada laguna. Para este estudio, solo se contó con las curvas de las lagunas Zapotes, Parrilla y Don Julián. Las lagunas El Maluco y Jalapa, fueron estimadas. (Anexo 2.d.2)

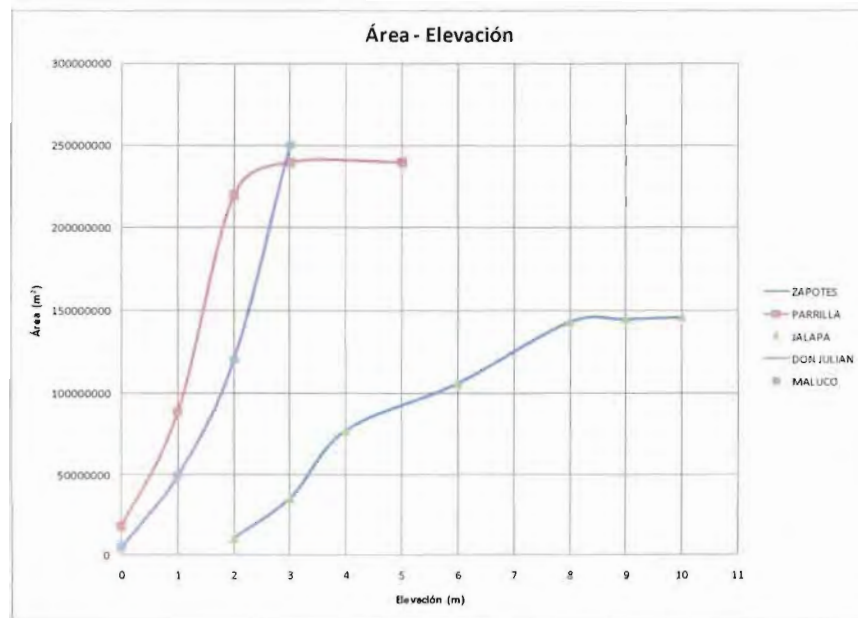


Figura 2.d. 5 Curvas Elevación-Capacidad de las lagunas simuladas en el SWMM

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

En el Plan Hídrico Integral de Tabasco, se han propuesto diferentes *Estructuras de Control* para mitigar los daños ocasionados por las inundaciones en la ciudad de Villahermosa y sus alrededores. Por lo cual, estas obras también fueron esquematizadas dentro del software SWMM v5.0. (Figura 2.d.6), con las consideraciones mostradas en la Tabla 2.d.2

Tabla 2.d. 2 Características de las estructuras de control empleadas en la simulación con el SWMM v5.0

ESTRUCTURA DE CONTROL	COTA DE VERTIDO (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)
Sabanilla	5.5	200
Censo	5.5	200
Raíces	7.5	200
Zapotes-Don Julián	4.0	400
Maluco I	4.0	100
Maluco II	4.0	100
Tintillo I	4.0	100
Tintillo II	4.0	100

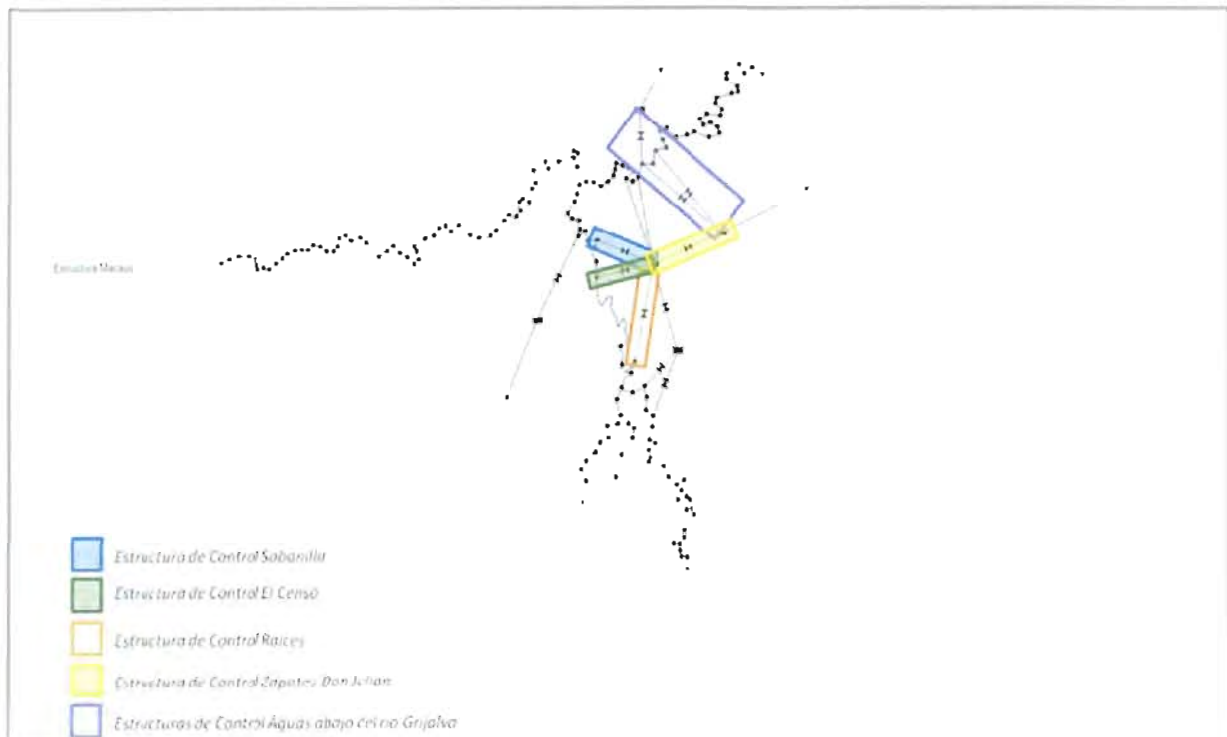


Figura 2.d. 6 Esquema gráfico de las estructuras de control propuestas en el PHIT

Dentro del SWMM v5.0, estas estructuras de control son representadas como *Vertedores (Weir)*. Además existen dentro del esquema cuatro vertedores más, estos solo simulan en un caso el paso del agua de la laguna Parrilla al río de La Sierra y en los tres restantes el desbordamiento -en algunas secciones- del río Tacotalpa a la laguna Jalapa y enseguida el paso del agua de la laguna Jalapa a la laguna Zapotes.

Para que pueda operar el modelo SWMM en conjunto con los datos generados por el hidroestimador es necesario que el esquema del modelo de la Sierra-Carrizal-Bajo Grijalva cuente con los objetos que activen el módulo de transformación de lluvia en escurrimiento, estos son *Subcatchment*, los cuales representarán las subcuencas.

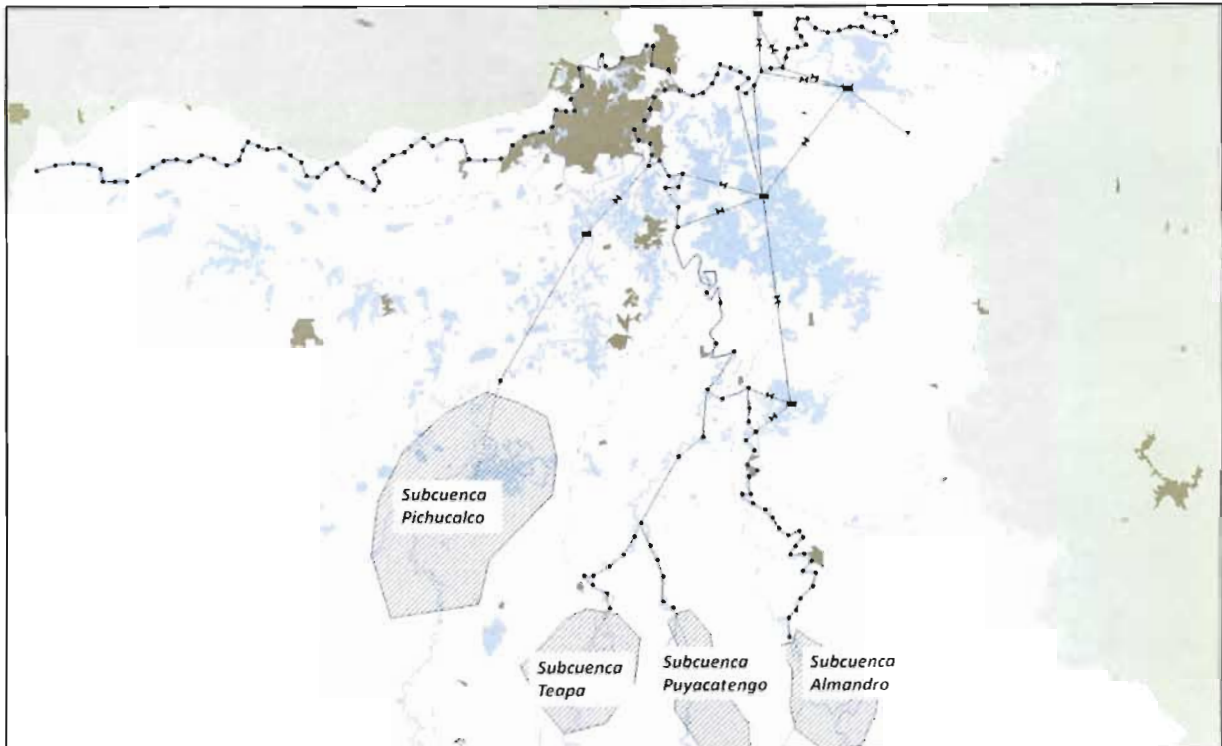


Figura 2.d. 7 Ubicación de las subcuencas dentro del esquema

Las características principales de las subcuencas en estudio son:

Tabla 2.d. 3 Principales características fisiográficas de las subcuencas del sistema la Sierra

SUBCUENCA	ÁREA (km ²)	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (km)	PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL
Almandro	3 172.33	134.10	0.021
Puyacatengo	121.50	25.52	0.025
Teapa	420.23	56.85	0.042
Pichucalco	401.06	54.18	0.019

Con la información antes descrita clasificada, se puede construir el esquema simplificado del sistema de los ríos de la Sierra, a partir del cual se realizarán las simulaciones lluvia-escurrimiento y tránsito de avenidas de las lluvias del 2012. En la figura siguiente se muestra el esquema terminado.

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser 'VF', ubicada en la parte inferior derecha de la página.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

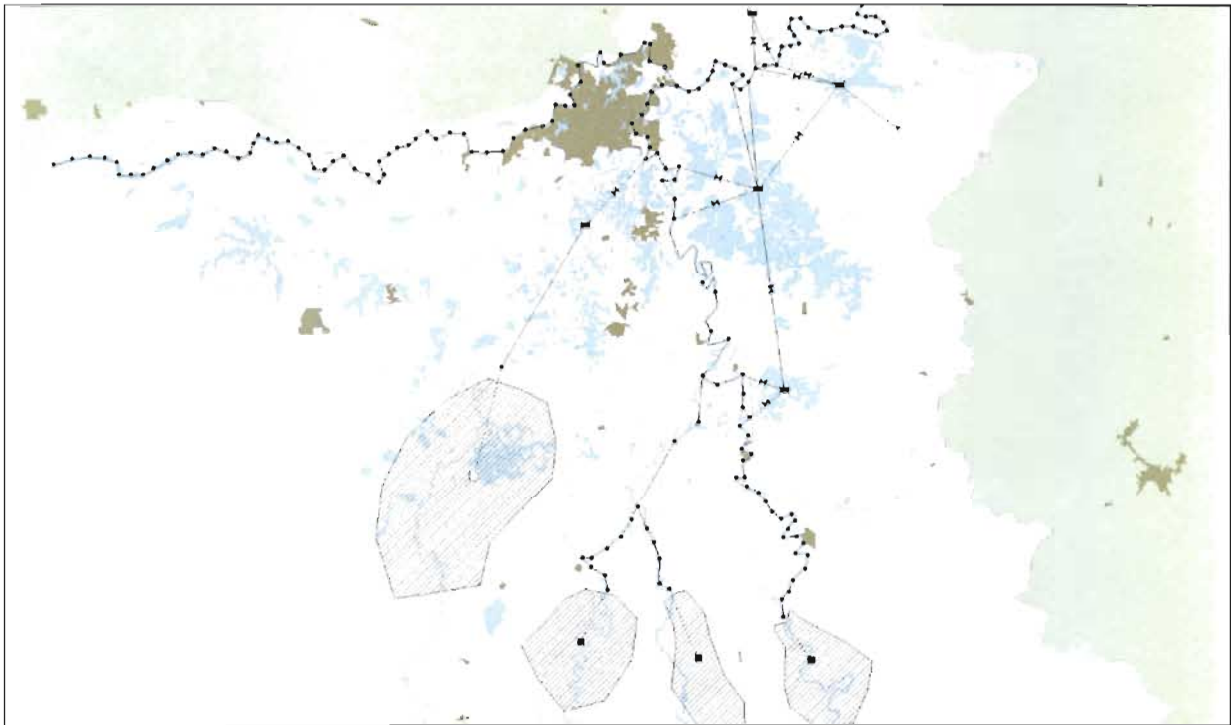


Figura 2.d. 8 Esquema simplificado del sistema de ríos de la Sierra

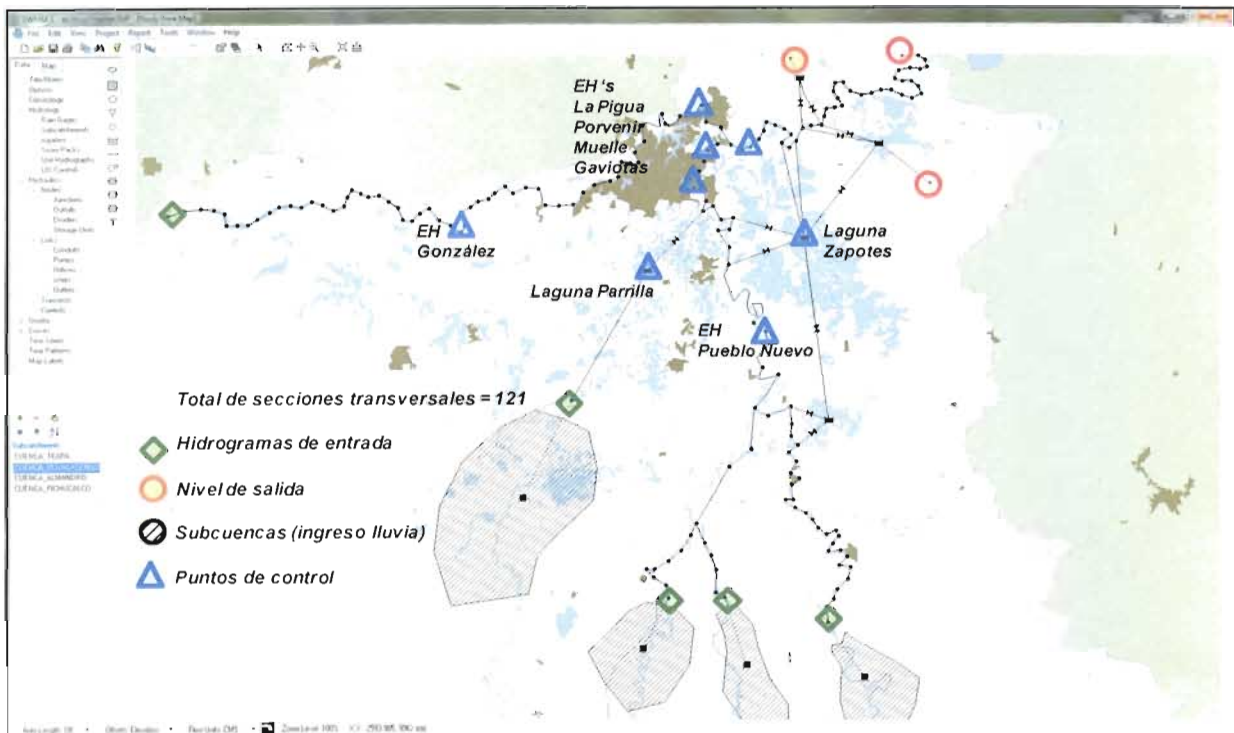


Figura 2.d. 9 Esquema simplificado del sistema de ríos de la Sierra con ubicación de puntos de control y condiciones de frontera.

En la siguiente figura se presenta el esquema final simplificado del sistema de ríos de la Sierra

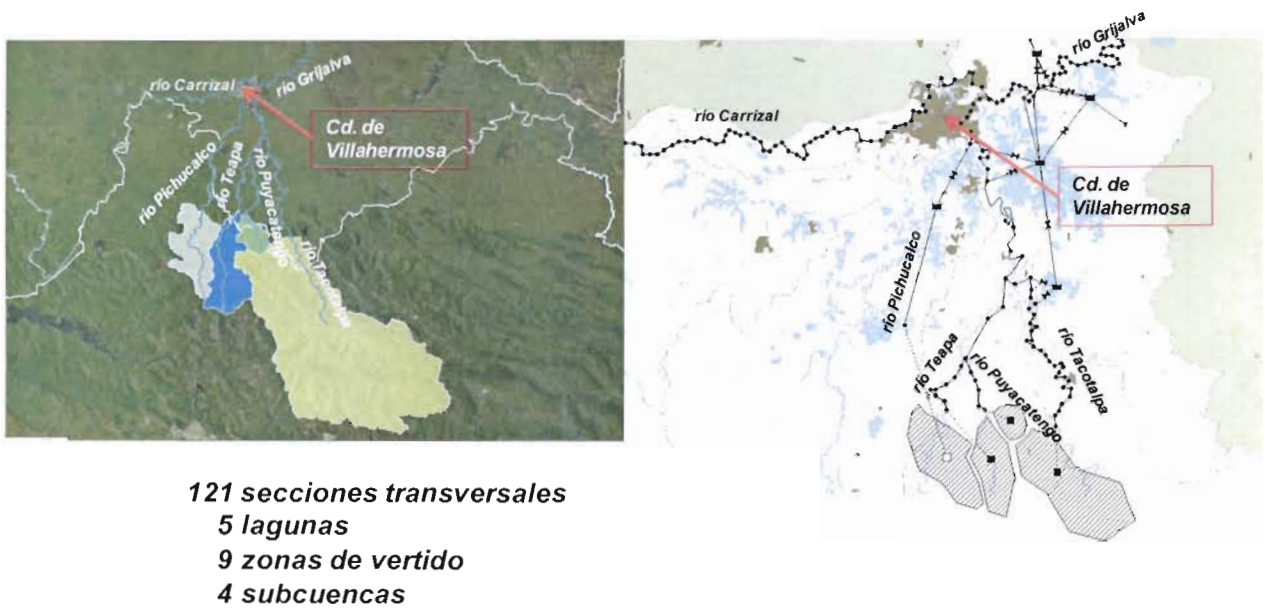


Figura 2.d. 10 Comparación entre el esquema unifilar en SWMM y un MDT de la zona

VF

e) RE CALIBRACIÓN DEL MODELO LLUVIA-ESCURRIMIENTO

e.1) Calibraciones antecedentes

El Hidroestimador es un proceso semi-automático para estimar las intensidades de precipitación en tiempo real, a partir de la temperatura registrada en el canal 4 de 10.7 μm , de las imágenes del Satélite Geoestacionario Ambiental Operativo denominado GOES-12. Este fue desarrollado y operado por la Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera (NOAA) de EEUU, a través del Centro de Aplicaciones e Investigación Satelital (STAR). En EEUU el procedimiento ha producido buenos resultados y la "lluvia real" es la que se mide con los radares meteorológicos. Además, el proceso incorpora pronósticos de modelos numéricos de alta resolución. Se trata de la continuación del modelo Auto-Estimador, desarrollado a finales de los años 90, que estima la intensidad de lluvia a partir de la temperatura registrada en el canal 4 de 10.7 μm , utilizando una ecuación obtenida a partir del análisis estadístico conjunto de los registros de radar e imágenes de satélite varias tormentas.

El Hidroestimador (HE) emplea la fórmula empleada por el Auto-Estimador (AE), incorporando correcciones por las condiciones de la atmósfera y la orografía. Las condiciones atmosféricas se obtienen de los modelos numéricos de escala regional (como el NAM o el MM5) y la orografía a partir de los modelos digitales del terreno. El modelo está en producción desde 2002. Las estimaciones del modelo han sido evaluadas con buenos resultados dentro de EEUU, con resultados irregulares en otras zonas, ya que fuera de EEUU, se emplean datos con menor resolución.

Considerando el potencial que tiene el modelo como herramienta para estimar la lluvia en tiempo real, sobre todo en zonas donde no se dispone de una red pluviómetros apropiada, se considero conveniente su adaptación a las condiciones de México, aún cuando no se tienen registros de mediciones de tormentas con radares. Esto se debe al potencial que tiene el modelo como herramienta para estimar la lluvia en tiempo real y con una cobertura mayor. La idea es desarrollar, en una primera etapa, un sistema que permita calibrar los parámetros del modelo según las características particulares de la cuenca del río Grijalva, es decir, desarrollar un sistema que permita ajustar los parámetros del modelo a las características particulares de la zona de estudio.

El proceso es semi-automático, ya que la interpretación de la imagen del satélite para estimar la lluvia es automática, pero de manera complementaria se requiere la intervención de especialistas para mantener la operación y evaluar los resultados.

Los datos necesarios son las imágenes del satélite GOES-12 y los datos registrados de las lluvias en las estaciones climatológicas, ambos adquiridos en tiempo real. Los datos de las lluvias sustituyen a la información de los radares.

En la tabla 2.e.1 se muestran las principales características de las bandas del satélite GOES-12.

Tabla 2.e.1. Características de las bandas del satélite GOES-12. (NOAA-NESDIS)

Identificador	Descripción de la banda	Parámetros			Albedo (Visible) y Temperatura del brillo en los demás casos °K			Niveles 0=negro y 255=blanco		
		Longitud de Onda μm	Resolución μRad	Resolución km	Mínima	Media	Máxima	1°	2°	3°
1	Visible	0.55	28	1	0	40	100	0	150	255
2	IR2	3.9	112	4	-70	-30	50	255	160	0
3	Vapor de agua	6.7	112	4	-80	-50	10	255	130	0
4	IR4	10.7	112	4	-85	-30	40	255	170	0
6	IR6	13.3	224	8	-80	-20	20	255	170	0

Por lo tanto, el objetivo fue desarrollar un sistema numérico y gráfico para estimar las intensidades de precipitación en tiempo real, con base en la información proporcionada por el Satélite Geoestacionario Ambiental Operativo (GOES-12) y la información obtenida de las estaciones climatológicas en tiempo real.

Así, el esquema general del sistema Hidroestimador se muestra en la figura 2.e.1:

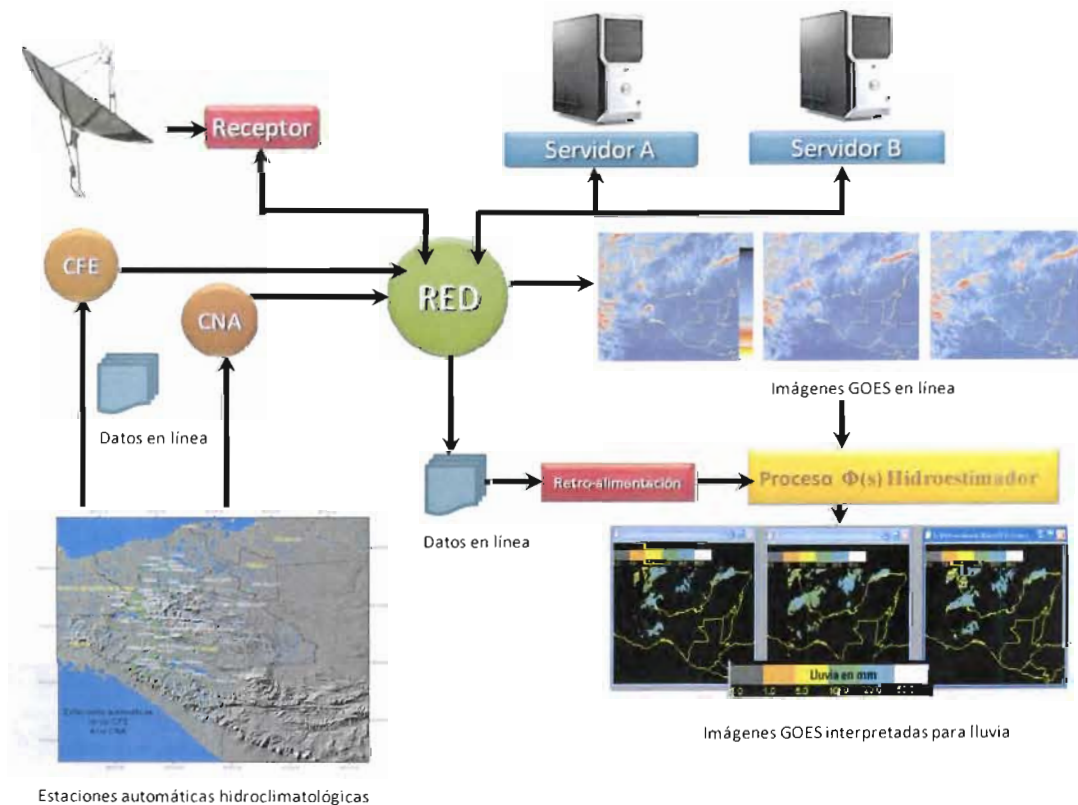


Figura 2.e.2 Esquema general del Hidroestimador

VJ

Software del Hidroestimador

La producción operativa rutinaria de las estimaciones de lluvia con base en los satélites en el Servicio Nacional Informático de Satélites Ambientales de EEUU (NESDIS), comenzó en los últimos años de los 70 con el Analizador Interactivo para Inundaciones Repentinias (IFFA). El IFFA es una técnica en gran parte manual que utiliza la información sobre las características del tope de la nube de las imágenes infrarrojas (IR) de los satélites para derivar campos espaciales de la tasa de precipitación instantánea. Además de los datos de la imagen IR, el IFFA también utiliza la información de pronósticos numéricos de modelos meteorológicos para ajustar, según la evaporación de la capa debajo de la base de la nube y los ambientes muy fríos de los toques de la nube que no son favorables para las precipitaciones, pero en donde la lluvia intensa puede todavía precipitarse de las nubes relativamente calientes.

Como ya se dijo, la cantidad significativa de trabajo manual requerida por el IFFA llevó al desarrollo de una versión automatizada denominada el Auto-Estimador (AE), la cual realizó las estimaciones de la precipitación basadas en los satélites disponibles cada 30 minutos en EEUU y zona vecina, área denominada como CONUS. Las mejoras al AE dio lugar a una nueva versión llamada el HidroEstimador (HE), que substituyó al AE como algoritmo automatizado operacional de NESDIS en 2002.

El HE fue desarrollado para substituir a los AE porque los AE tendían a asignar incorrectamente una precipitación diferente a cero a los yunques de cirrus que no producen lluvia debido a su baja temperatura, además de exagerar el grado espacial de la precipitación intensa y estimar altas cantidades de precipitación en los totales acumulados de varias horas. Se realizaron esfuerzos para solucionar este problema con datos del radar para identificar los pixeles sin lluvia, pero ese enfoque no era adecuado puesto que la fuerza primaria de las estimaciones de la precipitación basadas en los satélites consiste en proveer datos en regiones donde no hay radares o los datos del radar son inadecuados. El HE trata esta deficiencia considerando no sólo la temperatura de un pixel, pero también el valor concerniente a los pixeles circundantes en la determinación de sí o no la precipitación está ocurriendo y en la asignación de una tasa de la precipitación. Los pixeles que son más fríos que sus alrededores se presume que están asociados a las corrientes ascendentes convectivas y, en consecuencia, a la precipitación. Mientras que los pixeles que están tan o más calientes que la temperatura media de las nubes circundantes se supone que ya no tienen corrientes ascendentes activas y no producen lluvia. Con este procedimiento se realiza un cribado que separa los pixeles de lluvia de los que no tienen lluvia.

Aunque el HE representara una mejora significativa sobre el AE al discriminar nubes de lluvia y nubes sin lluvia sin la ayuda del radar, los usuarios expresaron preocupaciones significativas con otros aspectos del funcionamiento del HE. En particular, el HE subestima la precipitación de las nubes con toques relativamente calientes, temperaturas mayores de -58°C , según la definición operacional usada por el área de análisis de satélites (SAB) de NESDIS. Estas deficiencias son de importancia especial para los pronosticadores del SAB, que deben producir estimaciones manuales con IFFA cuando el HE no representa exactamente un acontecimiento precipitación intensa y pierden así tiempo valioso para alertar a los pronosticadores de campo de las situaciones potenciales de inundación repentina. Ésta y otras preocupaciones tienen su origen, por lo menos en parte, en la calibración de la relación entre la temperatura del brillo del IR y la tasa de la precipitación que se utiliza en el HE.

La curva original de la tasa de la lluvia fue derivada utilizando solamente la precipitación de núcleos convectivos, y con una muestra muy limitada de datos de una región particular de EEUU. Además, muchos de los ajustes que se realizan a las tasas de la precipitación no han estado calibrados sistemáticamente con datos observados. Por lo tanto, una re-calibración sistemática del HE fue necesaria para asegurar la exactitud del producto para el uso operacional.

Para asegurar una calibración aplicable a una variedad más amplia de regímenes de la precipitación, los datos para el CONUS entero fueron archivados para los períodos del 13-15 de mayo, los 24-26 de mayo y 23 agosto - 1 de octubre de 2003. El conjunto de datos consistió en los campos siguientes:

- GOES-12 Este. Canal 4 (10.7- μ m). Temperaturas del brillo ($T_{10.7}$)
- Agua precipitable de la columna total modelo ETA (PW);
- Humedad relativa (RH) promedio de la capa del modelo ETA (RH de $a=1.0$ a $a=0.7$)
- Temperatura del nivel convectivo de equilibrio (EL) (calculada de la temperatura del modelo ETA y de los campos de la relación de mezcla del vapor de agua del modelo ETA);
- Campos de una hora de la relación radar/lluvia en estaciones meteorológicas.
- Campos de cada 15 minutos de la reflectividad del radar.

En el AE la calibración fue realizada contra los datos de la reflectividad del radar que habían sido convertidos a las tasas de la precipitación utilizando la relación estándar entre el factor de la reflectividad del radar (Z) y las tasas de lluvia (R), Z - R . Sin embargo, estudios numerosos han demostrado la predilección de una sobreestimación de la lluvia y realce indeseable que se tiene en el rango de aproximadamente 50-150 kilómetros de la estación del radar, debido a la intersección de la segunda inclinación con la banda brillante. En respuesta, los datos del radar sobre el CONUS ajustan las tendencias usando datos de lluvia de estaciones meteorológicas para producir un campo sin distorsión de 4 kilómetros conocido como etapa III. Pero, los campos de la etapa III son totales cada hora, lo que los hace difíciles de comparar con las imágenes individuales de GOES. Para permitir una mejor comparación, se utilizan 15 campos de la reflectividad del radar para desagregar los datos de la etapa III de una hora a la resolución de 15 minutos, bajo la hipótesis que hay por lo menos una cierta independencia del tiempo en las escalas cortas de tiempo de los factores que contribuyen a la sobreestimación del radar.

La re-calibración se realizó sobre una base incremental comenzando en su forma más simple y después modificando la calibración en la medida que se agregan los ajustes. Los pasos son los siguientes:

1. Volver a calibrar la separación de la lluvia (con lluvia, sin lluvia). Esto se realiza con la determinación de la probabilidad de la precipitación (PoP) en función de $T_{10.7}$ y de la relación de $T_{10.7}$ del pixel de interés al valor medio para los pixeles de la nube dentro de cierto radio. Esta relación se denomina Z , que es simplemente el parámetro de la normalización:

$$Z = \frac{T_{10.7} - \mu}{\sigma}$$

Donde μ el valor medio de $T_{10.7}$ y σ es la desviación estándar dentro del radio especificado. El radio y el valor óptimo de Z se determinan en la calibración.

2. Volver a calibrar la tasa de la precipitación sin ajustar como una función de $T_{10.7}$ y de Z , con las gráficas de dispersión de los datos para determinar la forma funcional óptima.

3. Volver a calibrar las correcciones de PW y RH trazando los errores en las tasas de la lluvia del paso (2) en función del PW y de la RH, por separado, para determinar la forma funcional óptima para estas correcciones.

4. Volver a calibrar la corrección del EL trazando los errores en las tasas de la lluvia del paso (3) en función de EL – temperatura, para determinar la forma funcional óptima para esta corrección.

Además del trabajo mencionado, se requiere una re-calibración de la corrección orográfica de la precipitación del HE. La versión actual de la corrección utiliza los campos del viento de 850 hPa del modelo Eta y el terreno digital para calcular el componente vertical del viento resultado de la interacción entre el campo atmosférico del viento y el terreno. Este componente vertical del viento forma la base para el realce (en corrientes aéreas ascendentes) o la reducción (en corrientes descendentes) de las tasas de precipitación. Pero, la calibración de este parámetro es difícil por la carencia (en tiempo y espacio) de los datos de alta resolución de la precipitación en regiones montañosas. El mejor enfoque continúa bajo investigación, pero puede utilizar el conjunto de datos de PRISM descrito por Daly, aunque este conjunto de datos se centra en plazos más largos que los deseados.

Además, los pronosticadores del SAB han indicado que el HE subestima perceptiblemente las tasas de la precipitación durante los primeros momentos de la convección. Se cree que es porque en tales ocasiones puede haber corrientes aéreas ascendentes fuertes y precipitación fuerte, pero las nubes todavía no han tenido tiempo para desarrollar su altura completa. En respuesta a esto, se realizan esfuerzos para producir y para calibrar un ajuste que explique los cambios en $T_{10.7}$ mediante el seguimiento de los movimientos de la nube.

La metodología para la re-calibración se muestra en el esquema de la figura 2.e.2:

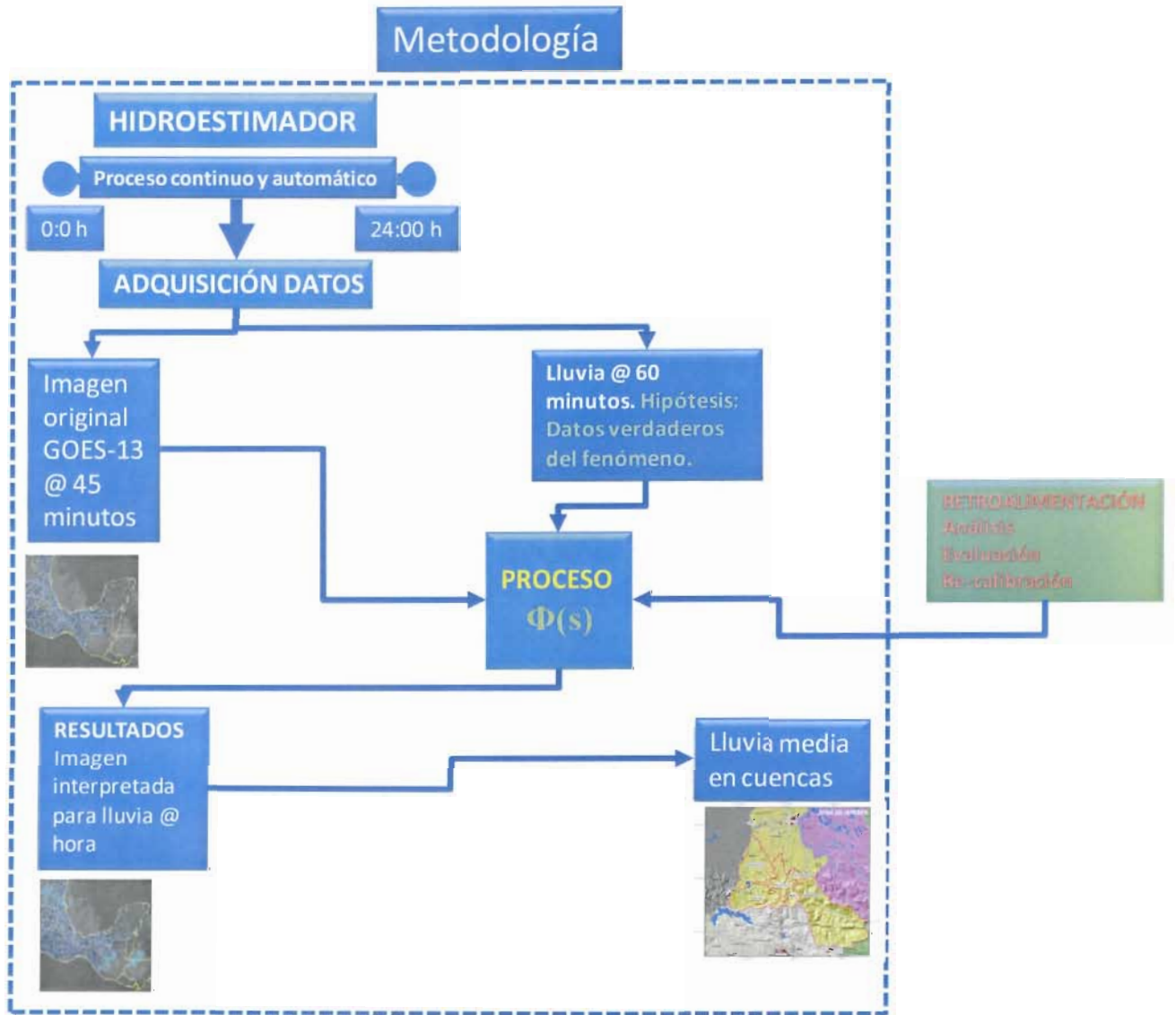


Figura 3.e.2 Metodología para la re-calibración

e.2) Calibración 2012

En los siguientes párrafos se muestra los resultados del análisis efectuado a las láminas estimadas con el Sistema Hidroestimador, este análisis se efectuó con el objetivo de calibrar dichas láminas con los datos de lluvia registrados por las estaciones automáticas ubicadas en la zona de estudio. La zona de estudio es el estado de Tabasco y el norte de Chiapas, en la figura 2.e.3 se muestran las cuencas y las 54 estaciones automáticas ubicadas en la zona. En la tabla 2.e.2 se muestran las ubicaciones de las estaciones automáticas.

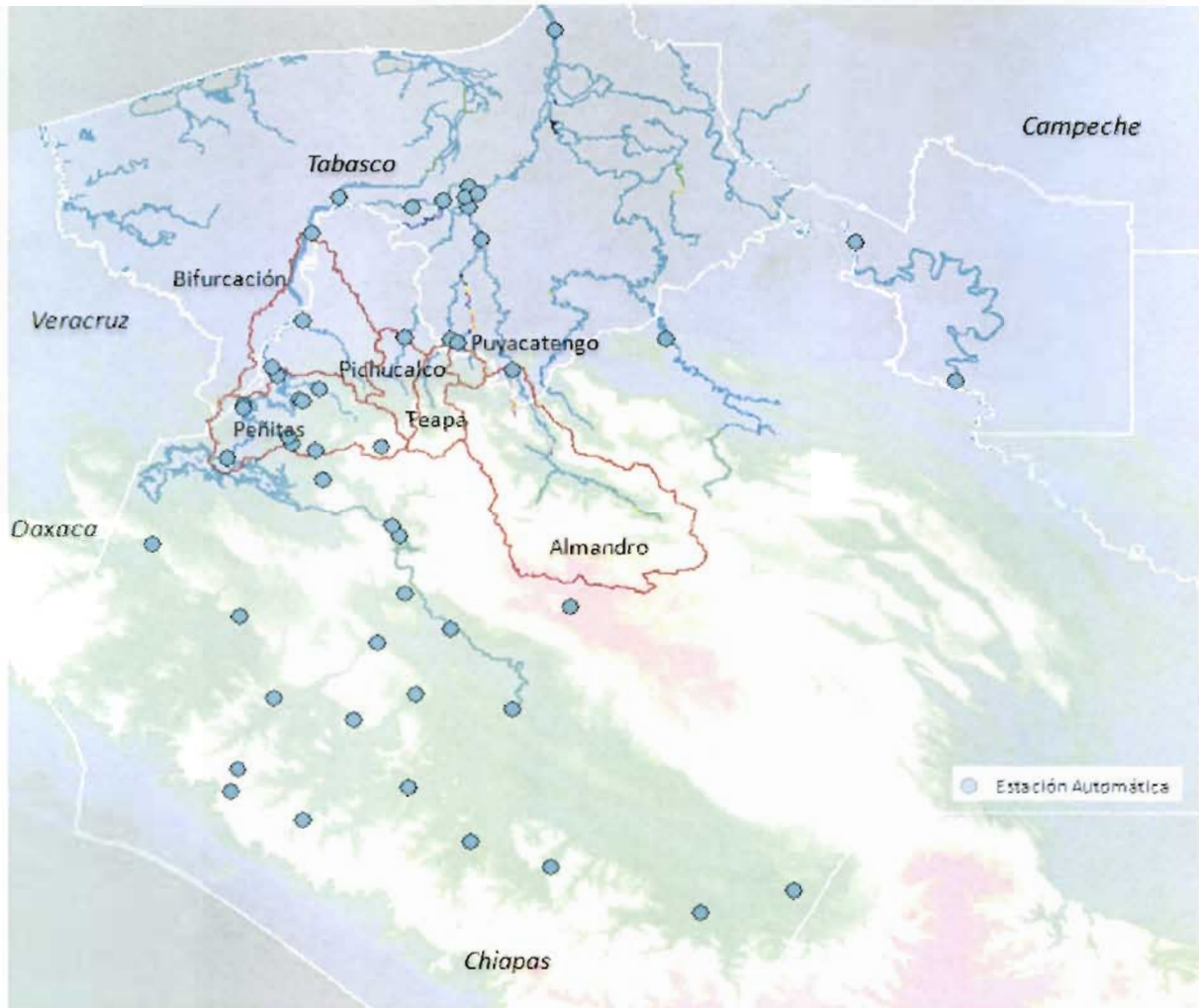


Figura 2.e.3 Ubicación de las cuencas y las estaciones automáticas

Tabla 2.e.2 Catálogo de las estaciones automáticas dentro del sistema HE

Identificador	No.	Nombre	Latitud	Longitud
TAB01	1	TAPIJULAPA	17.46	-92.77
TAB02	2	PUYACATENGO	17.54	-92.93
TAB03	3	TEAPA	17.55	-92.95
TAB04	4	SAN JOAQUIN	17.56	-93.08
TAB05	5	PORVENIR	18	-92.87
TAB06	6	SAMARIA	17.99	-93.27
TAB07	7	REFORMA (MACAYO)	17.88	-93.35
TAB09	9	SAYULA	17.4	-93.33
TAB10	10	MUELLE	17.99	-92.91
TAB11	11	GONZALEZ	17.96	-93.06
TAB12	12	OCOTEPEC	17.22	-93.15
TAB13	13	ROMULO CALZADA	17.34	-93.55
TAB14	14	ZAPATA (CHABLÉ)	17.85	-91.78
TAB15	15	EL PORTILLO	15.99	-92.89
TAB16	16	GAVIOTAS	17.96	-92.9
TAB17	17	PUEBLO NUEVO	17.86	-92.86
TAB18	18	PLATANAR	17.61	-93.38
TAB19	19	BOCA DEL CERRO	17.42	-91.49
TAB20	20	SALTO DE AGUA	17.55	-92.33
TAB21	21	POSTA	17.98	-92.97
TAB22	22	PIGUA	18.02	-92.9
TAB23	23	FRONTERA (TRES BRAZOS)	18.51	-92.65
TAB24	24	Acala CFE	16.65	-92.95
TAB25	25	Aza-Pac CFE	17.25	-93.42
TAB26	26	Boqueron CFE	16.61	-93.16
TAB27	27	Canal CFE	17.36	-93.38
TAB28	28	Cristobal Obregon CFE	16.44	-93.46
TAB29	29	El Grijalva CFE	16.97	-93.12
TAB30	30	Emiliano Zapata CFE	17.21	-93.34
TAB31	31	Juan Grijalva Vaso Inferior CFE	17.37	-93.39
TAB32	32	Juan Grijalva Vaso Superior CFE	17.36	-93.38
TAB33	33	Las Flores CFE	16.69	-93.56
TAB34	34	Monterrey CFE	16.06	-93.38
TAB35	35	Ocotepec CFE	17.22	-93.15
TAB36	36	Presa Angostura CFE	16.4	-92.77
TAB37	37	Presa Chicoasen CFE	16.94	-93.1
TAB38	38	Presa Malpaso CFE	17.19	-93.6
TAB39	39	Presa Penitas CFE	17.44	-93.45
TAB40	40	Puente Concordia CFE	15.84	-91.96
TAB41	41	Reforma CFE	15.91	-92.66
TAB42	42	Revolucion Mexicana CFE	16.16	-93.07
TAB43	43	Romulo Calzada CFE	17.35	-93.55
TAB44	44	San Cristobal de las Casas CFE	16.72	-92.6
TAB45	45	San Miguel CFE	15.77	-92.23
TAB46	46	Santa Maria CFE	16.92	-93.82
TAB47	47	Santo Domingo CFE	16.45	-93.05
TAB48	48	Santuario CFE	16.37	-93.23
TAB49	49	Sayula CFE	17.4	-93.33
TAB50	50	Sierra Morena CFE	16.15	-93.59
TAB51	51	Tres Picos CFE	16.22	-93.57
TAB52	52	Tuxtla CFE	16.76	-93.08
TAB53	53	Tzimbac CFE	17.23	-93.41
TAB54	54	Yamonho CFE	17.12	-93.32

Introducción

El algoritmo empleado por el Sistema Hidroestimador, basa su hipótesis en el hecho de considerar que generalmente en tormentas convectivas hay más de un núcleo, y el algoritmo que emplea se describe brevemente:

1. Si la temperatura (tn) es mayor o igual a 250 °K no hay precipitación.
2. Si $tn < 250^\circ\text{K}$ se procede a analizar si el píxel está dentro de un núcleo convectivo, identificando el píxel de temperatura mínima (Pm) en la región de 101 x 101 píxel alrededor del píxel que se está analizando.

La hipótesis es que la temperatura mínima corresponde al centro del núcleo y que el radio del núcleo depende de su temperatura mínima; hasta 50 píxeles para $tmin \leq 200^\circ\text{K}$, y de 30 píxeles para $tmin \geq 220^\circ\text{K}$.

2.1. Se calcula el valor medio (μ) y la desviación estándar (σ) de la temperatura dentro del núcleo.

2.2 . Se determina la intensidad de lluvia en el píxel en cuestión en función de su fracción convectiva y no convectiva, por medio de la ecuación:

$$Z = \frac{\mu - T}{\sigma}$$

Si $Z < 0$, el píxel está más caliente que el promedio a su alrededor y no hay lluvia, en caso contrario el valor de Z se restringe a que sea menor o igual a 1.5. La fracción convectiva se relaciona con Z y la fracción no convectiva con $(1.5-Z)$, de tal manera que la intensidad de lluvia final RR se calcula de la tasa convectiva RR_C , y de la tasa no convectiva RR_N , de la manera siguiente:

$$RR = \frac{RR_C Z^2 + RR_N (1.5 - Z)^2}{Z^2 + (1.5 - Z)^2}$$

Para la aplicación del modelo se requiere además de la imagen temperatura del tope de las nubes, canal 4 de los satélites GOES, la estimación de agua precipitable para cada píxel. En general este dato se obtiene de los modelos numéricos de pronóstico, pero esto demanda tiempo de procesamiento, además de la incertidumbre asociada al pronóstico, por lo que se determina a partir de las imágenes de vapor de agua del satélite GOES.

En la figura 2.e.4, se muestra de manera esquemática el procesamiento de las imágenes de Temperatura y Vapor de agua, a partir de las cuales se calcula la lluvia precipitable.

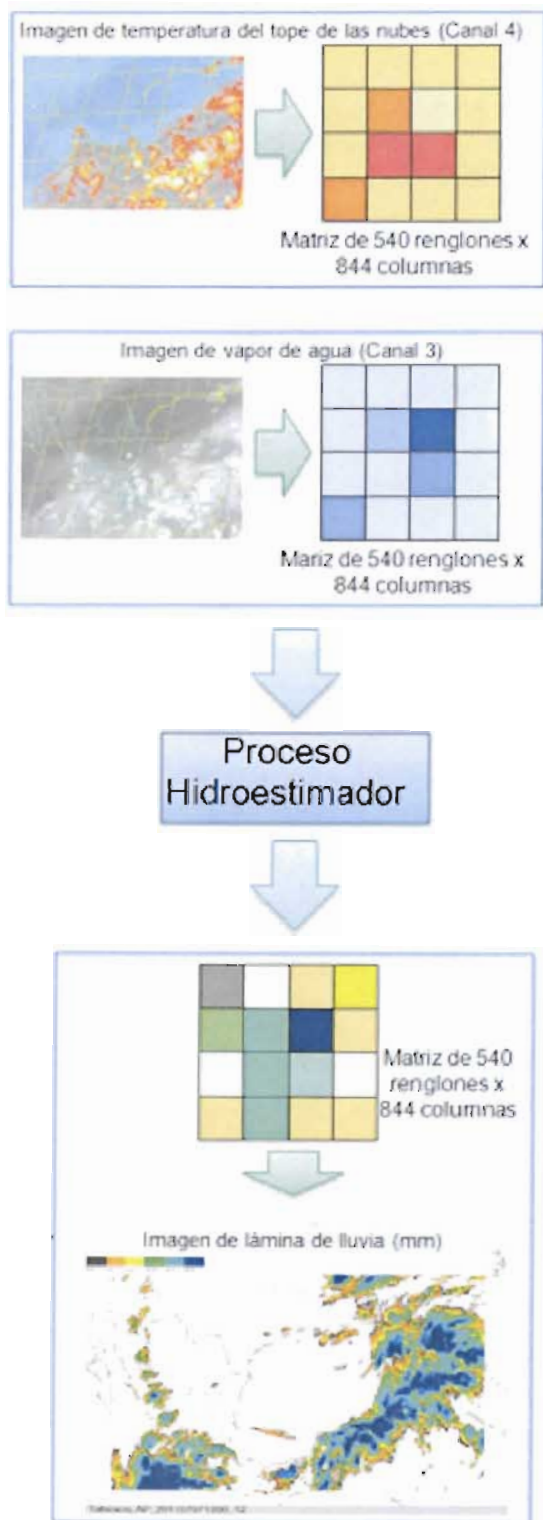


Figura 2.e.4 Esquema de estimación de lluvias

Las lluvias estimadas con el algoritmo descrito, son calculadas con datos de satélite, a este tipo de procesamiento se le conoce como Percepción Remota o Teledetección, y en la literatura se sugiere que debe comprobarse siempre en la medida de lo posible, la estimación con datos medidos en tierra. Para el caso de las lluvias, se cuenta, como ya se indicó, con estaciones hidrométricas automáticas que miden la precipitación, por lo que se planteó encontrar el mejor ajuste para que los valores estimados con satélite correspondieran con los datos medidos. A continuación se describe la metodología empleada.

Metodología

La metodología consiste principalmente en lo siguiente:

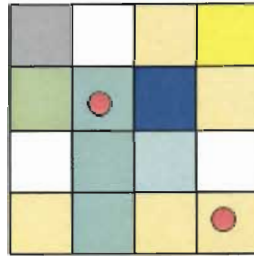
- 1) Proponer dos métodos para el ajuste de las lluvias estimadas con datos medidos de precipitación;
- 2) escoger una tormenta para el análisis de ajuste de las lluvias;
- 3) emplear los dos métodos para el ajuste de lluvias en los datos de la tormenta elegida;
- 4) evaluar dicho el ajuste con el coeficiente de determinación (R^2) y
- 5) contrastar los resultados de los dos métodos y emitir conclusiones.

Métodos de ajuste de lluvias

Los dos métodos empleados para la calibración de las láminas de lluvia (figura 2.e.5) propuestos son:

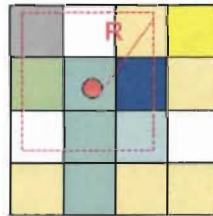
- 1) ajuste promedio: se sustituye el valor de la lluvia estimada, con el dato registrado.
- 2) ajuste puntual: se sustituyen los valores de lluvia estimados, con los datos registrados ponderados por el inverso de su distancia.

Puntual



Se sustituye el valor de precipitación calculado por el dato registrado en la estación

Promedio



Se sustituyen los valores de precipitación calculados por el valor ponderado respecto a el dato registrado en la estación

Figura 2.e.5 Esquema de los métodos de calibración para las lluvias estimadas

Se evaluaron 4 valores de radio para definir el tamaño de la vecindad o grupo de cuadros, estos valores son: 3, 5, 7 y nueve, pixeles o celdas.

Tormenta analizada

La lluvia que se consideró para el análisis es la ocurrida en el periodo del 27 de agosto al 9 de septiembre de 2011 (anexo 2.e.1). En la figura 2.e.6 se presenta la grafica de las láminas estimadas sin ajuste en las cuencas analizadas. Cabe mencionar que este intervalo de lluvia se eligió porque se presentaron valores importantes de precipitación. El análisis se realizo cada hora (15 días, 360 h).

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

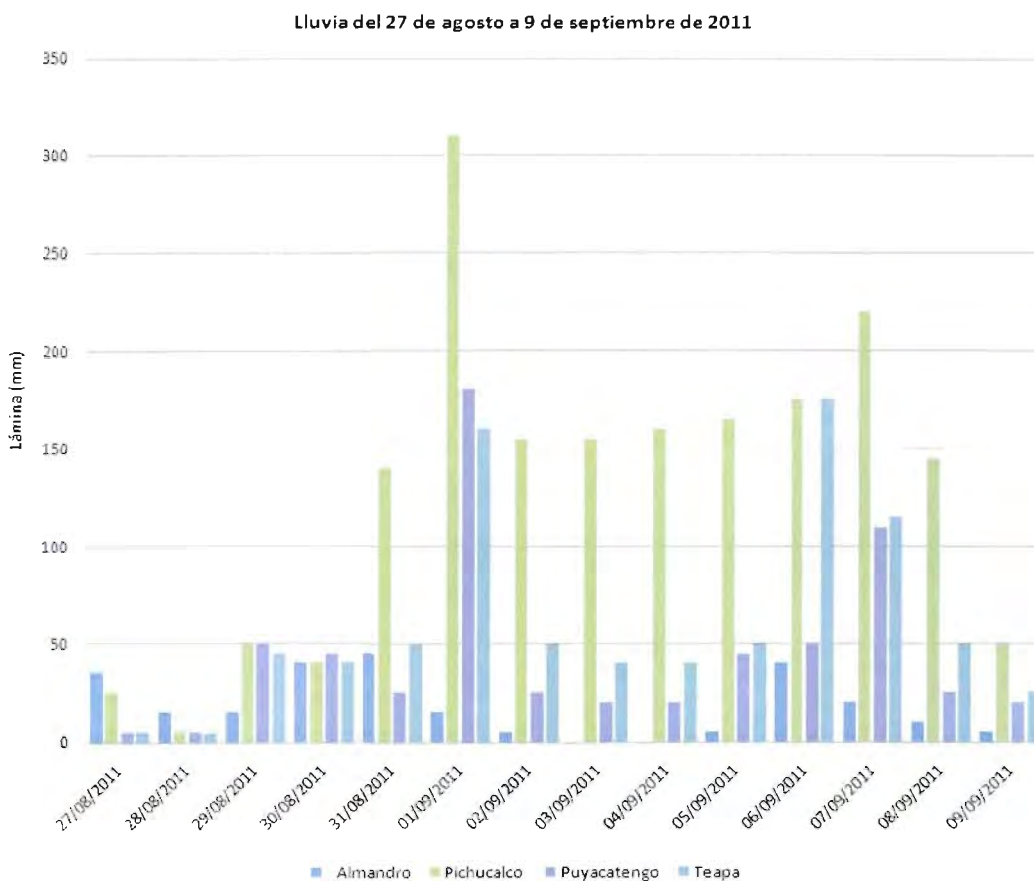


Figura 2.e.6 Lluvia considerada para el análisis de la elección del método de ajuste

En la tabla 2.e.3 se muestra el número de análisis efectuados para la elección del mejor método de ajuste. El análisis se realizó en las láminas horarias, para la comparación de las láminas diarias, se calcularon dichas láminas a partir de la suma de las horarias.

Tabla 2.e.3 Tamaño de vecindad para el ajuste

Cuenca	Isoyetas	Sin ajuste	Ajuste puntual				Ajuste promedio				No. de cálculos por ajuste	Total de cálculos efectuados
			No. de cuadros (Vecindad)				No. de cuadros (Vecindad)					
Almandro	NA	NA	3	5	7	5	3	5	7	5	92	920
Pichucalco	NA	NA	3	5	7	5	3	5	7	5	92	920
Puyacatengo	NA	NA	3	5	7	5	3	5	7	5	92	920
Teapa	NA	NA	3	5	7	5	3	5	7	5	92	920

* NA: no aplica

En las figuras 2.e.7 a 2.e.10 se muestra la tormenta para cada cuenca (Anexo 2.e.2 y 2.e.3), que se consideró para realizar la comparación de los dos métodos de ajuste: puntual y promedio.

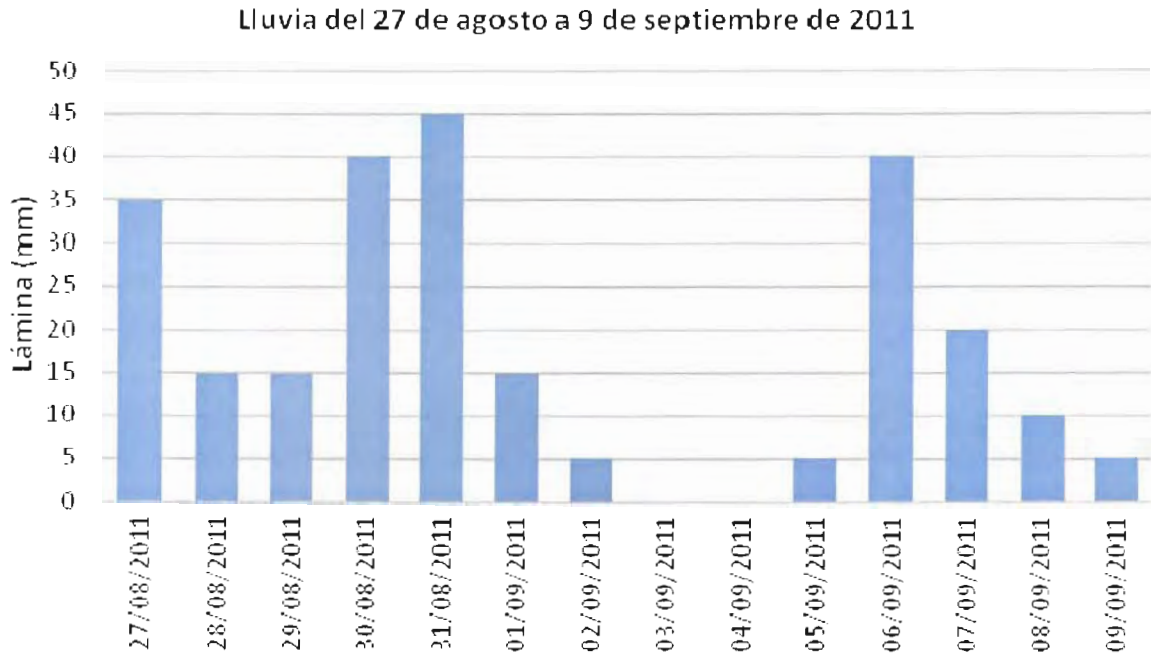


Figura 2.e.7 Tormenta considerada para el análisis del mejor ajuste para el cálculo de la lámina por cuenca, cuenca Almandro



Figura 2.e.8 Tormenta considerada para el análisis del mejor ajuste para el cálculo de la lámina por cuenca, cuenca Puyacatengo

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

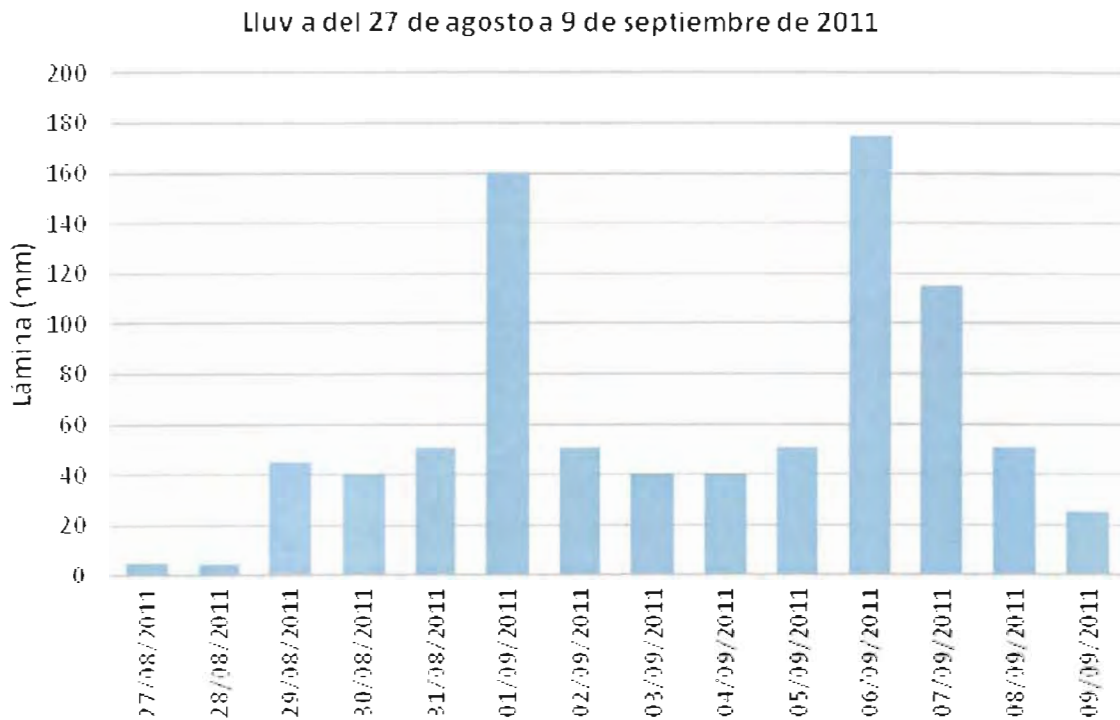


Figura 2.e.9 Tormenta considerada para el análisis del mejor ajuste para el cálculo de la lámina por cuenca, cuenca Teapa

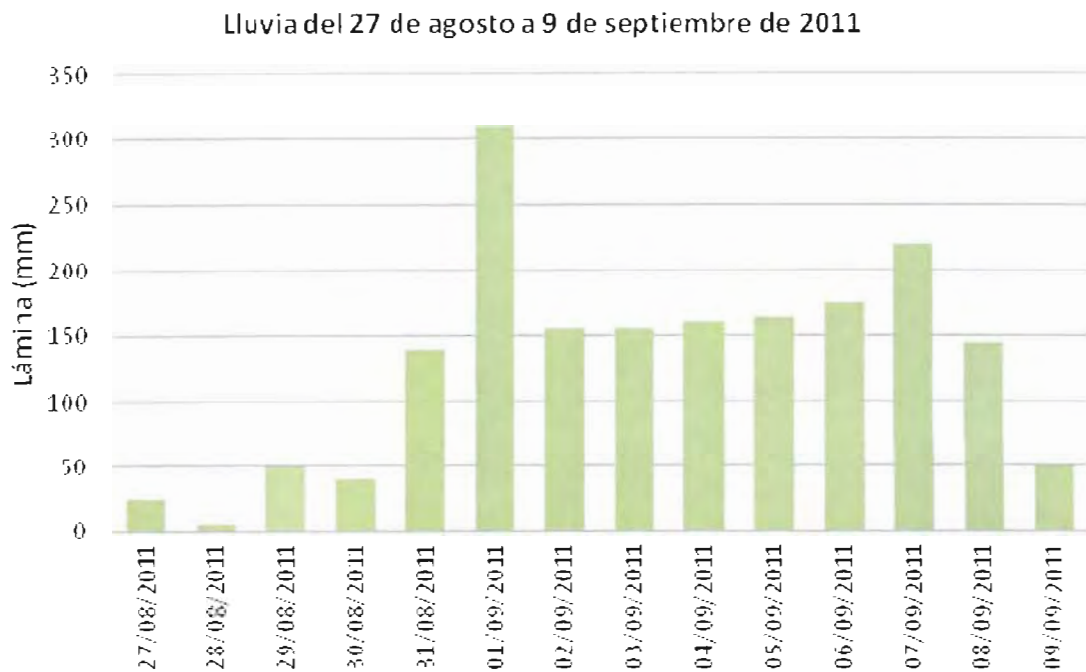


Figura 2.e.10 Tormenta considerada para el análisis del mejor ajuste para el cálculo de la lámina por cuenca, cuenca Pichucalco

En la tabla 2.e.4 se muestra el número de estaciones que se encuentran dentro o cercanas a la periferia de las cuencas. En la columna de Total, se muestra el número de estaciones que tienen influencia sobre cada cuenca, para el caso del método de ajuste promedio, donde se considera la influencia sobre una vecindad.

Tabla 2.e.4 Número de estaciones dentro y cercanas a las cuencas de estudio

Cuenca	Número de estaciones dentro	Número de estaciones cercanas	Total
Almandro	1	1	2
Puyacatengo	1	1	2
Teapa	1	3	4
Pichucalco	1	1	2

Ajuste de lluvia

Se implementó una subrutina para ajustar las láminas calculadas, en el Hidroestimador. En la figura 2.e.11 se muestra la interfaz para ajustar, en la cual se elige la distancia mínima para considerar el efecto de las estaciones cercanas, así como el ancho del cuadro promedio (vecindad). Se elige el archivo con extensión RAS, el cual corresponde a la estimación de la lluvia.

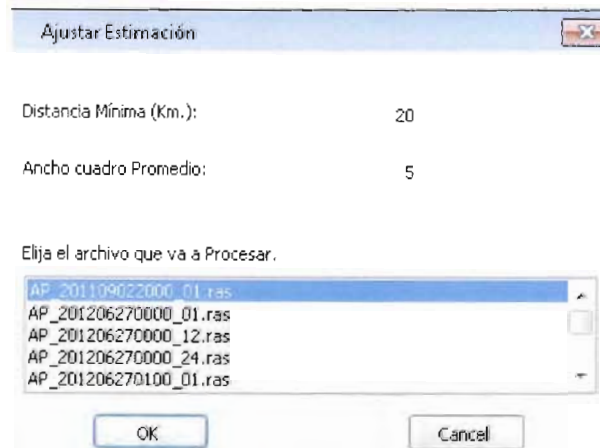


Figura 2.e.11 Interfaz de la subrutina para el ajuste de las láminas

Cada archivo RAS esta nombrado de la siguiente manera:

$$AP_ + \text{Año} + \text{mes} + \text{día} + \text{hora} + 00_ + \text{tipo de lámina} + .ras$$

En el tipo de lámina se refiere a horaria (01), la suma de doce horas (12) y la diaria (24).

En la figura 2.e.12 se puede observar la diferencia entre los dos métodos de ajuste y la lluvia sin ajustar. Como se puede apreciar, los "huecos" corresponden a valores donde se encuentra una estación automática.

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

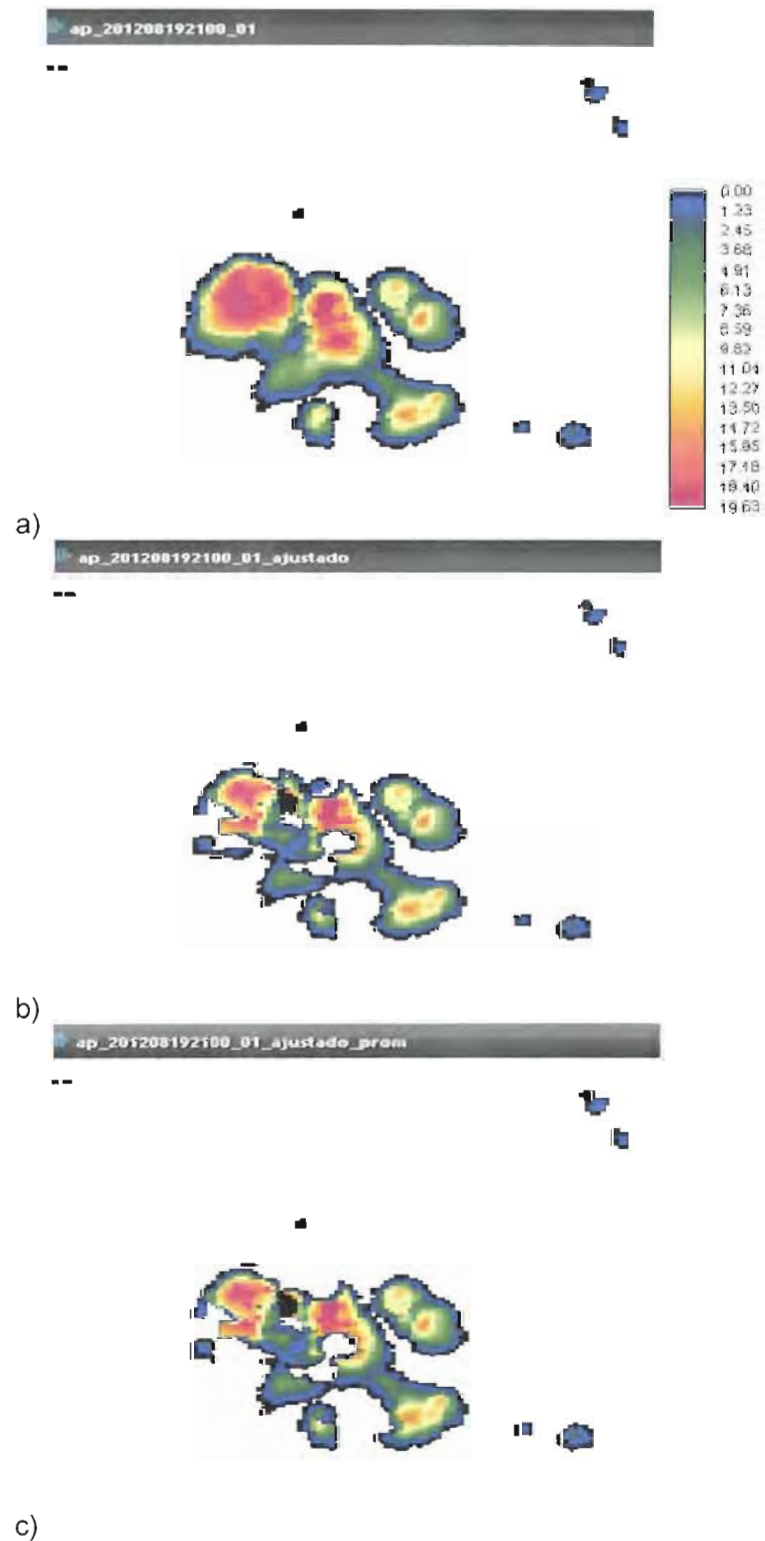


Figura 2.e.12 a) Lluvia sin ajustar, b) lluvia ajustada de manera puntual, c) lluvia ajustada de manera promedio

En las gráficas presentadas en las figuras 2.e.13 a 2.e.16 se muestran los ajustes en las cuencas Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa, de manera respectiva, para el caso del ajuste Puntual.

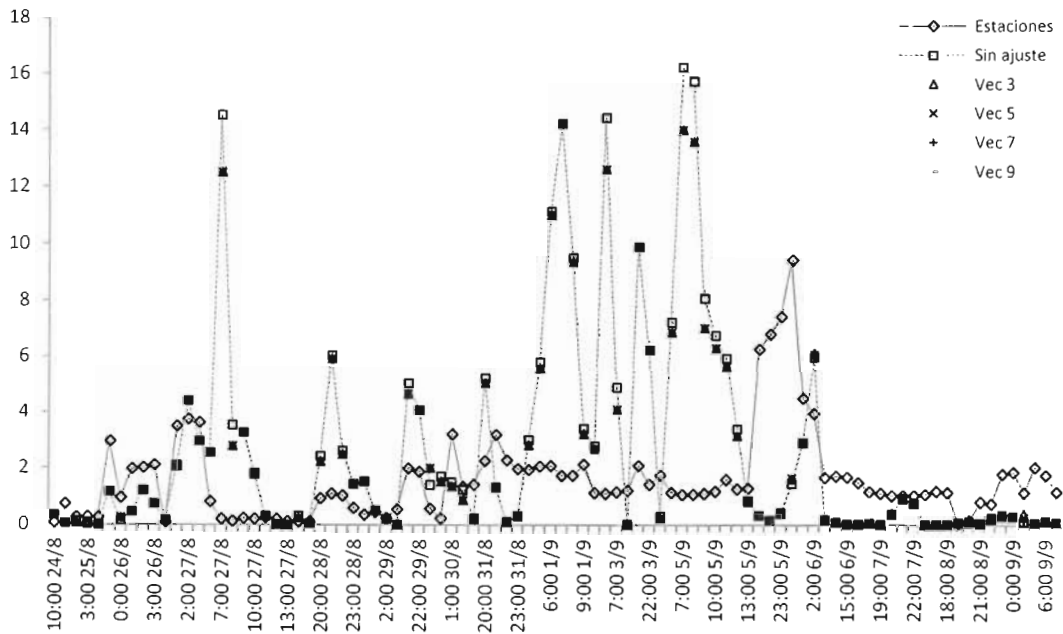


Figura 2.e.13 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Almandro

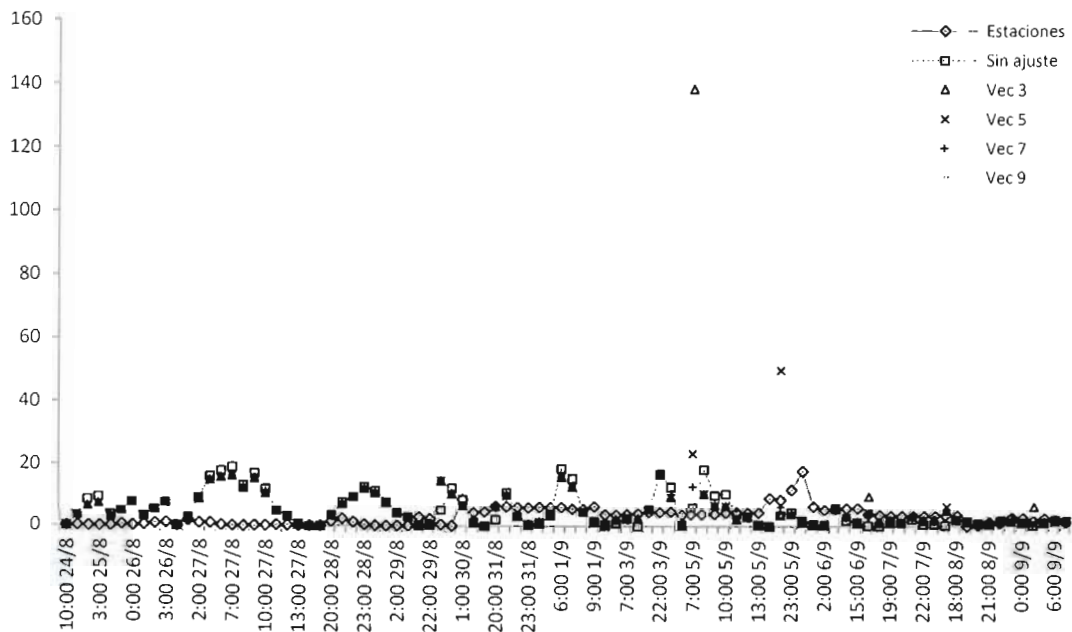


Figura 2.e.14 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Pichucalco

VJ

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

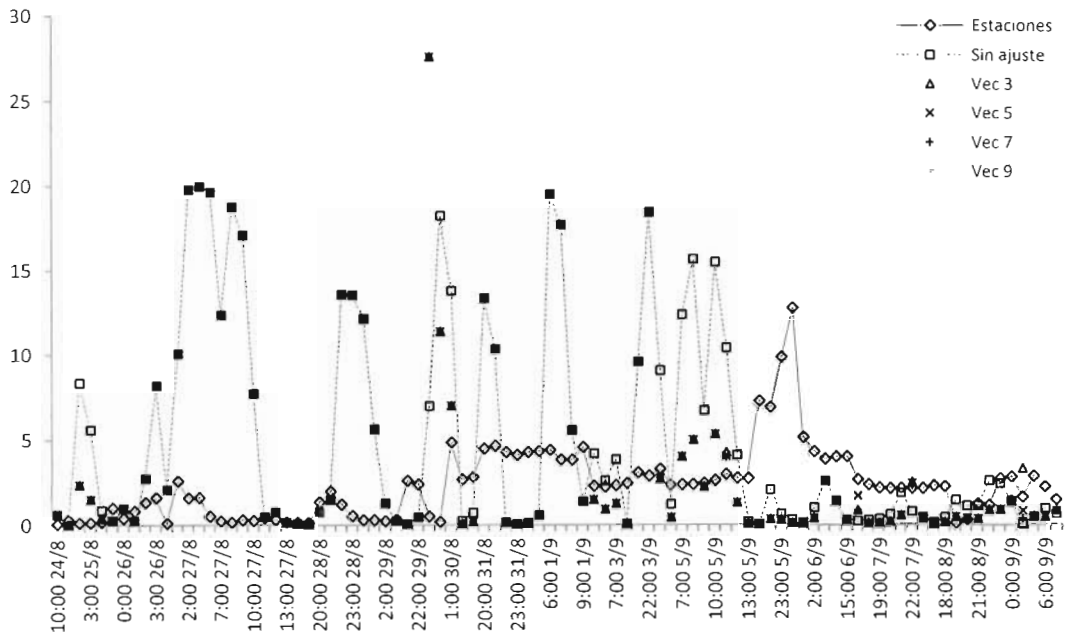


Figura 2.e.15 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Puyacatengo

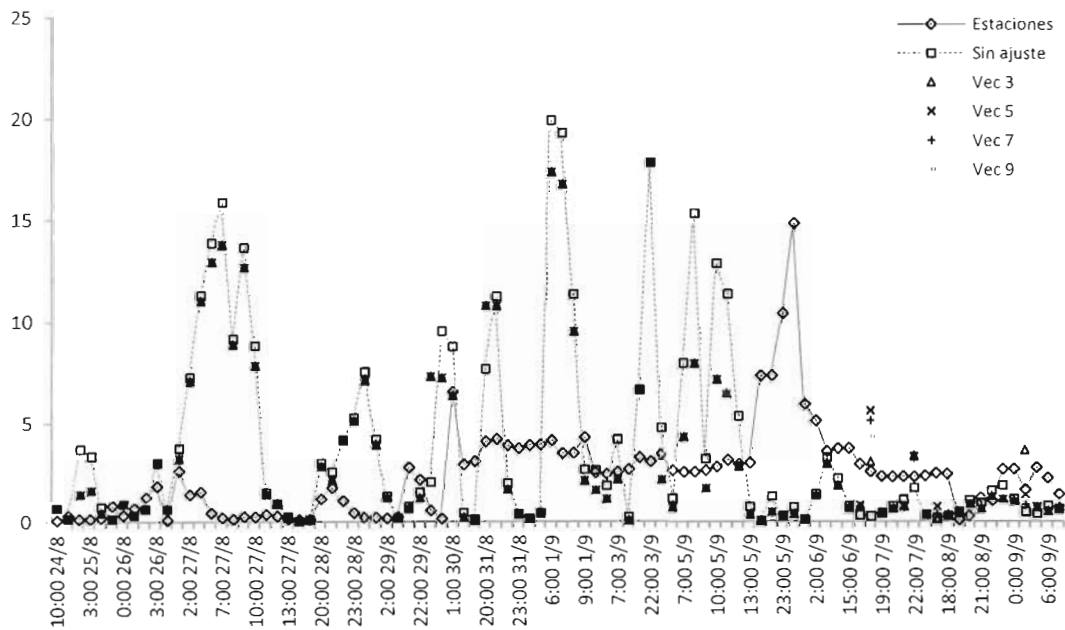


Figura 2.e.16 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Teapa

En las gráficas presentadas en las figuras 2.e.17 a 2.e.20 se muestran los ajustes en las cuencas Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa, de manera respectiva, para el caso del ajuste Promedio.

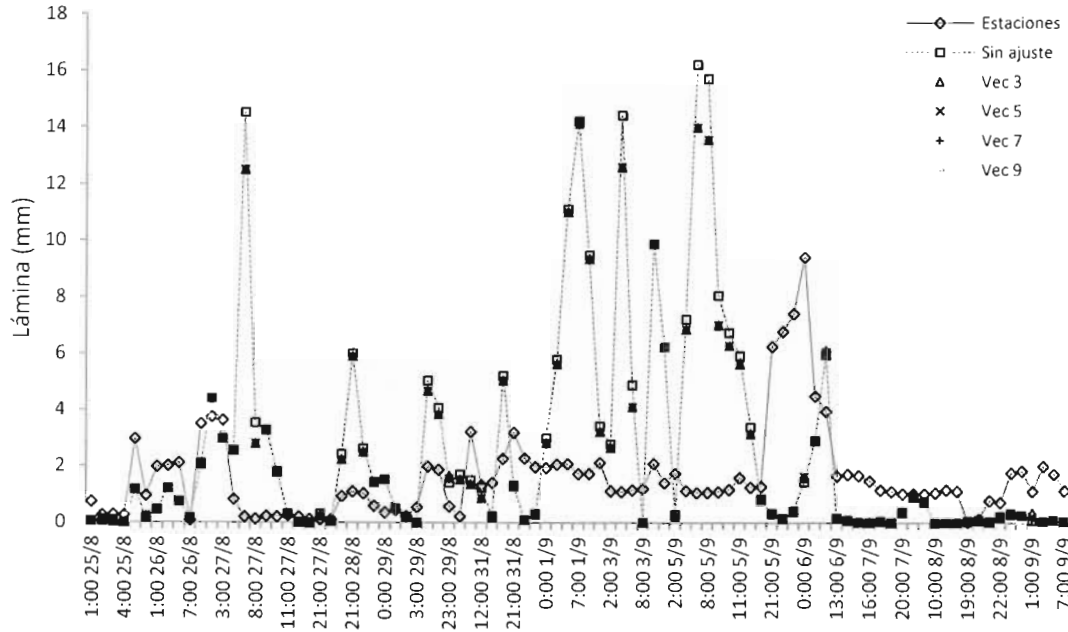


Figura 2.e.17 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Almandro

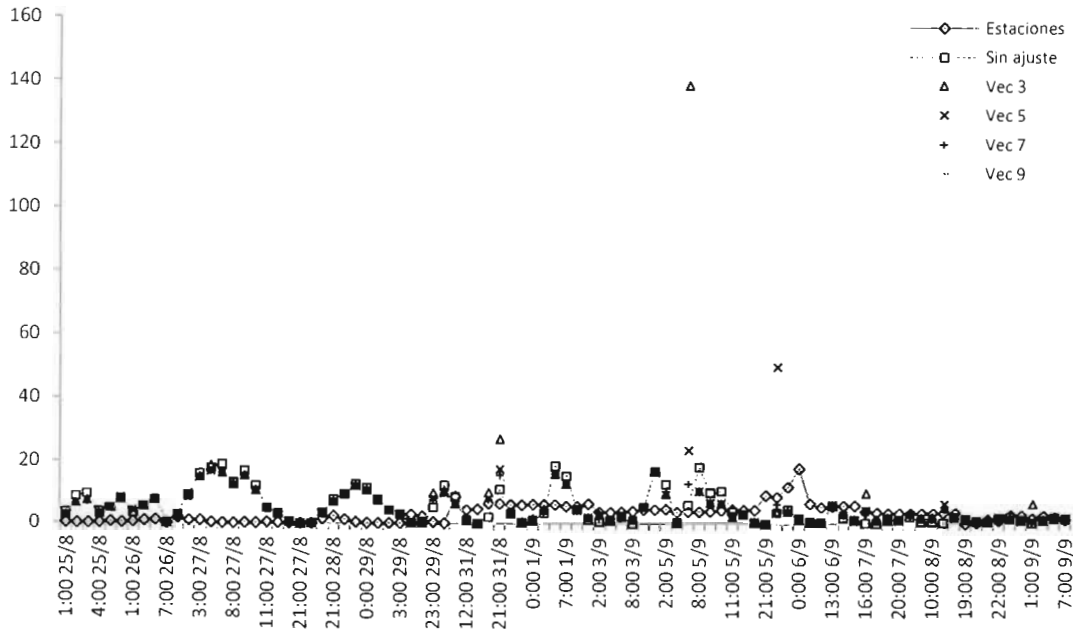


Figura 2.e.18 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Pichucalco

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

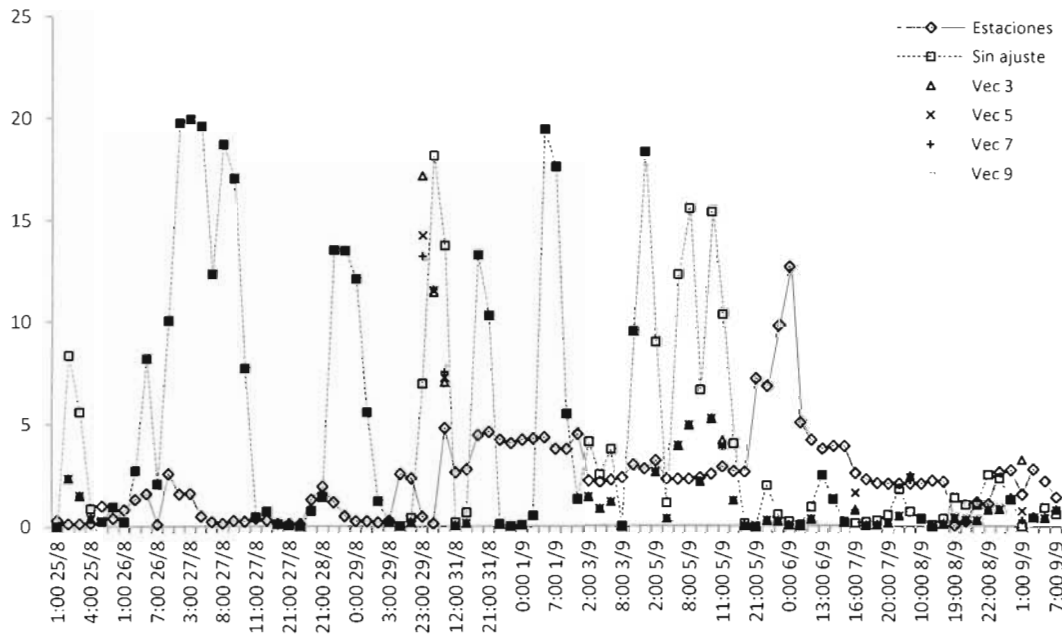


Figura 2.e.19 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Puyacatengo

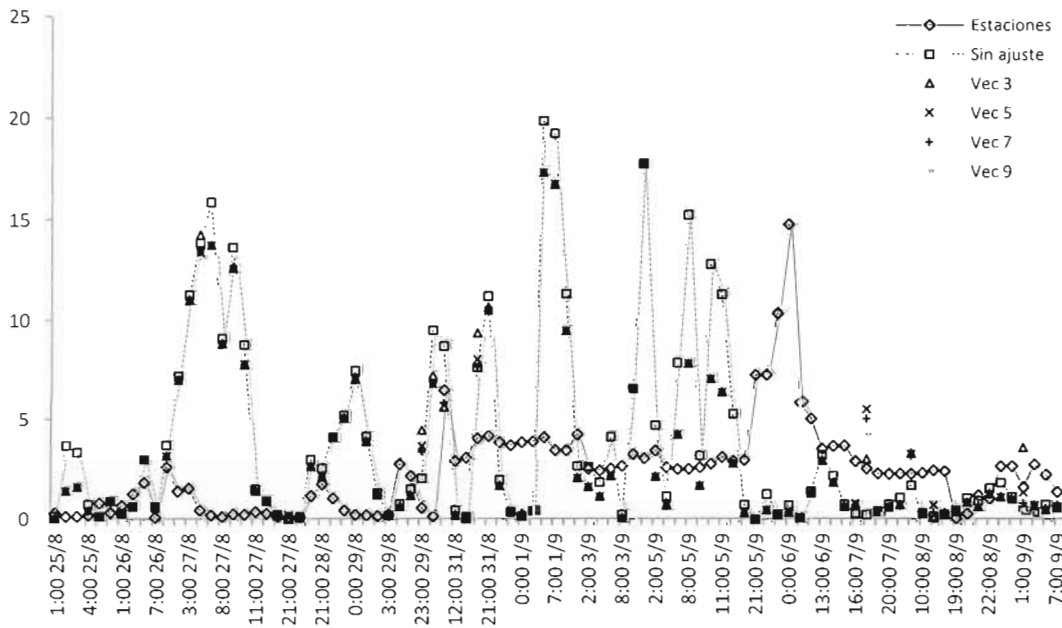


Figura 2.e.20 Ajuste puntual para tamaño de vecindad 3, 5, 7 y 9, cuenca Teapa

Resultados de la calibración: Ajuste de lluvias

La calibración entre las láminas sin ajuste y las ajustadas, se evaluó con el coeficiente de determinación R^2 , el cual se calcula con la fórmula siguiente

$$R^2 = \left(\frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \right)^2$$

donde x son las láminas sin ajustar e y son las láminas ajustadas.

En las siguientes gráficas (figuras 2.e.21 a 2.e.24) se muestra de manera respectiva, el contraste entre los métodos de ajuste puntual y promedio, para las cuencas: Almandro, Pichualco, Puyacatengo y Teapa.

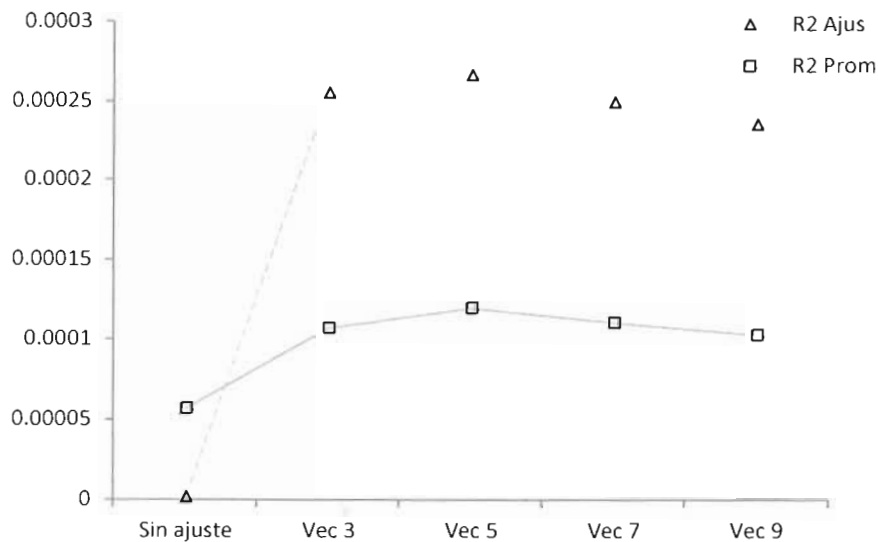


Figura 2.e.21 Comparación entre los dos métodos de ajuste en la cuenca Almandro

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

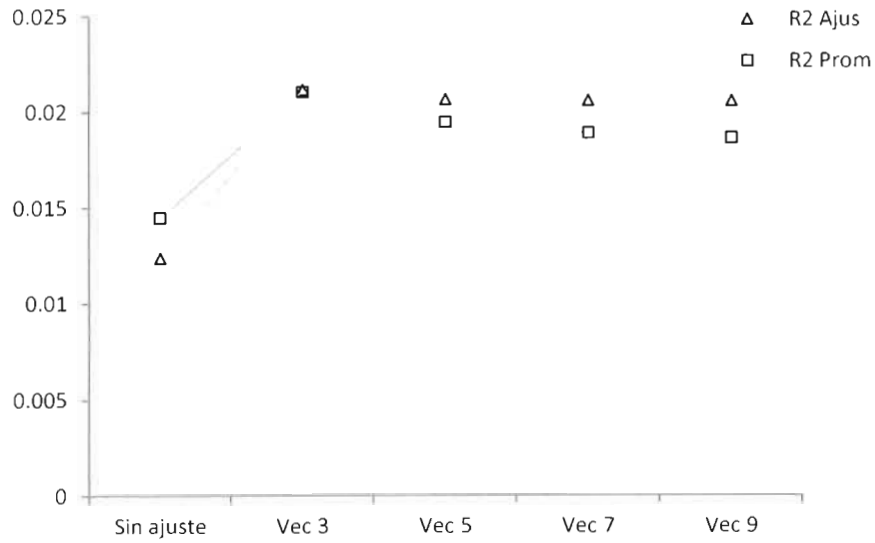


Figura 2.e.22 Comparación entre los dos métodos de ajuste en la cuenca Puyacatengo

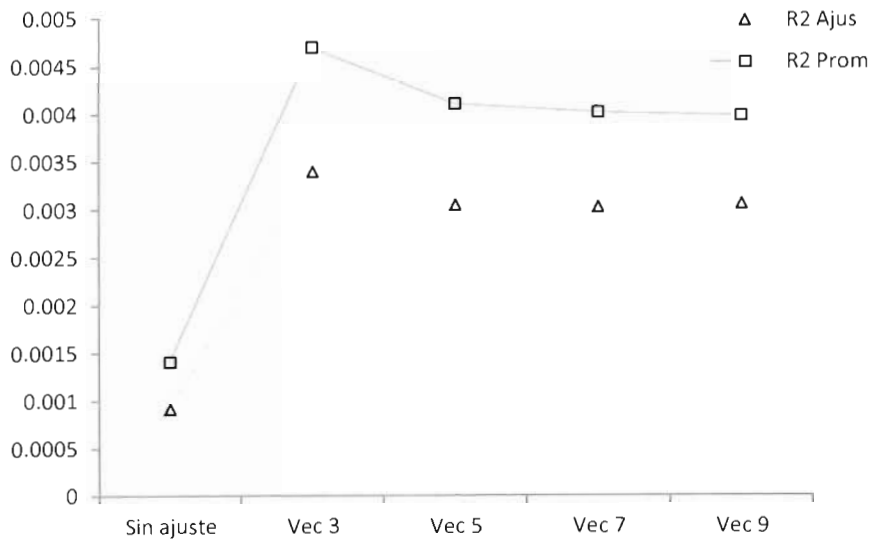


Figura 2.e.23 Comparación entre los dos métodos de ajuste en la cuenca Teapa

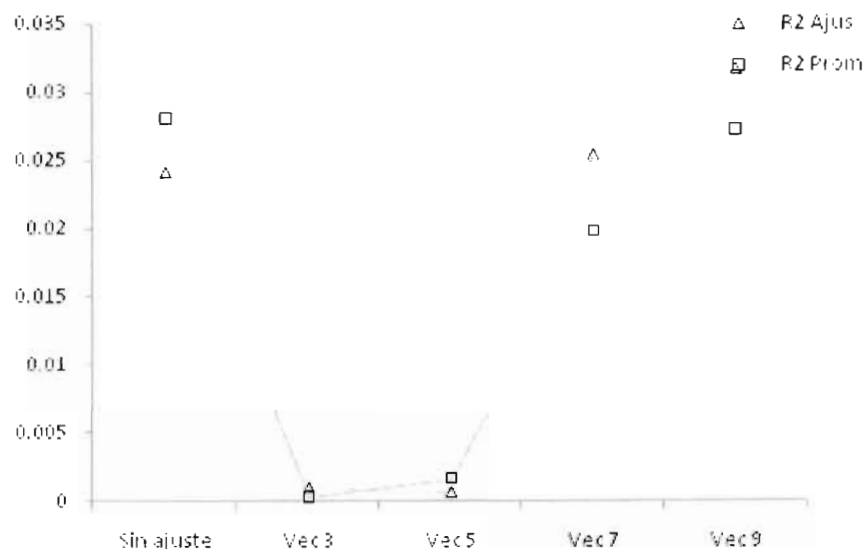


Figura 2.e.24 Comparación entre los dos métodos de ajuste en la cuenca Pichucalco

En la figura 2.e.25 se presenta la comparación de los coeficientes de determinación para cada método de ajuste y para diferente vecindades (3, 5, 7 y 9). Para Teapa y Puyacatengo los mejores coeficientes corresponden al método de ajuste Promedio con vecindades de 3, seguido de vecindad 5. Para Almandro el método puntual con vecindad de 5, es el que mejor se ajustó. Finalmente, Pichucalco presentó mejor ajuste con el método puntual vecindad de 9. e concluye que el método de ajuste es el promedio con vecindad de 5, puesto que la estimación de niveles con los datos ajustados con este número de vecindad es razonable.

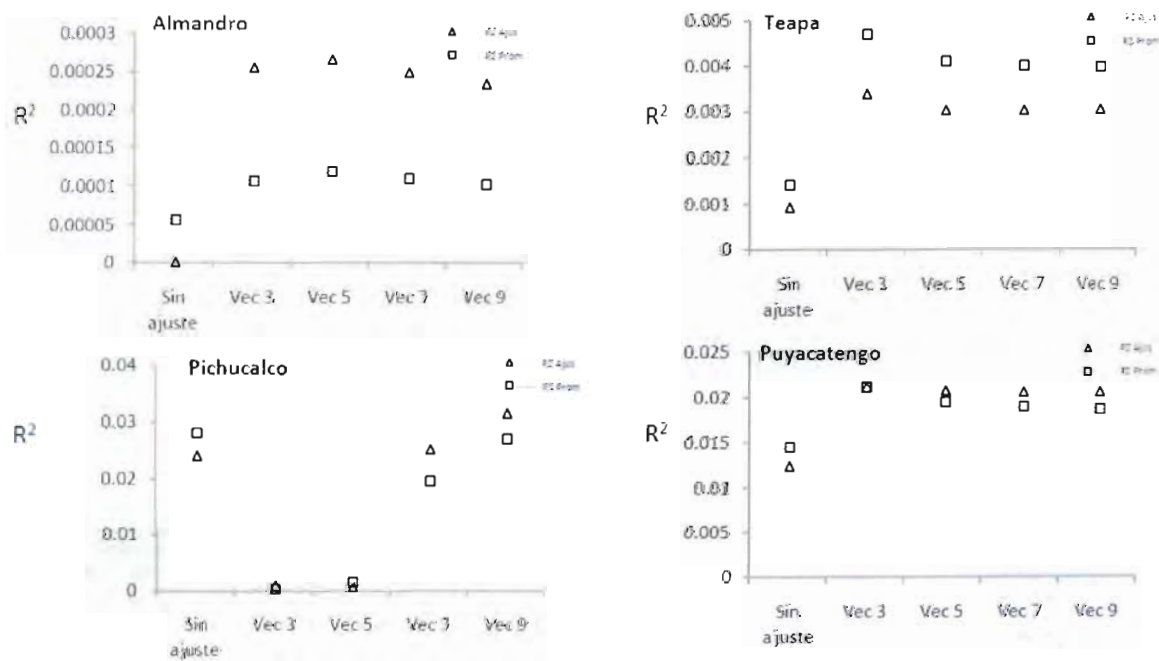


Figura 2.e.25 Resultado de la calibración de lluvias para los diferentes métodos de ajuste y número de vecindad

VF

f) OPERACIÓN DEL MODELO LLUVIA-ESCURRIMIENTO CON LLUVIAS DE 2012

El modelo lluvia escurrimiento de los ríos de la Sierra se aplicará durante el periodo de mayo a septiembre del 2012, haciendo un énfasis en las tormentas más importantes acontecidas en el periodo.

Un punto medular dentro del modelo lluvia escurrimiento, es la caracterización de cuencas (inciso 2.b) y determinación de los parámetros de infiltración (inciso 2.c) estos dos temas - como se verá más adelante- serán el punto de partida para la re-calibración después de cada periodo de lluvia.

f.1) Operación modelo lluvia escurrimiento del SWMM

Transformación lluvia-escurrimiento en el SWMM v.5.0

SWMM v.5.0 propone para el proceso de transformación lluvia-escurrimiento una esquematización general de los procesos que se desarrollan en la superficie de la cuenca.

Los procesos de escurrimiento en la zona de estudio se maneja similar a un depósito (figura 2.f.1) que está regido por una ecuación de equilibrio de masa, función de los caudales de entrada y salida y con su correspondiente variación de almacenamiento, tipo

$$I - Q = \frac{dS}{dt}$$

donde:

I caudal de entrada correspondiente a la aportación de la precipitación caída sobre la cuenca

Q caudal de escurrimiento generado

S almacenamiento o retención dentro de la cuenca

Para poder resolver la ecuación anterior, se recurre a la propuesta de alguna relación entre las otras dos variables, caudal de escurrimiento y almacenamiento. En el modelo SWMM se postuló una condición que relaciona el caudal de salida con el nivel de agua en el depósito ficticio. En el cálculo hidrológico de caudales que realiza el bloque RUNOFF, propone una metodología que está relacionada con las aproximaciones de onda cinemática, aunque en realidad se puede definir como una formulación mixta entre modelo de depósito y de onda cinemática.

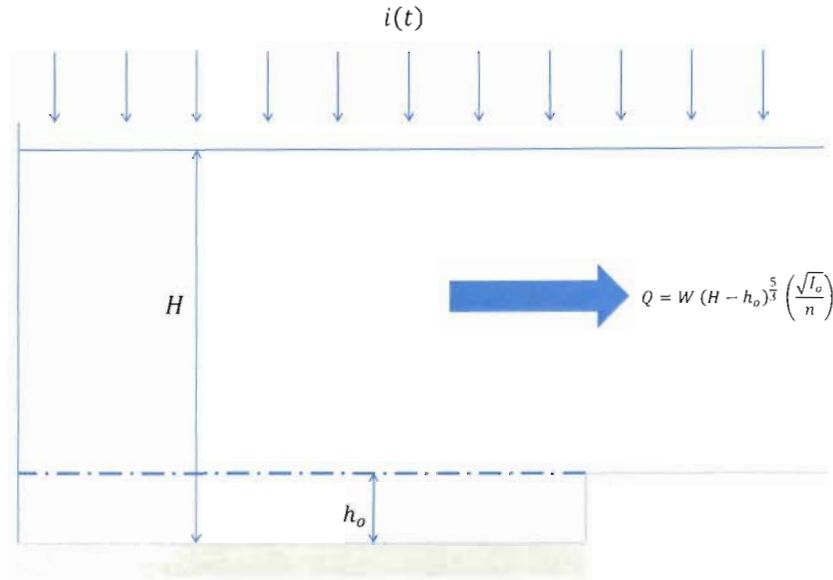


Figura 2.f. 14 Modelo de depósito aplicado en SWMM v.5.0

Esta metodología supone que la subcuenca objeto de estudio, definida a partir de su área, pendiente, rugosidad superficial, etc. tiene un comportamiento de tipo depósito. Además, asume una cierta abstracción inicial, como se ha indicado anteriormente, de manera que hasta que no se ha producido una cierta precipitación umbral, no se genera escurrimiento, y donde el término de caudal de salida del depósito se expresa asumiendo que nivel de agua disponible para generar caudal de escurrimiento ($H-h_0$) coincide con el tirante normal correspondiente al caudal de salida o caudal de escurrimiento de la subcuenca.

$$A * i(t) - 0.5(Q_{i+1} + Q_i) = A \frac{H_{i+1} - H_i}{\Delta t}$$

ó desarrollando los términos del caudal de acuerdo a la condición de tirante normal:

$$A * i(t) - 0.5 \left[W * (H_{i+1} - h_0)^{5/3} * \frac{\sqrt{I_0}}{n} + W * (H_i - h_0)^{5/3} * \frac{\sqrt{I_0}}{n} \right] = A \frac{H_{i+1} - H_i}{\Delta t}$$

donde:

- A superficie en planta de la subcuenca
- $i(t)$ intensidad de precipitación caída en la subcuenca
- W ancho de la subcuenca
- H altura de agua en la subcuenca
- h_0 abstracción inicial o umbral de escorrentía de la subcuenca
- I_0 pendiente media de la subcuenca
- n coeficiente de rugosidad superficial

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

f.2) Generación archivos *.TXT

El registro de lluvia se tiene en dos formatos uno cada 24 hrs, a las 08:00 hrs esto con el final de empatar las horas de registros de la CONAGUA reportadas en los boletines, y otra con registros horarios ya que este es el formato original del hidroestimador.

Los archivos *.TXT tienen el siguiente formato y pueden ser consultados en el anexo 2.f.1:

ID	AÑO	MES	DIA	HORA	MINUTO	LECTURAS
TAB01	2012	3	1	0	0	0.11
TAB01	2012	3	1	0	5	5.59
TAB01	2012	3	1	0	10	0.00
TAB01	2012	3	1	0	15	0.00
TAB01	2012	3	1	0	20	0.03
TAB01	2012	3	1	0	25	0.10
TAB01	2012	3	1	0	30	4.13
TAB01	2012	3	1	0	35	4.41
TAB01	2012	3	1	0	40	7.93
TAB01	2012	3	1	0	45	7.98
TAB01	2012	3	1	0	50	0.00
TAB01	2012	3	1	0	55	0.00
TAB01	2012	3	1	0	00	0.00
TAB01	2012	3	1	0	05	0.00
TAB01	2012	3	1	0	10	1.89
TAB01	2012	3	1	0	15	2.74
TAB01	2012	3	1	0	20	0.71
TAB01	2012	3	1	0	25	0.54
TAB01	2012	3	1	0	30	0.00
TAB01	2012	3	1	0	35	0.07
TAB01	2012	3	1	0	40	0.05
TAB01	2012	3	1	0	45	0.39
TAB01	2012	3	1	0	50	0.03
TAB01	2012	3	1	0	55	0.00
TAB01	2012	3	1	0	00	0.00
TAB01	2012	3	1	0	05	0.00
TAB01	2012	3	1	0	10	1.22
TAB01	2012	3	1	0	15	0.75
TAB01	2012	3	1	0	20	1.05
TAB01	2012	3	1	0	25	0.00
TAB01	2012	3	1	0	30	0.00
TAB01	2012	3	1	0	35	0.00
TAB01	2012	3	1	0	40	0.00
TAB01	2012	3	1	0	45	0.00
TAB01	2012	3	1	0	50	0.00
TAB01	2012	3	1	0	55	11.54
TAB02	2012	3	1	0	0	0.91
TAB02	2012	3	1	0	5	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	92.00
TAB02	2012	3	1	0	35	4.02
TAB02	2012	3	1	0	40	0.03
TAB02	2012	3	1	0	45	0.01
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.00
TAB02	2012	3	1	0	45	0.00
TAB02	2012	3	1	0	50	0.00
TAB02	2012	3	1	0	55	0.00
TAB02	2012	3	1	0	00	0.00
TAB02	2012	3	1	0	05	0.00
TAB02	2012	3	1	0	10	0.00
TAB02	2012	3	1	0	15	0.00
TAB02	2012	3	1	0	20	0.00
TAB02	2012	3	1	0	25	0.00
TAB02	2012	3	1	0	30	0.00
TAB02	2012	3	1	0	35	0.00
TAB02	2012	3	1	0	40	0.0

f.3) Resultados de las simulaciones de lluvia estimada y tránsito de avenidas

Láminas medias de lluvia - periodo mayo a septiembre 2012

Las lluvias registradas durante el periodo del 01 de mayo al 30 de septiembre del año 2012, fueron en su mayoría de baja intensidad, con excepción del mes de agosto donde se presentó el fenómeno hidrometeorológico Ernesto.

A partir de lo mencionado anteriormente se presentan los resultados de las simulaciones comprendidas en el periodo de mayo a septiembre del 2012, haciendo un énfasis en el evento Huracán Ernesto comprendido del 04 al 10 de agosto.

Las láminas medias de lluvia estimadas por el Hidroestimador se pueden trabajar en dos intervalos de tiempo horarias (1 hrs) y acumuladas (24 hrs), estos datos se muestran en las siguientes figuras. Las lluvias acumuladas se generan a partir de las lluvias horarias dentro del intervalo de 08:00 hrs a 08:00 hrs del día siguiente. El recuadro en rojo que presentan las imágenes indican la semana donde el huracán Ernesto tuvo efectos en el estado de Tabasco.



MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

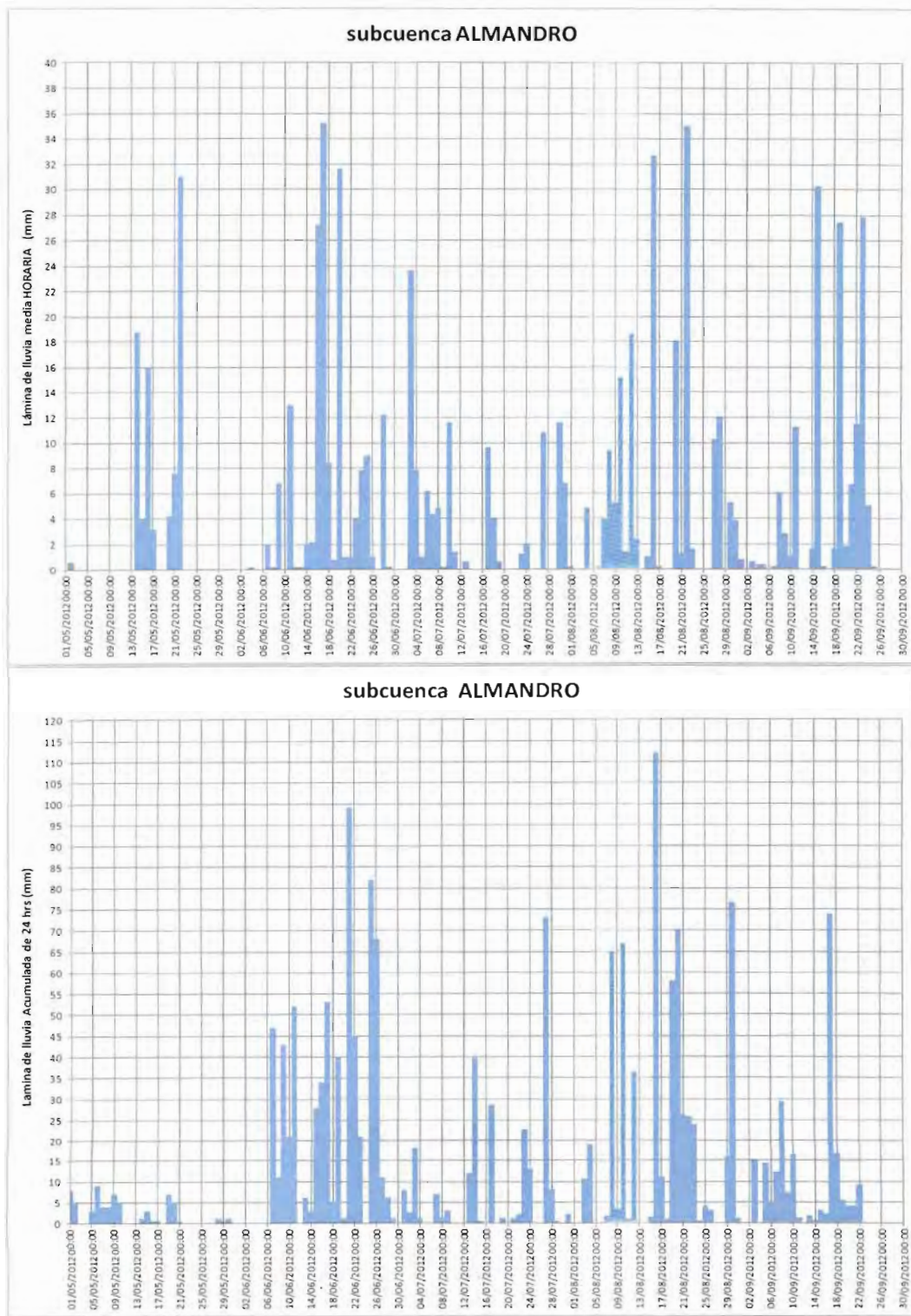


Figura 2.f. 25 Lluvias HORARIAS y ACUMULADAS estimadas con el Hidroestimador (periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012) subcuenca ALMANDRO

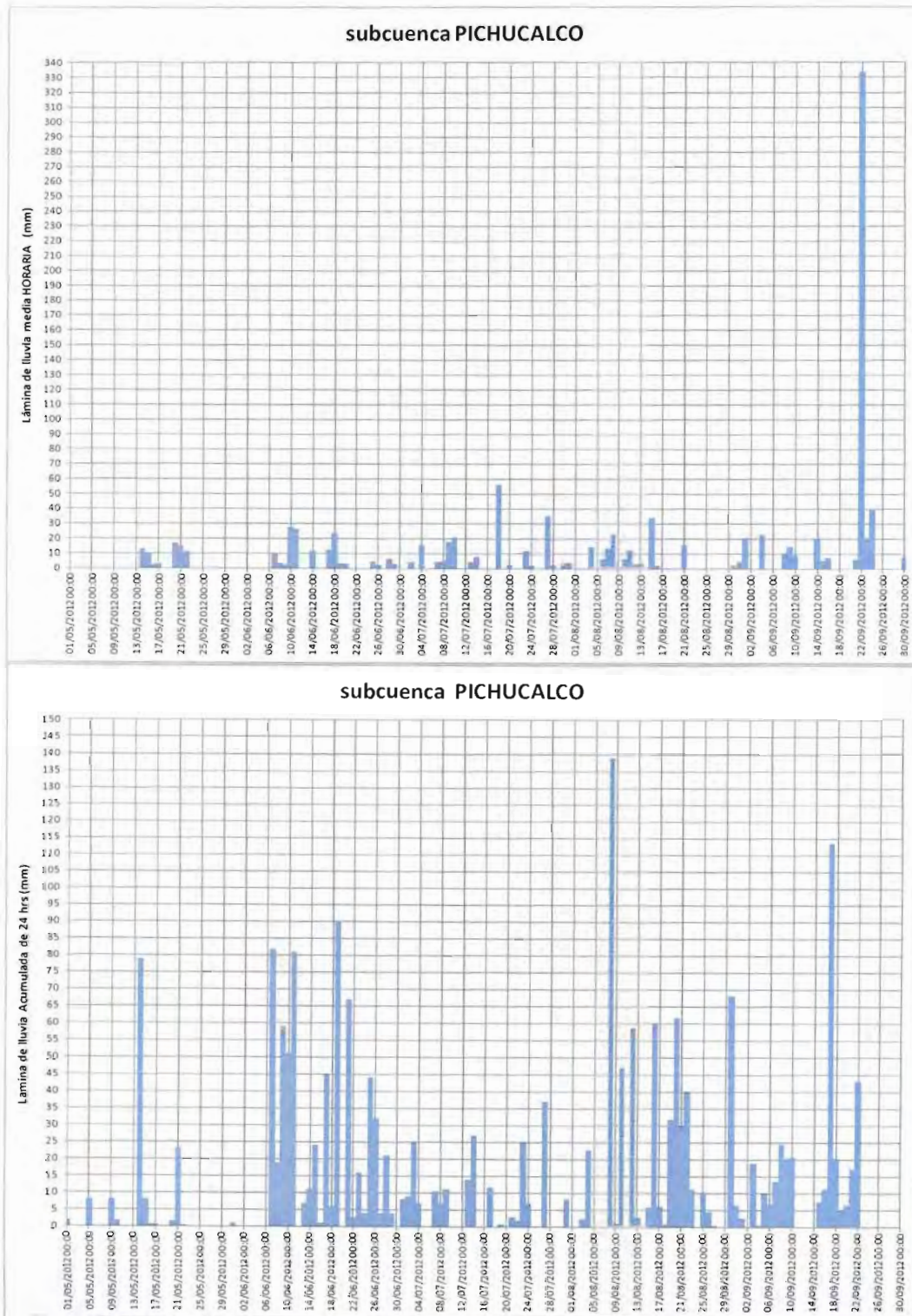


Figura 2.f. 36 Lluvias HORARIAS y ACUMULADAS estimadas con el Hidroestimador (periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012) subcuenca PICHUCALCO

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

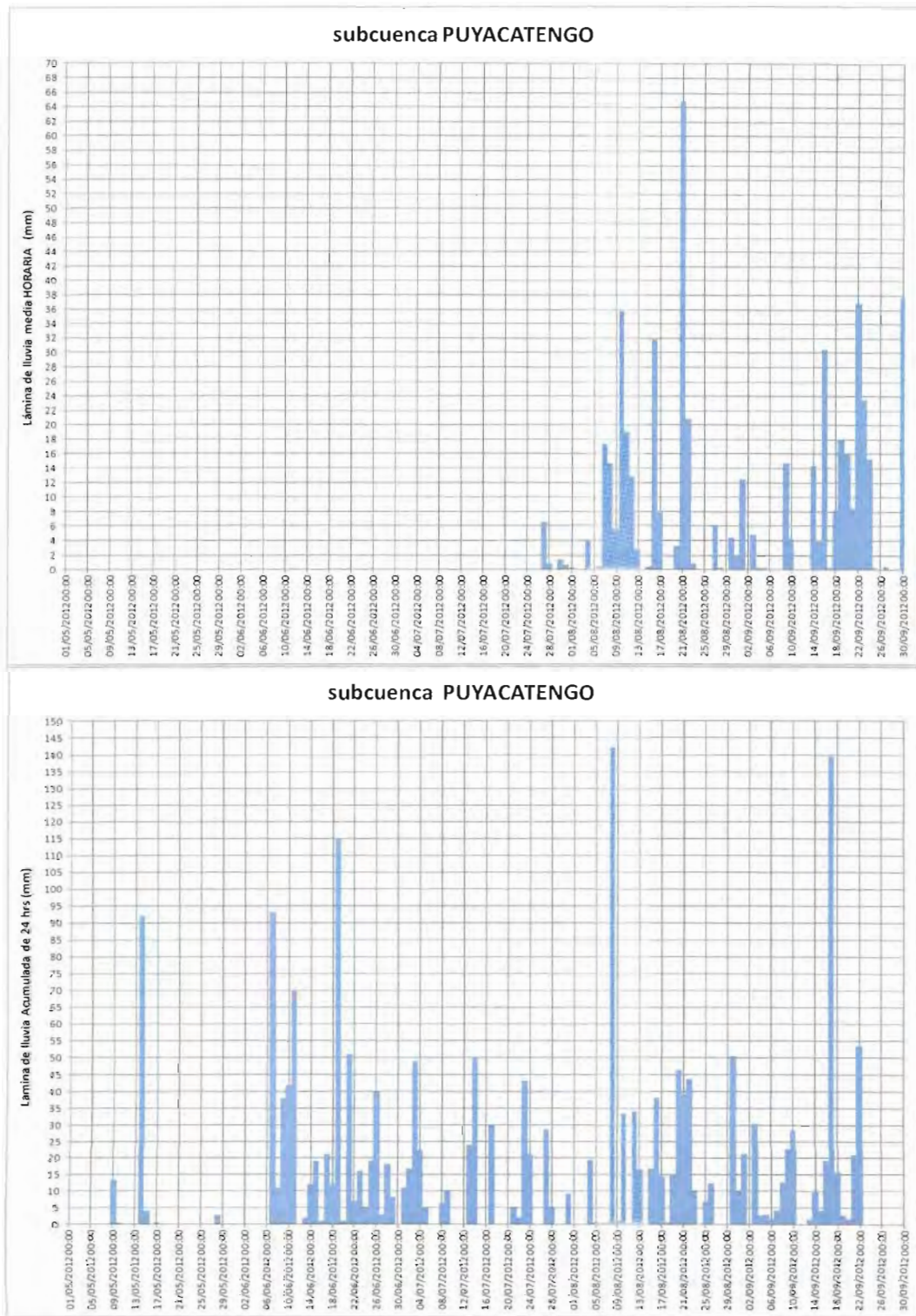


Figura 2.f. 47 Lluvias HORARIAS y ACUMULADAS estimadas con el Hidroestimador (periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012) subcuenca PUYACATENGO

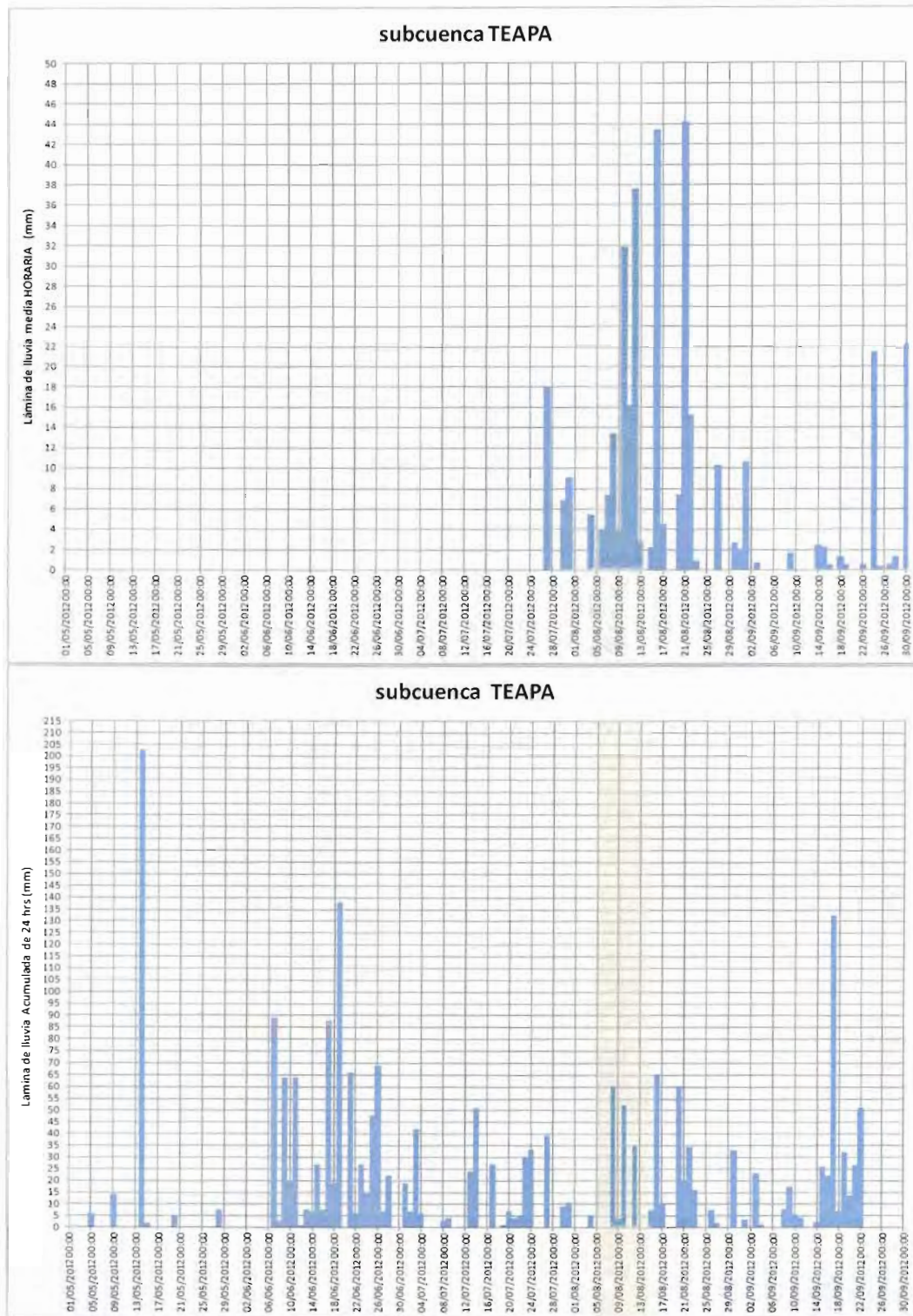


Figura 2.f. 58 Lluvias HORARIAS y ACUMULADAS estimadas con el Hidroestimador (periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012) subcuenca TEAPA

VF

Resultados de la simulación de las láminas medias de lluvia



Figura 2.f. 69 Comparación de datos REGISTRO vs SIMULACIÓN (SWMM) Punto de control PORVENIR

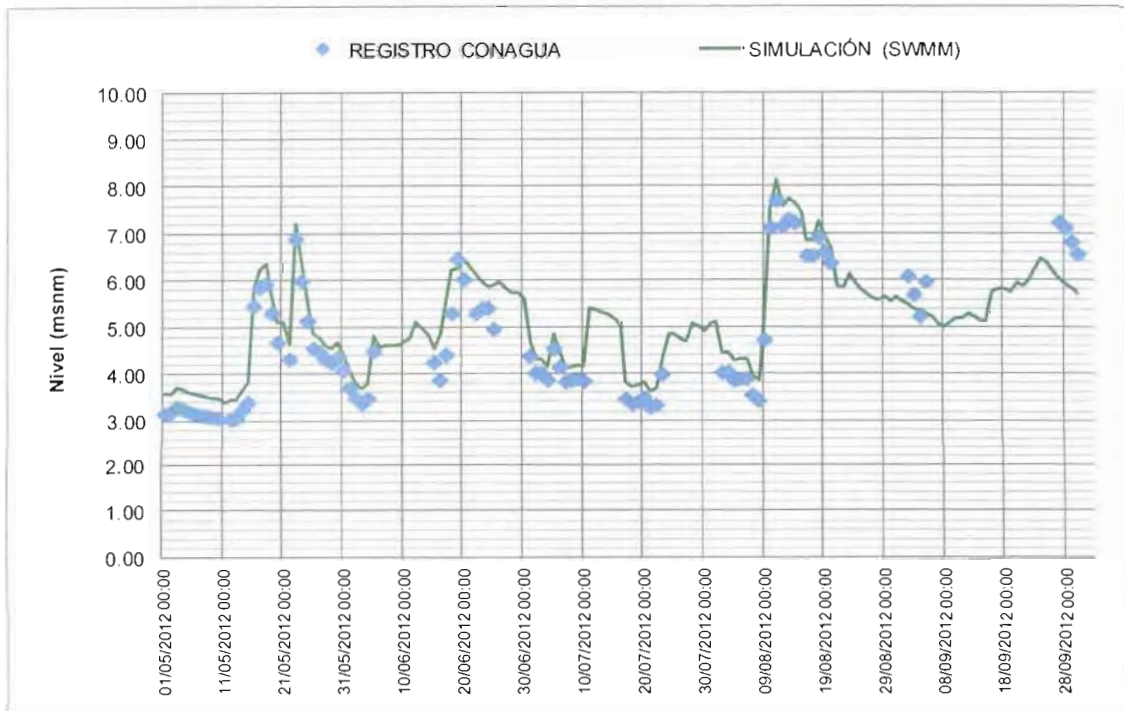


Figura 2.f. 710 Comparación de datos REGISTRO vs SIMULACIÓN (SWMM)

Punto de control PUEBLO NUEVO

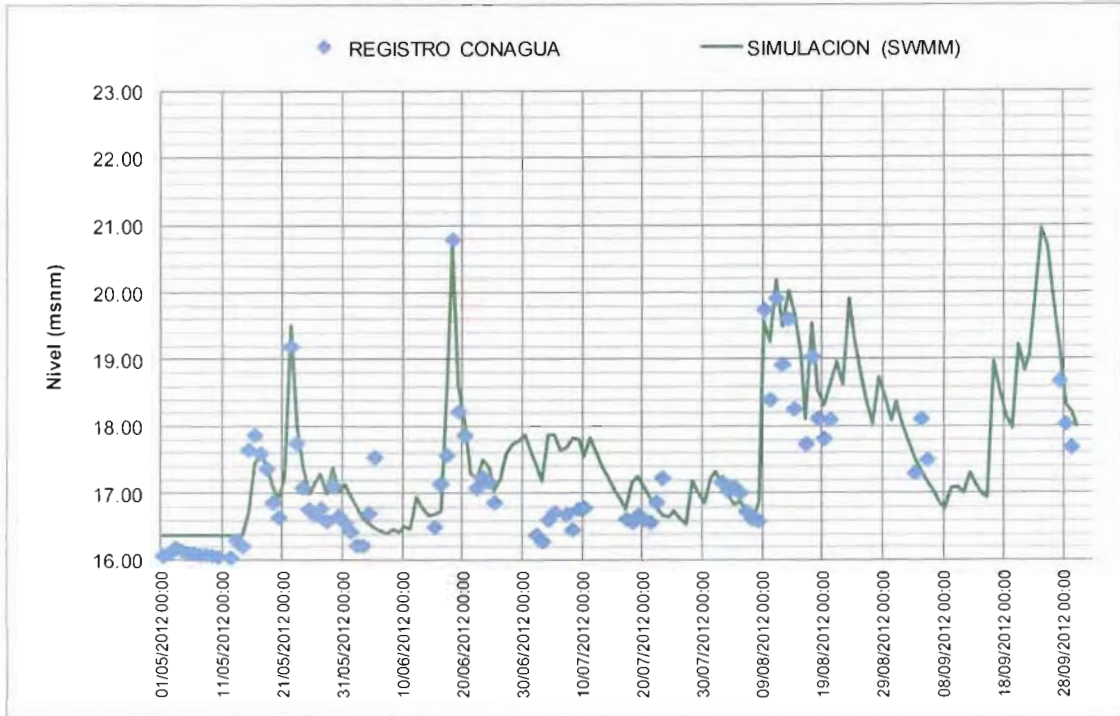


Figura 2.f. 811 Comparación de datos REGISTRO vs SIMULACIÓN (SWMM) Punto de control TAPIJULAPA

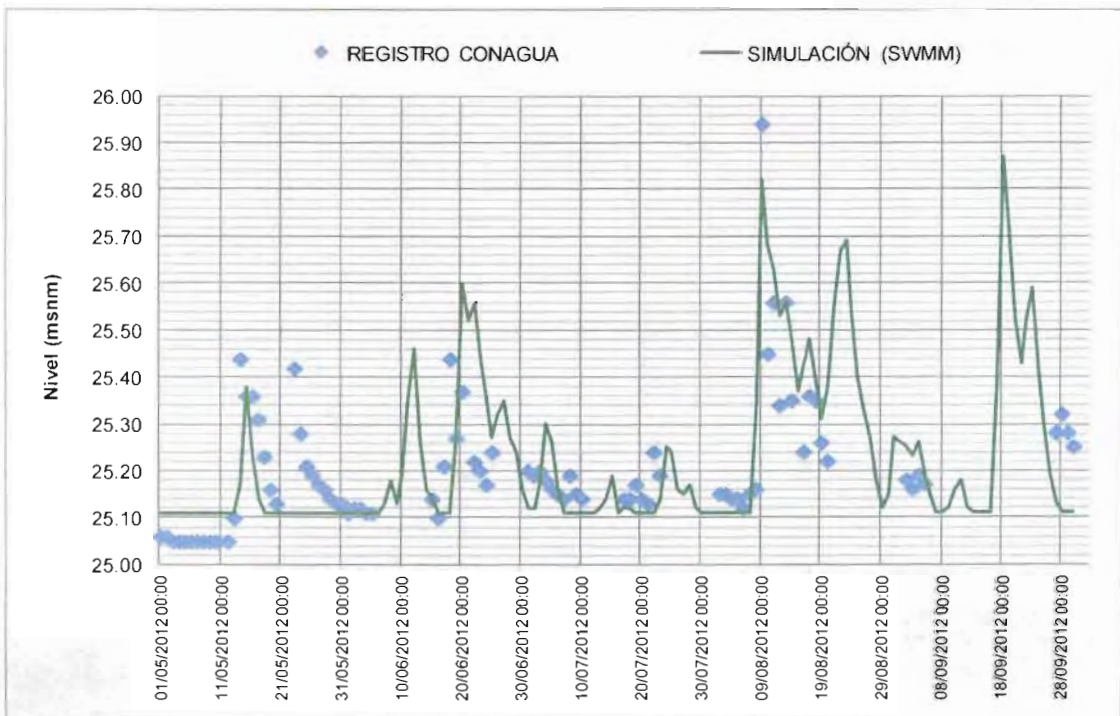


Figura 2.f. 912 Comparación de datos REGISTRO vs SIMULACIÓN (SWMM) Punto de control PUYACATENGO

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

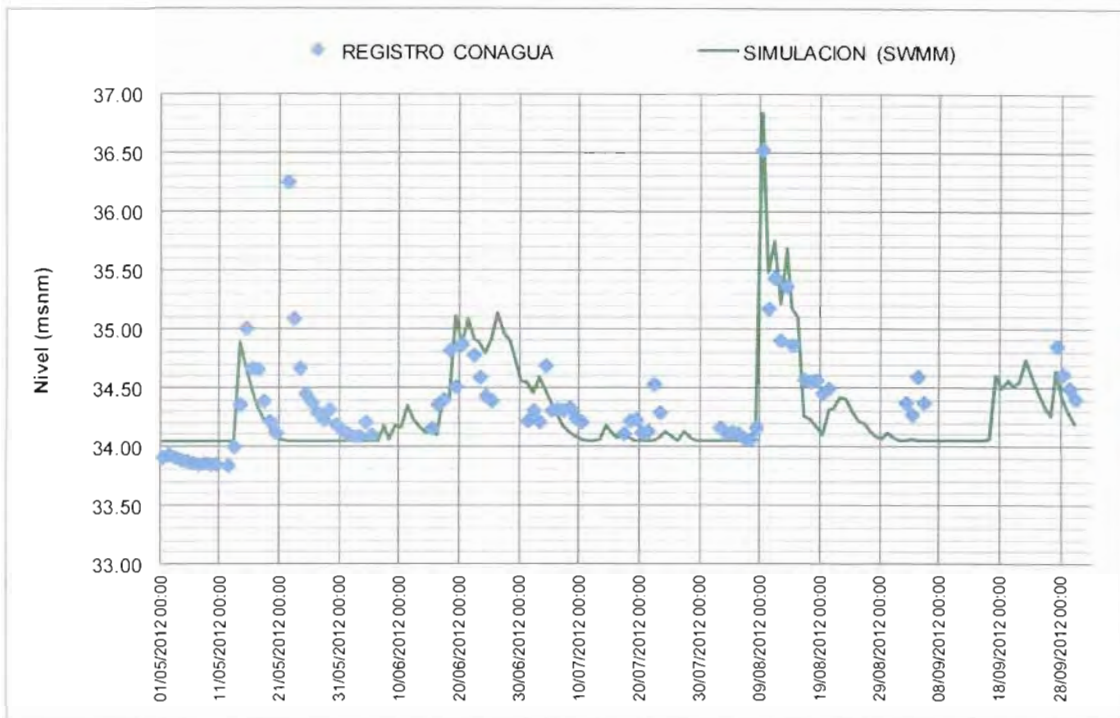


Figura 2.f. 1013 Comparación de datos REGISTRO vs SIMULACIÓN (SWMM) Punto de control TEAPA

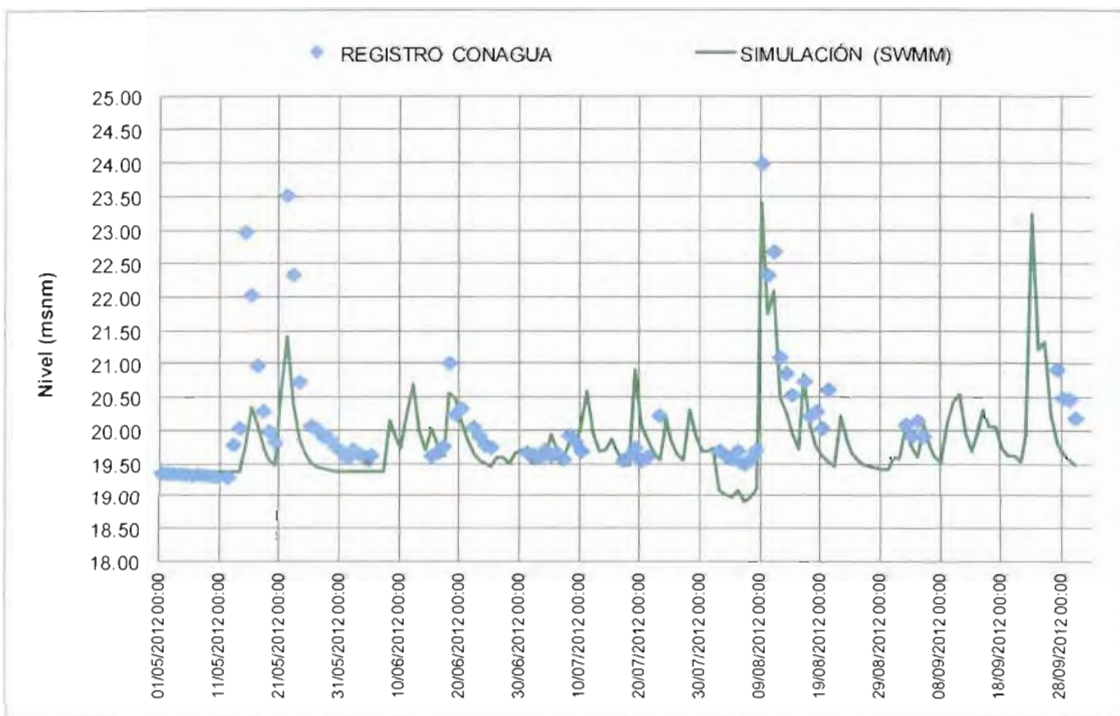


Figura 2.f. 1114 Comparación de datos REGISTRO vs SIMULACIÓN (SWMM) Punto de control PICHUCALCO

Lluvias mes de agosto 2012

En el mes de agosto se presentó el evento hidrometeorológico denominado "Ernesto", a continuación se muestra el reporte realizado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA) y lo simulado para el periodo en el SWMM.

REPORTE DEL HURACÁN ERNESTO EMITIDO POR LA CONAGUA (ver Reporte Anexo 2.f.2 - Reseña del huracán "Ernesto" del Océano Atlántico publicado por CONAGUA-SMN)

El día 1° de agosto por la tarde se formó la depresión tropical No. 5 de la temporada de ciclones 2012 en la cuenca del Océano Atlántico. Se inició a 1,300 km al Este de las Antillas Menores y a 4,200 km al Este de las costas de Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h y rachas de 75 km/h, misma fuerza con la que se mantuvo hasta la tarde del día 2, cuando se desarrolló a tormenta tropical con el nombre de "Ernesto", alcanzando vientos máximos sostenidos de 85 km/h y rachas de 100 km/h a una distancia de 3,345 km al Este de la costa de Quintana Roo.

Mientras seguía su trayecto hacia el Oeste viajando en la periferia Sur de la amplia circulación anticiclónica de las Azores, la tormenta tropical "Ernesto" siguió fortaleciéndose y así, el día 7 de agosto a las 13:00 horas local, tiempo de México, después de haber atravesado a todo lo largo del Mar Caribe, se intensificó a huracán con vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 160 km/h a 295 km al Este de Chetumal, Q.R.

Ya como huracán, "Ernesto" siguió aumentando su fuerza y a las 22:00 horas, tiempo del centro de México se encontraba sobre la línea de costa, en las inmediaciones de la población de Majahual, Q. R. y a 65 km al Este-Noreste de Chetumal, Q. R. con vientos máximos sostenidos de 140 km/h y rachas de 165 km/h.

Debido al efecto de fricción con el terreno, "Ernesto" empezó a perder fuerza por lo que a las 01:00 horas del día 8 de agosto, se encontraba en tierra, a 16 km al NorNoreste de Bacalar y a 35 km al Norte de Chetumal, Q. R., ligeramente debilitado, con vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 155 km/h.

Mientras avanzaba hacia el Oeste el huracán "Ernesto" siguió debilitándose por lo que a las 4:00 horas, cuando se encontraba sobre la frontera entre Quintana Roo y Tabasco, a 85 km al Oeste-Noroeste de Chetumal, Q. R., se degradó a tormenta tropical presentando vientos máximos sostenidos de 110 km/h con rachas de 140 km/h.

En su trayecto hacia el Oeste sobre la Península de Yucatán, la tormenta tropical "Ernesto" siguió perdiendo fuerza por lo que a las 13:00 horas del día 8, se ubicó en tierra, a 27 km al Sureste de Punta Xochen, Camp. con vientos máximos sostenidos de 75 km/h y rachas de 95 km/h; por la tarde de este mismo día, ya se encontraba nuevamente en el mar, a 50 km al Noreste de Ciudad del Carmen, Camp., donde encontró condiciones favorables para ganar fuerza, iniciando un periodo de fortalecimiento sobre el Sur del Golfo de México, mientras se desplazaba con rumbo hacia la costa Sur de Veracruz, hasta alcanzar vientos máximos sostenidos de 110 km/h con rachas de 130 km/h a 65 km al Nor-Noreste de Coatzacoalcos, Ver., el día 9 por la mañana.

Debido a su emplazamiento muy cerca de la costa "Ernesto" empezó a perder fuerza como resultado del impacto de sus bandas nubosas con la costa Sur y Suroeste del Golfo de México y con la Sierra Madre Oriental y así, a las 10:00 horas del día 9, se ubicó a 10 km al

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

Este de Coatzacoalcos, Ver., con vientos máximos sostenidos de 95 km/h y rachas de 110 km/h, misma fuerza con la que a las 13:00 horas el centro del ciclón tocó tierra por segunda ocasión, esta vez a 15 km al Noroeste de Coatzacoalcos, Ver.

Las lluvias máximas puntuales superiores a 100 mm en 24 horas asociadas con el ciclón "Ernesto" fueron las siguientes:

- 129.2 mm en Chetumal, QR., el día 7 de agosto.
- 183.0 mm en Candelaria, Camp.; 177.0 mm en La Cangrejera, Ver. y 139.9 mm en Yamonho, Chis., el día 8 de agosto.
- 344.0 mm en Jacatepec, Oax.; 329.3 mm en El Raudal, Ver.; 226.0 mm en Teziutlán, Pue.; 168.0 mm en Zacualtipan, Hgo.; 166.0 mm en Arriaga, Chis.; 164.0 mm en Quetzala, Gro. y 112.2 mm en Matlapa, SLP., el día 9 de agosto.
- 180.0 mm en Huachinango, Pue.; 140.0 mm en Tecpan, Gro.; 129.7 mm en La Angostura, Chis. y 126.8 mm en Terrerillos, Ver., el día 10 de agosto.
- 140.5 mm en Escuintla, Chis., el día 11 de agosto.

Para el seguimiento de la tormenta con el modelo matemático, este se realizó por un intervalo de una hora a partir del 04 de agosto y hasta el 10 agosto del año en curso. En las gráficas siguientes se muestra el seguimiento que se tiene con la estimación de lluvias proporcionada por el hidroestimador y el software SWMM desde el 01 de mayo hasta el evento de Ernesto. Se obtienen niveles y gastos asociados a la lluvia estimado con un intervalo de una hora.

A pesar de que este evento ha sido el primero del año que presenta lluvias significativas para el estado de Tabasco, no alcanzo niveles de alerta en la estación Porvenir. En la figura siguiente se muestran los niveles de alerta considerados por la CONAGUA y reportados en el boletín hidrometeorológico.

No.	ESTACION	Niveles		
		NAMO	NAME	NAMIN
1	Platanar	32.28	34.65	29.07
2	Samaria	14.90	18.50	10.40
3	Gonzalez	8.77	10.20	2.87
4	Oxolotan	39.53	47.37	31.20
5	Tapijulapa	24.63	28.15	15.92
7	Teapa	37.71	39.56	33.80
6	Puyacatengo	29.65	31.35	24.21
9	San Joaquín	23.12	26.66	17.75
8	Pueblo Nuevo	7.49	8.40	1.16
10	Gaviotas	5.42	7.85	0.82
11	El Muelle	5.24	7.23	0.73
12	Porvenir	4.74	6.67	0.51
14	Macuspana	9.85	12.78	0.69
13	Salto de Agua	10.99	14.57	0.84
16	San Pedro	9.01	9.77	7.58
15	Boca del Cerro	19.21	21.57	10.63

Figura 2.f. 12 Niveles de alerta reportados por la CONAGUA

Se muestra en la tabla que el nivel de alerta es el nivel 6.67 msnm para la estación Porvenir, siendo el máximo alcanzado durante el evento Huracán Ernesto el nivel 2.5 msnm.

En la siguiente gráfica se muestran los niveles obtenidos durante el evento de Ernesto, para la estación hidrométrica Porvenir. Se puede observar que lo simulado es similar a lo reportado por la CONAGUA en sus boletines hidrometeorológicos.

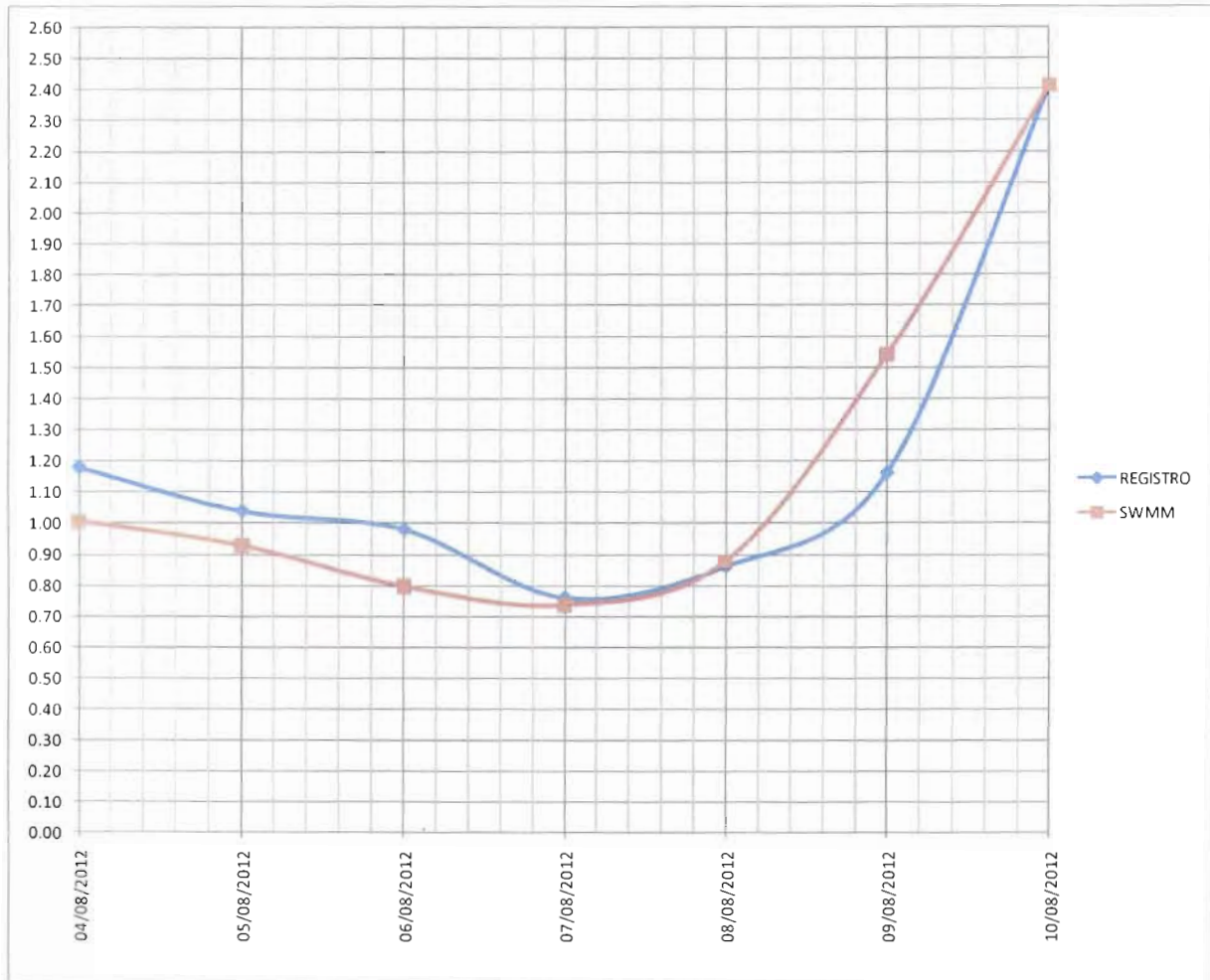


Figura 2.f. 13 Niveles en la Estación Hidrométrica Porvenir - comparación Registro vs Simulación SWMM (intervalo 24 hrs)

Para llevar un seguimiento más cercano se tomaron datos de la estación automática Porvenir, ya que reporta con intervalo de una hora; así mismo, dentro del modelo se calcularon los niveles con este mismo intervalo para poder llevar un mejor seguimiento.

El evento Huracán Ernesto, ha sido una prueba de que el modelo *Ríos de la Sierra* en el software SWMM, se encuentra calibrado y en operación, ya que los resultados obtenidos son similares a lo que reporta la CONAGUA tanto en boletines de estaciones convencionales (24 hrs) como en las estaciones automáticas (1 hr)

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)

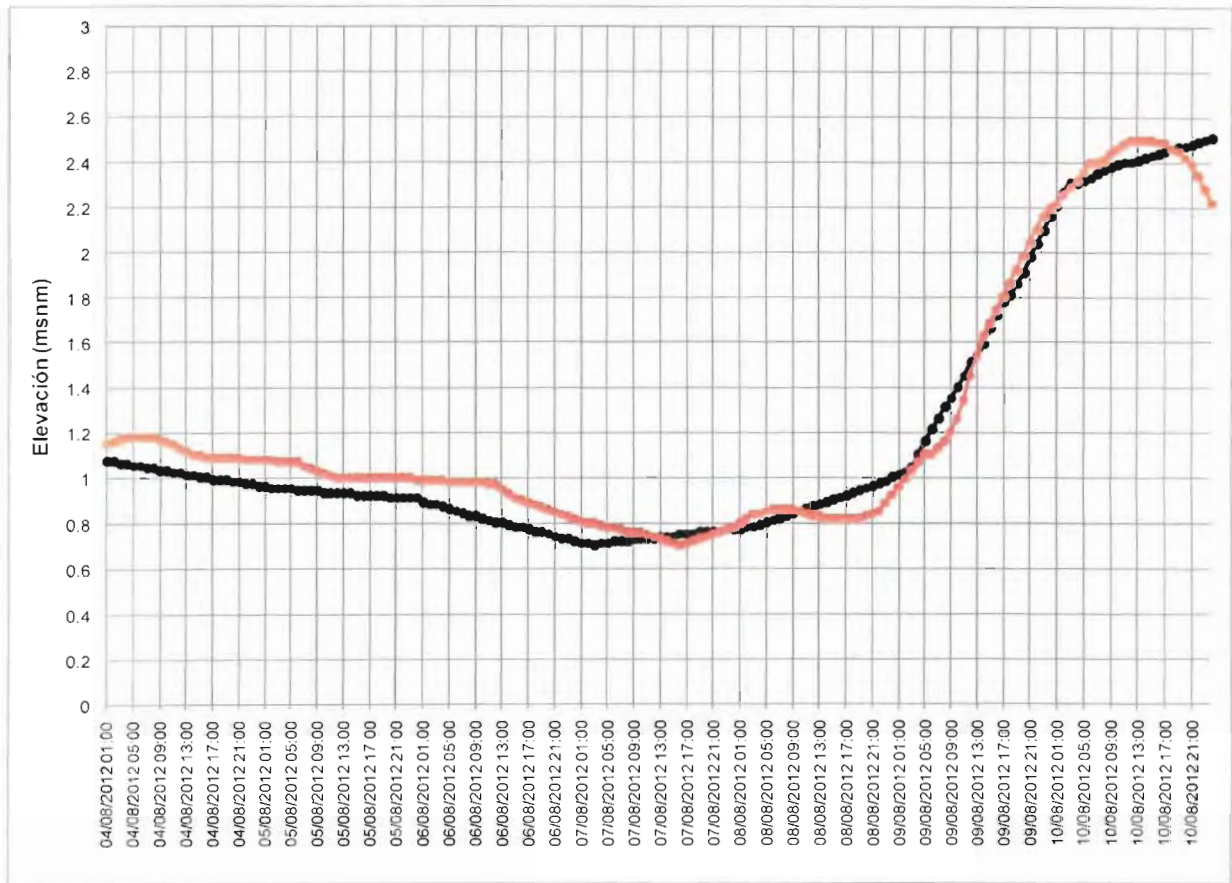


Figura 2.f. 14 Niveles en la Estación Hidrométrica Porvenir - comparación Registro vs Simulación SWMM (intervalo 1 hrs)

Conclusiones

Las laminas de lluvia media estimadas por el Hidroestimador fueron simuladas satisfactoriamente en el SWMM v.5.0, tanto en el módulo lluvia-escorrimento como en el módulo de tránsito de avenidas.

Es importante mencionar, que difícilmente lo simulado será igual a lo reportado en los boletines, debido a la incertidumbre acumulada en cada proceso desde la adquisición de datos para el modelo, las ecuaciones matemáticas que emplea el SWMM v.5.0, etc. El modelo presenta un comportamiento aceptable al reportar en época de lluvias variaciones máximas de 0.4 m en algunos de los casos (Huracán Ernesto) con intervalos de lluvia de 24 hrs, sin embargo cuando este intervalo disminuye (lluvias horarias) la diferencia entre el valor simulado y registrado disminuye a la mitad. Se observó que en temporada de secas o de escasa presencia de lluvia, el modelo necesita ser recalibrado en cuanto a la variable de infiltración, ya que las diferencias entre lo simulado y lo reportado en boletines se incrementan.

Se vuelve primordial para el uso satisfactorio y la aplicabilidad del modelo mantener la información que conforma el modelo actualizada ej: topografía, reportes de medición (estaciones convencionales y automáticas), así como incrementar la red de medición en las zonas de interés, tales como: lagunas, estructuras de control, etc.

g) INSTALACIÓN DE DOS ESTACIONES "ESPEJO" DEL HIDROESTIMADOR EN OFICINAS CENTRALES DE LA CONAGUA

Instalación del Hidroestimador en oficinas centrales de CONAGUA 31 de octubre de 2012

El día 31 de octubre del presente, se realizó la instalación del Hidroestimador en las oficinas centrales de la CONAGUA, el Ing. Cristian Leonel Palma Bautista fue la persona que recibió el equipo y quien verificó la correcta instalación y funcionamiento del hidroestimador, según consta en la minuta que se firmó (figura 2.g.2 y 2.g.3).

Las características del equipo de cómputo instalado en las oficinas centrales de la CONAGUA se enlistan a continuación:

Equipo	No. de serie
Dell Vostro V470 Procesador Intel Core i7-3770 Tarjeta de Video NVIDIA GeForce GT 620 1GB DDR3 Memoria RAM 6GB DDR3 SDRAM 1600MHz Disco duro 1TB,SATA 3.0Gb/s,16MB Unidad 16X DVD+/-RW Red Lan integrada 10/100/1000 Ethernet Sistema Operativo Win7 Professional 64 SP1 Teclado y Mouse	92GPWV1
Monitor Dell P2412H, 24 pulgadas	CN-0KG49T-74261-28G-4UEU

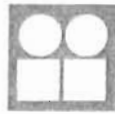
Instalación del Hidroestimador en las instalaciones del OCFS 22 de noviembre de 2012

El día jueves 22 de noviembre del presente, se realizó la instalación del Hidroestimador, originalmente se tenía previsto realizar dicha instalación en las oficinas del Organismo de Cuencas Frontera Sur Dirección de Infraestructura Hidroagrícola ya que así se notificó en oficio por parte de CONAGUA oficinas centrales, finalmente se indicó que la instalación se realizará en el Centro Hidrometeorológico de Tuxtla.

El director del Centro el Ing. Rodrigo Guadalupe Pérez, fue la persona quién atendió, designó el lugar, la IP para la conexión a internet, y quién verificó la correcta instalación y operación del Hidroestimador, según consta la minuta que se firmó (figura 2.g.9)

Las características del equipo de cómputo designado para el OCFS se enlistan a continuación:

Equipo	No. de serie
Dell Vostro V470 Procesador Intel Core i7-3770 Tarjeta de Video NVIDIA GeForce GT 620 1GB DDR3 Memoria RAM 6GB DDR3 SDRAM 1600MHz Disco duro 1TB,SATA 3.0Gb/s,16MB Unidad 16X DVD+/-RW Red Lan integrada 10/100/1000 Ethernet Sistema Operativo Win7 Professional 64 SP1 Teclado y Mouse	92GNWV1
Monitor Dell P2412H, 24 pulgadas	CN-0KG49T-74261-28H-15JU



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

México D.F. a 31 de octubre de 2012

ING. R. ISIDRO GAYTÁN ARVIZU
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA DE PROTECCIÓN EN RÍOS Y DE DISTRITOS DE TEMPORAL
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
PRESENTE

Estimado Ing. Gaytán:


Conforme a lo estipulado en el convenio **SGIH-GDTT-SGOPR-UNAM-II-2012-01 Acciones complementarias del Plan Hidrico Integral de Tabasco** toda vez que se han realizado las adecuaciones sugeridas, confirmo a usted que el equipo de cómputo cuyas características se enlistan:

Equipo	No. de serie	
Dell Vostro V470	92GPWV1	C.N.A. S.G.I.H. 12 OCT 31 PM 6:13 SECRETARÍA PARTICUL
Procesador Intel Core i7-3770		
Tarjeta de Video NVIDIA GeForce GT 620 1GB DDR3		
Memoria RAM 6GB DDR3 SDRAM 1600MHz		
Disco duro 1TB, SATA 3.0Gb/s, 16MB		
Unidad 16X DVD+/-RW		
Red Lan integrada 10/100/1000 Ethernet		
Sistema Operativo Win7 Professional 64 SP1		
Teclado y Mouse		
Monitor Dell P2412H, 24 pulgadas	CN-0KG49T-74261-28G-4UEU	

Instalado físicamente en la sala 7B, del piso 7 de las Oficinas Centrales de la CONAGUA, cuenta con la versión corregida y calibrada del software Hidroestimador.

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,


M. I. Juan Javier Carrillo Sosa
c.c.p.
Ing. Sergio Soto Priante, Subdirector General de Infraestructura Hidroagrícola - Comisión Nacional del Agua
Ing. José Alberto García Gómez, Subgerente de Proyectos de Obras de Protección en Ríos - Comisión Nacional del Agua



Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, México 04510 DF.
www.ii.unam.mx

Figura 2.g.1 Oficio de entrega e instalación del Hidroestimador

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA
Gerencia de Distritos de Temporal Tecnificado
Subgerencia de Proyectos de Obras de Protección en Ríos

Minuta de Trabajo

Lugar: Sala 7B, Piso 7 de la SGIH de la Comisión Nacional del Agua, Oficinas Centrales.

Objetivo: Instalación de estación "espejo" del hidroestimador.

Fecha: miércoles, 31 de octubre de 2012.

DESARROLLO:

Siendo las 16:30 hrs. del día 31 de oct. de 2012 se reunieron personal de la Gerencia de Infraestructura de Protección en Ríos y Distritos de Temporal para efectuar la instalación de la estación "espejo" del hidroestimador que opera en la Dirección Local Tabasco.

A continuación se asientan las actividades y acuerdos efectuados en la reunión.

- Se lleva a entrega del equipo DELL Vostro V470 No. Serie 92GPWV1 y Monitor Dell P2412H, 24" No. Serie CN-0K949T-74261-4UEU así como de su instalación en la sala 7B del piso 7.
- Se efectuó la conexión a la red para llevar a cabo la descarga de la información de la lluvia estimada y medida.
- Así mismo se hicieron del conocimiento las recomendaciones del equipo, cabe señalar que este equipo no cuenta en su configuración tal como Office o antivirus ya que éstos interferirían en los procesos del hidroestimador. Es importante la conexión ininterrumpida de internet para la descarga continua de datos.
- El II-UNAM proveera a la brevedad del NO-BRAKE, de acuerdo a lo acordado en pasada reunión del día 30 de octubre de 2012.

"Juntos cuidamos el agua"

2 de 2

Figura 2.g.2 Minuta instalación del Hidroestimador Oficinas Centrales (hoja 1)



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA
Gerencia de Distritos de Temporal Tecnificado
Subgerencia de Proyectos de Obras de Protección en Ríos

Minuta de Trabajo

Lugar:	Sala 7B, Piso 7 de la SGIH de la Comisión Nacional del Agua, Oficinas Centrales.
Objetivo:	Instalación de estación "espejo" del hidroestimador.
Fecha:	miércoles, 31 de octubre de 2012.

ACUERDOS:

en las instalaciones de esta Comisión. Lo anterior con el objetivo de evitar la interrupción en la descarga de la información de la lluvia estimada y medida.

- El II-UNAM explicó brevemente el funcionamiento y la explicación de los componentes del Hidroestimador. Asimismo, verificará si se impartirá curso sobre el manejo del Hidroestimador para el personal de Oficinas Centrales y Organismo de Cuenca Frontera Sur.
- Por lo anterior, queda en operación el Hidroestimador, la cual funcionará como estación "espejo" de la estación central ubicada en Dirección Local Tabasco.

Siendo las 18:00 hrs del mismo día de su inicio, se cierra la presente minuta firmando de conformidad cada una de las hojas que la integran.

Crista Palma
CONAGUA.

María Díaz
Mercado IIUNAM

Diego Espinosa
Figueredo IIUNAM

"Juntos caudamos el agua"

1 de 2

Figura 2.g.3 Minuta instalación del Hidroestimador Oficinas Centrales (hoja 2)



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA
Gerencia de Distritos de Temporal Tecnificado
Subgerencia de Proyectos de Obras de Protección en Ríos

Asistentes a la Reunión

Lugar: Sala 7B, Piso 7 de la SGIH de la Comisión Nacional del Agua, Oficinas Centrales.

Objetivo: Instalación de estación "espejo" del hidroestimador.

Fecha: miércoles, 31 de octubre de 2012.

NOMBRE:	CARGO:	DEPENDENCIA / OFICINA	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO
Dani Espinoza Figueroa	Técnico	Instituto de Ingeniería de la UNAM	56233500 ext. 1501	despinoza.f@ingen.unam.mx
Vitali Díaz Mercado	Técnico	Instituto de Ingeniería de la UNAM	56233500 ext. 8634	vdiazm@ingen.unam.mx
Cristian Leal Palma Bautista	Especialista Técnico "B"	GIIPR / CONAGUA	51744000 ext. 2012	cristian.palma@conagua.gob.mx

Figura 2.g.4 Minuta, instalación del Hidroestimador Oficinas Centrales (asistentes)





SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA
 Gerencia de Infraestructura de Protección en Ríos y de
 Distritos de Temporal
 Subgerencia de Proyectos de Obras de Protección en Ríos

Minuta de Trabajo

Lugar:	Piso 7 de la SGIH, CONAGUA Oficinas Centrales.
Objetivo:	Entrega de los aditivos de la estación espejo del Hidroestimador.
Fecha:	lunes, 5 de noviembre de 2012.

DESARROLLO:

En alcance a la minuta del día 31 de octubre de 2012 referente al suministro del NO-BREAK y del manual del Hidroestimador, el día de hoy lunes 05 de noviembre de 2012 el Instituto de Ingeniería de la UNAM proporciona para el correcto funcionamiento de la estación espejo del Hidroestimador lo siguiente:

- No-break marca Tripp-Lite No. Serie 2138G400M785 602124.
- Manual del Hidroestimador en medio impreso y magnético (pdf y word).

Gabriela Gutierrez Huña.
 INGENIERO (UNAM)

Cristian Palma
 CONAGUA

"Juntos cuidamos el agua"

1 de 3

Figura 2.g.5 Minuta suministro de No-Break y Entrega del Manual del Hidroestimador Oficinas Centrales

VF

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO. (MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)



INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

México D.F. a 20 de noviembre de 2012

ING. R. ISIDRO GAYTÁN ARVIZU
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA DE PROTECCIÓN EN RÍOS Y DE DISTRITOS DE TEMPORAL
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
PRESENTE

Conforme a lo estipulado en el convenio SGIH-GDTT-SGOPR-UNAM-II-2012-01 *Acciones complementarias del Plan Hidrico Integral de Tabasco* toda vez que se han realizado las adecuaciones sugeridas al sistema denominado hidroestimador, confirmo a usted que en el equipo de cómputo cuyas características se enlistan:

Equipo	No. de serie
Dell Vostro V470 Procesador Intel Core i7-3770 Tarjeta de Video NVIDIA GeForce GT 620 1GB DDR3 Memoria RAM 6GB DDR3 SDRAM 1600MHz Disco duro 1TB, SATA 3.0Gb/s, 16MB Unidad 16X DVD+/-RW Red Lan integrada 10/100/1000 Ethernet Sistema Operativo Win7 Professional 64 SP1 Teclado y Mouse	92GNWV1
Monitor Dell P2412H, 24 pulgadas	CN-0KG49T-74261-28H-15JU

Será instalado físicamente el software con la versión corregida y calibrada del Hidroestimador en las oficinas de la CONAGUA en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas el día **jueves 22 de noviembre del año en curso**, por lo que le pido amablemente se informe al responsable a fin de que nos apoye durante el proceso de la instalación.

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,

M. Juan Javier Carrillo Sosa

Ing. Sergio Soto Priante, Subdirector General de Infraestructura Hidroagrícola - Comisión Nacional del Agua
Ing. José Alberto García Gómez, Subgerente de Proyectos de Obras de Protección en Ríos - Comisión Nacional del Agua



Ciudad Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, México 04510, D.F.
www.iunam.mx

C.N.A. S.G.I.H.
20 NOV 20 PM5:39
SECRETARÍA PARTICULAR

Figura 2.g.6 Oficio de entrega e instalación del Hidroestimador oficinas de CONAGUA en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE
INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA.

GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA DE
PROTECCIÓN EN RÍOS Y DE DISTRITOS DE
TEMPORAL.

MEMORANDO No. B00.04.02.1048

México, D. F., a 21 de noviembre de 2012.

ING. RAÚL SAAVEDRA HORITA
DIRECTOR GENERAL DEL ORGANISMO DE CUENCA
FRONTERA SUR
P R E S E N T E

En relación al convenio específico de colaboración No. SGIH-GDTT-SGOPR-UNAM-II-2012-01 denominado "ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HÍDRICO INTEGRAL DE TABASCO" y en particular a la actividad descrita en el anexo técnico, misma que se transcribe a continuación: *g) Instalación de dos estaciones "espejo" del Hidroestimador en oficinas de la CONAGUA. Se instalará dos estaciones espejo del Hidroestimador, una en las oficinas centrales de la CONAGUA y otra en las oficinas de la regional Frontera Sur. Las estaciones espejo consistirán en la instalación física del equipo de cómputo similar al instalado en las oficinas de CONAGUA en Tabasco y se dejarán operando como estación "espejo" para que se pueda visualizar lo que procese la estación central en Villahermosa.*

Por lo anterior y de acuerdo al Oficio emitido por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, del cual anexo copia, le solicito atentamente designe a un responsable para apoyar en el proceso de instalación de la estación espejo del Hidroestimador el cual se efectuará el día 22 de noviembre del año en curso en las instalaciones de ese Organismo de Cuenca.

Es importante mencionar que es necesario designar un espacio de acceso restringido donde estará instalado el equipo. Los requerimientos para el correcto funcionamiento de la estación espejo del Hidroestimador se enlistan a continuación:

- El equipo deberá estar encendido las 24 horas por lo que en ningún momento deberá apagarse o entrar en estado de hibernación, estando siempre conectado a la energía eléctrica por lo que es necesario el suministro de un no-break.
- Deberá contar con conexión permanente a internet para garantizar la descarga continua de datos de lluvia estimada y medida así como de las imágenes satelitales, por lo que se requiere del suministro de un cable Ethernet.

"Juntos Cuidemos el Agua"

1/2

Figura 2.g.7 Oficio de CONAGUA Oficinas Centrales dirigido al Organismo de Cuenca Frontera Sur (hoja 1)

MODELO PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES Y GASTOS EN
LA ZONA BAJA DEL RÍO GRIJALVA CON AYUDA DE UN
HIDROESTIMADOR Y UN MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO
(MODELO LA SIERRA-CARRIZAL-BAJO GRIJALVA)



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE
INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA.

GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA DE
PROTECCIÓN EN RÍOS Y DE DISTRITOS DE
TEMPORAL.

MEMORANDO No. B00.04.02.- 1048

México, D. F., a 21 de noviembre de 2012

Al final de la instalación, es imperioso efectuar las pruebas necesarias en la estación espejo del Hidroestimador a fin de garantizar la correcta descarga de la información de la lluvia estimada y medida

Agradeciendo la atención al particular, reciba un cordial saludo

ATENTAMENTE
EL GERENTE

ING. R. ISIDRO GAYTÁN ARVIZU

C c p: Ing. Sergio Soto Priante, Subdirector General de Infraestructura Hidroagrícola - Presente
Ing. Alberto Colinas Cosío, Director de Infraestructura Hidroagrícola del QCFE - Presente
Ing. Marco Antonio Parra Cota, Coordinador del PHIT DL Tabasco - Presente
Ing. José Alberto García Gómez, Subgerencia de Proyectos de Obras de Protección en Ríos - Presente
M. I. Juan Javier Carrillo Sosa, Director del PHIT R UNAM, jcas@pumas.unam.mx - Presente

RIGA/JAGG/DCF/CLB2012

2/2

"Juntos Cuidemos el Agua"

Figura 2.g.8 Oficio de CONAGUA Oficinas Centrales dirigido al Organismo de Cuenca
Frontera Sur (hoja 2)



COMISION NACIONAL DEL AGUA
DIRECCION TECNICA DEL ORGANISMO DE CUENCA FRONTERA SUR
MINUTA

TEMA:	HIDROESTIMADOR		
LUGAR:	TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS		
FECHA:	22 DE NOVIEMBRE DE 2012	HORARIO:	18:00 PM

CONVOCADOS

NOMBRE/DEPENDENCIA

CONAGUA - Organismo de Cuenca Frontera Sur - Dirección Técnica / Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez	Instituto de Ingeniería UNAM, como parte del Convenio No. SGIH-GDTT-SGOPR-UNAM-II-2012-01
--	---

ORDEN DEL DIA

- 1.- Entrega e instalación del equipo de cómputo con el espejo del Hidroestimador , suministro de No-Break y cable Ethernet.
- 2.- Asignación de la dirección IP para la descarga de las imágenes y de los datos para estimar la lluvia
- 3.- Revisión del funcionamiento y pruebas necesarias para la instalación.

ACUERDOS

1. Se recibe equipo antes descrito con el Hidroestimador operando correctamente, así como el suministro de No-Break y cable Ethernet, en las instalaciones del Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez, y de manera específica en la Jefatura de Hidrología Operativa, en virtud de que en el ámbito del Organismo de Cuenca Frontera Sur, es el Centro Regional y esta Jefatura quien lo va a operar
2. Se realizó una breve descripción del Hidroestimador para su operación.
3. Por la premura de la descripción del Hidroestimador en el sitio del Centro, que abierta la posibilidad de establecer reuniones por videoconferencia, en caso de que haya dudas en la operación, a fin de que se puedan aclarar.

POR PARTE DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM

M.C. VITALI DÍAZ MERCADO

POR PARTE DEL ORGANISMO DE CUENCA FRONTERA SUR DE LA CONAGUA

ING- RODRIGO GUADALUPE PAREDES

PAGINA: 1 DE 1

Figura 2.g.9 Minuta, instalación y operación correcta del Hidroestimador Organismo de Cuenca-Frontera Sur, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez