



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL – APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

T E S I S  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
GABRIELA GUTIÉRREZ AVIÑA

TUTOR PRINCIPAL  
DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL  
INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA  
Secretario: DR. OSCAR A. FUENTES MARILES  
Vocal: DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL  
1<sup>er</sup>. Suplente: DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ  
2<sup>do</sup>. Suplente: M.I VÍCTOR FRANCO

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL

-----  
FIRMA

## **Agradecimientos**

---

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Al Instituto de Ingeniería

A la Subdirección de Hidráulica y Ambiental

A la Coordinación de Hidráulica

Al Dr. Fernando J. González Villarreal por haber aceptado ser mi tutor y haber confiado en mí para el desarrollo de este tema.

A mis sinodales, Dr. Ramón Domínguez Mora, Dr. Jesús Gracia Sánchez, Dr. Oscar A. Fuentes Mariles y al M.I Víctor Franco por apoyarme durante mi estancia en la maestría y en la realización de esta tesis.

Al M.I Juan Javier Carrillo Sosa por motivarme a ingresar a la maestría y alentarme día a día para la conclusión de esta tesis.

**A mis padres**

Jorge Alfredo Gutiérrez Salazar

Patricia Aviña Maciel

*Por su apoyo y comprensión durante mi estancia  
en la maestría y desarrollo de esta tesis.*

**A mis hermanas**

Ximena y

Guadalupe

**A mis papas**

José Cruz Aviña Jiménez

Maria Luisa Maciel Jiménez

**A mis abuelos**

Gustavo Castillo (†)

Francisca Salazar Jiménez (†)

**A mi compañera de estudio**

Hashy

**Al amor de mi vida**

Eduardo A. Ortiz Urtiz

**A los amigos de siempre**

***Con Profundo Cariño a Todos***

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 GENERALES</b>	<b>1</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>2</b>
1.2.1 Objetivos específicos	2
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>2</b>
<b>1.4 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>4</b>
<b>1.5 METODOLOGÍA</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2 LA GESTIÓN DE RIESGO POR INUNDACIONES</b>	<b>8</b>
<b>2.1 DEFINICIÓN DE RIESGO</b>	<b>8</b>
<b>2.2 GESTIÓN DEL RIESGO EN MÉXICO</b>	<b>10</b>
<b>2.3 DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO</b>	<b>12</b>
<b>2.4 ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN MÉXICO</b>	<b>15</b>
2.4.1 Sistemas de Alerta temprana desarrollados por el CENAPRED y el Instituto de Ingeniería-UNAM	16
2.4.2 Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT CT)	18
2.4.3 Sistema de alerta a tiempo real para la protección a centros de población con alto riesgo en la cuenca baja del río Pánuco	19
2.4.4 Sistema de pronóstico en ríos CONAGUA	21
2.4.5 Sistemas de alerta en otras partes del mundo	23
<b>CAPÍTULO 3 SISTEMA DE ALERTA</b>	<b>28</b>
<b>3.1 eSTRUCTURA PROPUESTA DEL SISTEMA DE ALERTA</b>	<b>28</b>
<b>3.2 MONITOREO CLIMATOLÓGICO</b>	<b>29</b>
3.2.1 Estaciones meteorológicas	30
<b>3.3 ESTIMACIÓN DE LLUVIA EN TIEMPO REAL</b>	<b>33</b>
3.3.1 Hidroestimador	33
3.3.2 Aplicación al monitoreo de sistemas convectivos sobre la planicie tabasqueña	36
<b>3.4 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE RÍOS DE LA SIERRA</b>	<b>42</b>
3.4.1 Representación unifilar del sistema de drenado superficial de la zona de los ríos de La Sierra	43
3.4.2 Caracterización fisiográfica de las subcuencas	47
3.4.2.1 Uso y tipo de suelo del estado de Tabasco	49
3.4.2.2 Uso y tipo de suelo en las subcuencas del río de La Sierra	52

3.4.2.3	Datos base para la aplicación del modelo SWMM	58
<b>CAPÍTULO 4 CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO</b>		<b>66</b>
<b>4.1</b>	<b>MODELO LLUVIA-ESCURRIMIENTO</b>	<b>66</b>
4.1.1	Transformación lluvia-escorrentamiento	66
4.1.2	Método Green - Ampt	68
<b>4.2</b>	<b>MODELO DE TRÁNSITO DE AVENIDAS</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 5 PRONÓSTICO HIDRÁULICO</b>		<b>91</b>
<b>5.1</b>	<b>TIEMPO DE TRASLADO DE LAS AVENIDAS</b>	<b>91</b>
5.1.1	Cálculo del tiempo de concentración	92
<b>5.2</b>	<b>EJEMPLO DE APLICACIÓN</b>	<b>94</b>
5.2.1	Descripción de las lluvias generadas por el huracán Ernesto	95
5.2.1.1	Láminas medias de lluvia en cada subcuenca en estudio	96
<b>5.3</b>	<b>SISTEMA DE AVISOS</b>	<b>107</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>113</b>
<b>ANEXO A</b>		<b>117</b>
<b>ANEXO B</b>		<b>164</b>

## CAPÍTULO 1 GENERALES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Cada año, a partir del mes de junio comienza el periodo de lluvias en el estado de Tabasco. A pesar del efecto benéfico que traen consigo las lluvias por la variedad de ecosistemas en ocasiones ellas pueden generar un efecto adverso que son las inundaciones, que traen en consecuencia costos económicos, sociales y ambientales para los tabasqueños, tales como: daño directo a la vivienda y los enseres dentro de ella, paralización de la actividad económica, afectación al desarrollo comercial, suspensión de clases en escuelas, destrucción de infraestructura como caminos, puentes, pavimentos, instalaciones industriales, hospitales, taponamiento del sistema de drenaje; daños al sector agropecuario; fuentes de agua contaminada; estrés y ansiedad en la población afectada, prejuicios a la vida silvestre, etc.

Para el manejo del riesgo que representan las inundaciones se requieren desarrollar estrategias de mitigación y de adaptación. Las inundaciones han ocurrido con frecuencia en la planicie tabasqueña y a través de los años ha sido posible elaborar mapas que ubican en el territorio las zonas susceptibles a padecerlas y por ende es posible determinar los "territorios del agua". Además, con los sistemas de información geográfica, se puede relacionar estas zonas con una población vulnerable. De ahí que la elaboración de mapas de riesgo resulta ser una herramienta útil en la planeación para la mitigación de los efectos de las inundaciones.

Acciones estructurales e institucionales que contribuyen a la mitigación de riesgo por inundación son:

- construcción de bordos, diques, mejora de canales, presas, etc
- control en el uso de tierras (zonificación),
- modificación de los niveles de construcción,
- desarrollo de planes con capacidad de respuesta y de recuperación,
- programas para concientizar y hacer partícipe a la población,
- desarrollo de sistemas de alerta.

Otra medida para reducir los impactos negativos de las inundaciones, es la adaptación de la población para convivir con el riesgo. Aunque éstas medidas en conjunto no eliminan el riesgo asociado a las inundaciones, si pueden modificar la magnitud de los impactos que generan.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Proponer una estructura de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) que pueda ser implantado en la ciudad de Villahermosa basado en la estimación de precipitación en tiempo real; en la aplicación de un modelo lluvia-escurrecimiento y en los resultados de un modelo matemático de tránsito de avenidas en cauces.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- Plantear la estructura de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para la ciudad de Villahermosa, Tabasco.
- Aplicar un sistema de estimación de lámina de lluvia media en tiempo real para las subcuencas de los ríos de La Sierra, ubicados entre los estados de Tabasco y Chiapas.
- Elaborar un esquema de la zona de los ríos de La Sierra en el software SWMM v.5.0.
- Aplicar los módulos de lluvia-escurrecimiento y tránsito de avenidas contenidos en el software SWMM v.5.0 para obtener hidrogramas y limnigramas dentro del sistema.
- Verificar la confiabilidad de los datos obtenidos de la simulación de láminas de lluvia media estimada por medio del SWMM.
- Comparar por medio de un pronóstico hidráulico la eficiencia del Sistema de Alerta Temprana.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En las últimas tres décadas se han registrado avances importantes en el desarrollo de técnicas de percepción remota para la estimación de lluvia, principalmente mediante el uso de satélites y radares meteorológicos. Estos avances incrementaron la disponibilidad de datos climatológicos en tiempo real. Así, la estimación de lluvia mediante el uso de satélites permite contar con información de mejor calidad pues considera su variabilidad espacial y temporal.

El uso de la percepción remota representa además ahorros importantes en la medición de variables climatológicas ya que se puede cubrir una mayor extensión territorial con un menor costo.

Los datos que proporcionan los satélites y radares, por su cantidad y calidad, mejoran los resultados de los análisis de tipo hidrológico en una cuenca. Estos análisis permiten estimar los escurrimientos que una tormenta genera, aunque sigue siendo fundamental la medición en el terreno del caudal y lluvia con fines de calibración.

En casos, donde es frecuente la ocurrencia de eventos climatológicos extremos, suele suceder que el sistema de drenaje superficial es rebasado en su capacidad por los volúmenes de escurrimiento que estos eventos generan, ocurriendo inundaciones que se traducen en daños cuantiosos.

Estimaciones realizadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) indican que los costos de los daños por inundación son diez veces mayor que cualquier otro asociado a un fenómeno natural. Por otro lado, una parte importante de las inversiones federales se destinan a acciones de remediación y, en menor proporción, a las acciones preventivas, situación que de acuerdo con los expertos debe revertirse.

Es por ello que en este trabajo se propone la estructura que debe tener un Sistema de Alerta Temprana basado en la estimación de lluvia en tiempo real con información generada por satélite, como insumo de modelos hidrológicos e hidráulicos para hacer el pronóstico de variables hidráulicas como niveles de agua y velocidades de flujo en las zonas vulnerables.

El pronóstico del nivel del agua en sitios clave del sistema de drenaje superficial son el indicador que detona la toma de decisiones previamente establecidas en una estrategia de atención de contingencias asociadas al riesgo por inundación que una lluvia extrema representa a una población determinada y que forma parte de las acciones protección civil.

En este caso, el caso de aplicación es la estructura del Sistema de Alerta Temprana (SAT) para la ciudad de Villahermosa, específicamente en las subcuencas de los ríos de La Sierra.

## 1.4 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada, según la CONAGUA dentro de la región hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta, la cual tiene una superficie de 87,120 km<sup>2</sup>, y se ubica en los estados de Chiapas y Tabasco. Este trabajo, se concentra en la zona de los ríos de La Sierra, compuesta por las subcuencas: (1) Pichucalco, (2) Teapa, (3) Puyacatengo y (4) Almandro (Figura 1.4.1); debido a que en esta zona se presenta la mayor cantidad de escurrimientos anuales del estado Tabasco.



<i>Estado</i> Tabasco
<i>Coordenadas geográficas extremas</i> 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.
<i>Total de municipios</i> 17
<i>Población total (censo 2010)</i> 2,238,603 habitantes



**Figura 1.4.1 Ubicación de la zona de estudio**

## 1.5 METODOLOGÍA

Se propone una estructura basada en tres partes principales:

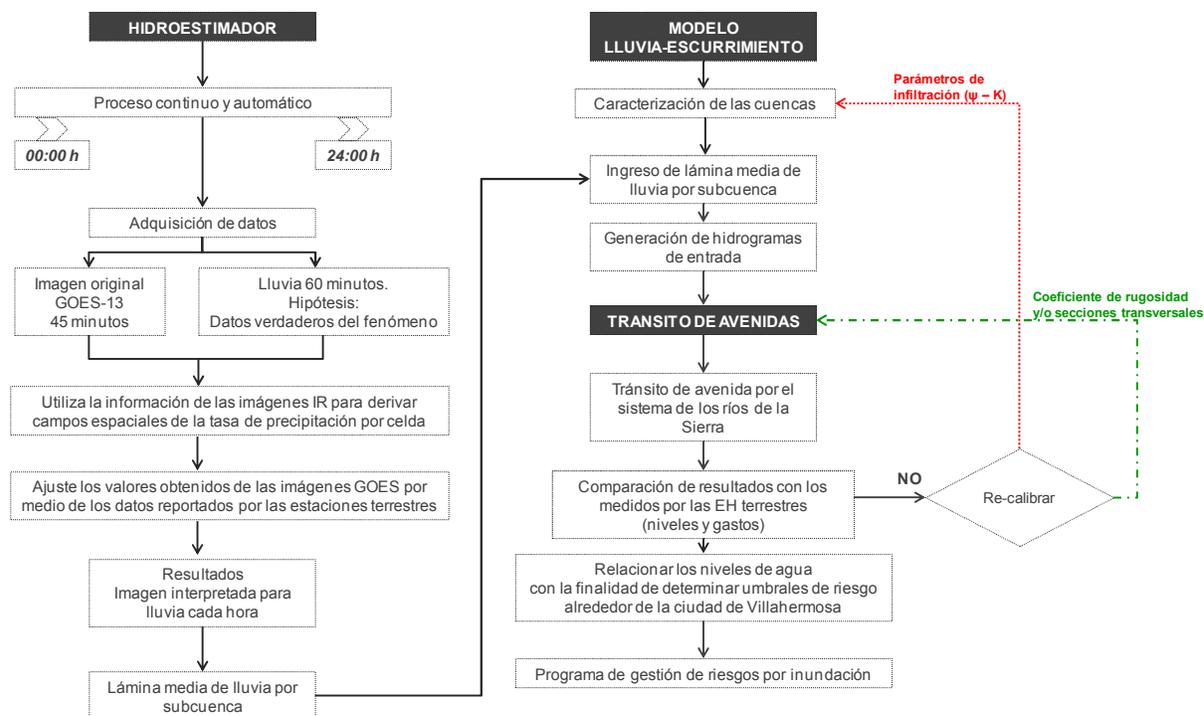
- a) Un sistema de supervisión (monitoreo) climatológico de sistemas convectivos denominado Hidroestimador que, aprovechando la información climatológica transmitida por satélites (imágenes GOES) y mediante un algoritmo matemático que considera la temperatura y vapor de agua del tope de la nube calcula la lluvia media en una cuenca que una masa húmeda en la atmósfera puede precipitar a tierra bajo ciertas condiciones atmosféricas idóneas.

El Hidroestimador produce una serie de datos estimados de lluvia distribuidos conforme un sistema reticular referenciado sobre la zona de estudio. A partir de esa información se obtienen las lluvias medias en los siguientes intervalos: 1 hora, 12 horas y 24 horas.

- b) Un modelo matemático 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) del cual se aprovechan dos módulos: el *módulo hidrológico* que a partir de los datos de lluvia media calculada en las cuencas en estudio determina la relación lluvia-escorrentía considerando las características particulares de las cuencas (área, pendiente, índice de infiltración, área impermeable) y transforma estos datos de lluvia en escorrentía generando un hidrograma de escorrentía generando como resultado hidrogramas de escorrentía a la salida de una cuenca y el *módulo hidráulico* mediante el que se transitan los hidrogramas calculados en el paso anterior por el sistema de ríos obteniendo como resultado limnigramas e hidrogramas en las zonas aguas abajo de los sitios donde se generó la lluvia.

- c) Un programa de gestión de riesgo. En este sistema se administra la información generada en el sistema. Se emiten boletines con el resumen de los cálculos en el que se anticipa la magnitud de niveles y caudales. Se estiman los tiempos en que se presentarán las condiciones críticas generadas por la lluvia monitoreada y se toman decisiones conforme a los protocolos pre-establecidos en el plan de protección civil.

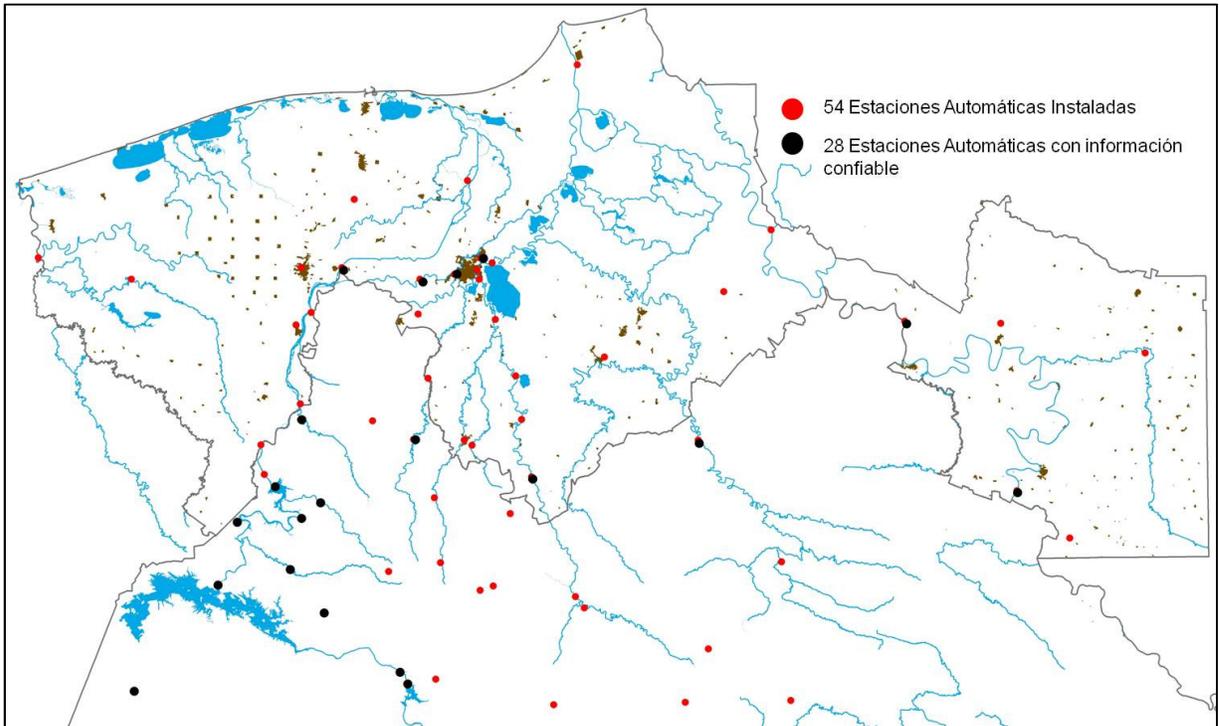
En la Figura 1.5.1 se muestra en forma esquemática la estructura propuesta del Sistema de Alerta Temprana para la gestión de riesgos por inundación.



**Figura 1.5.1 Metodología de la estructura del Sistema de Alerta Temprana (SAT)**

Es importante mencionar que la eficiencia y grado de certeza en los pronósticos del sistema planteado es función directa de la cantidad y calidad de los datos generados por las estaciones climatológicas automáticas terrenas que actualmente operan en la cuenca del río Grijalva.

Al día de hoy existen 54 estaciones automáticas instaladas y operadas (Figura 1.5.2), tanto por la CONAGUA como la CFE, pero se ha detectado que sólo 28 transmiten información confiable, pues el resto tienen periodos largos sin transmisión de información, o bien es información errónea.



**Figura 1.5.2 Ubicación de estaciones automáticas en los estados de Tabasco y Chiapas**

## CAPÍTULO 2 LA GESTIÓN DE RIESGO POR INUNDACIONES

### 2.1 DEFINICIÓN DE RIESGO

De acuerdo con el glosario internacional de Hidrología (OMM / UNESCO, 1974) la definición oficial de *riesgo* es: (1) la estimación potencial de daños de un suceso en función de la probabilidad y del valor del daño.

La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (ISDR por sus siglas en inglés) define al riesgo como: la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre.

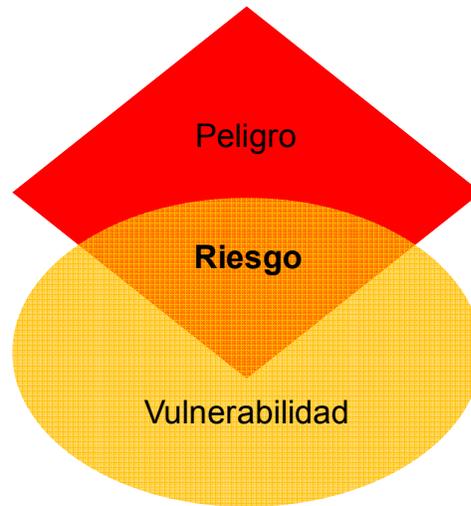
En México la Ley General de Protección Civil en su artículo tercero define al riesgo como: la probabilidad de que se produzca un daño, originado por un fenómeno perturbador (amenaza).

Con las definiciones antes mencionadas se puede resumir que el riesgo, es una condición latente que anuncia la probabilidad de daños y pérdidas a futuro como consecuencia del probable impacto de un peligro sobre una población o sus medios de vida en condiciones de vulnerabilidad.

La función matemática que describe el riesgo es la siguiente:

$$Riesgo = (peligro)(vulnerabilidad)$$

Los lugares o poblaciones en color amarillo de la Figura 2.1 se caracterizan por tener determinados tipos de vulnerabilidades, los que están en el área roja o anaranjada, se encuentran amenazados por fenómenos naturales. Sin embargo, sólo están en riesgo los que se encuentran en la zona anaranjada, puesto que allí es donde la amenaza coincide con la vulnerabilidad



**Figura 2.1. Esquema de la función de riesgo.**

Por su parte, la vulnerabilidad se puede definir como, la situación de incapacidad de una población para anticiparse, resistir y recuperarse de los efectos adversos de un peligro. La vulnerabilidad es una condición social y se expresa en términos de niveles económicos, bienestar o características culturales de la población, uso u ocupación inadecuada del territorio.

Los factores de vulnerabilidad son:

- a) *exposición al peligro*; debido a la localización en el área de impacto del peligro.
- b) *fragilidad*; dada por el nivel de resistencia y protección.
- c) *resiliencia*; en relación al nivel de asimilación o capacidad de recuperación.

El peligro se define como la probabilidad de presentación del evento físico que representa la amenaza. Este puede ser de tipo geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario-ecológico y socio-organizativo. La inundación representa un riesgo de origen hidrometeorológico.

En el mundo las inundaciones están aumentando más rápidamente que ningún otro desastre, posiblemente por el acelerado desarrollo de las poblaciones, lo cual modifica los ecosistemas locales, incrementando el riesgo.

De acuerdo con el glosario internacional de Hidrología (OMM / UNESCO, 1974) la definición oficial de *inundación* es: "aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce", sin embargo dentro de esta definición surge una pregunta: ¿qué es nivel normal del cauce?, por lo que se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños.

Otra concepto importante es, *avenida* la cual se define como: "una elevación rápida y habitualmente breve (horas) del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad" (OMM / UNESCO, 1974).

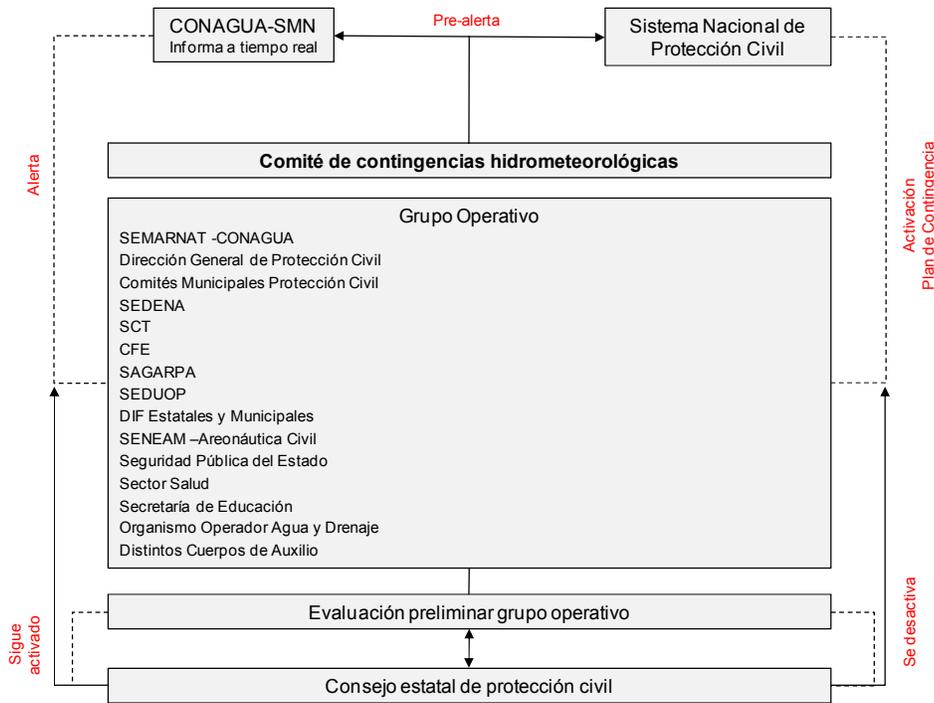
Conjuntando ambas definiciones se concluye que una *inundación* es el evento que puede ser originado por precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica ocasionando un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos, invadiendo con agua a sitios donde usualmente no la hay, generando daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

Es por ello que, para disminuir el riesgo debido a fenómenos hidrometeorológicos es necesario de una eficiente gestión del riesgo, en este caso, enfocado a las inundaciones.

## **2.2 GESTIÓN DEL RIESGO EN MÉXICO**

La gestión del riesgo en México es un proceso de adopción e implementación de políticas, estrategias y prácticas orientadas a reducir el riesgo por inundación o minimizar sus efectos.

El área de protección civil es responsabilidad de la Secretaría de Gobernación a través del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), cuya finalidad es "salvaguardar a la población, a sus bienes y a su entorno". Las principales instancias gubernamentales que están involucradas se muestran en la Figura 2.2.



**Figura 2.2 Organigrama funcional atención de emergencia hidrometeorológica (CONAGUA, 2011)**

El SINAPROC es el encargado de coordinar a las unidades estatales y municipales de protección civil, dependencias y organismos federales que participan en la atención de emergencias.

A nivel nacional, el SINAPROC consta de cuatro elementos principales:

- a) La Dirección General de Protección Civil que coordina la atención de emergencias
- b) El Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) que proporciona apoyo científico y técnico
- c) El Fondo Nacional para Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) tiene como objetivo la promoción y fomento a la actividad preventiva tendiente a reducir riesgos, y disminuir o evitar los efectos del impacto destructivo originado por fenómenos naturales. (Diario Oficial, 2010)

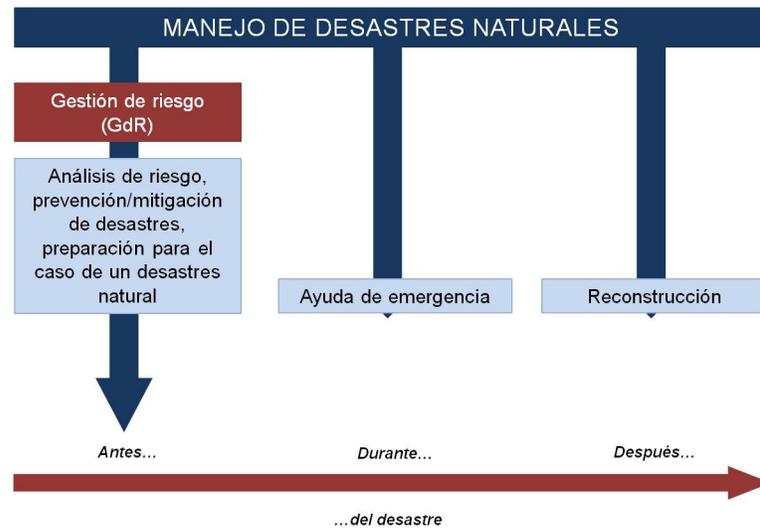
- d) El Fondo Nacional para Desastres Naturales (FONDEN), tiene como objetivo proporcionar suministros de auxilio y asistencia ante situaciones de emergencia y de desastre, para responder de manera inmediata y oportuna a las necesidades urgentes para la protección de la vida y la salud de la población, generadas ante la inminencia, la alta probabilidad u ocurrencia de un fenómeno natural perturbador. (Diario Oficial, 2010)

### 2.3 DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO

La gestión del riesgo asociado a desastres de origen hidrometeorológico abarca medidas que se toman **antes** (prevención, preparación, transferencia de riesgos), **durante** (ayuda humanitaria, reconstrucción de la infraestructura básica, evaluación de daños) y **después** del desastre (superación del desastre y reconstrucción), como se muestra en la Figura 2.3.

A la ayuda de emergencia inmediata, le sigue la ayuda de emergencia orientada al desarrollo, que ya abarca un plazo más largo, y a la que, muchas veces, se resume con el término “atención de desastre”.

Aparte de la ayuda de emergencia y de la gestión de riesgo, las medidas de reconstrucción constituyen el tercer pilar del manejo de desastres naturales. La gestión de riesgo se refiere al área influenciable de la reducción de las vulnerabilidades y al desarrollo de mecanismos de transferencia de riesgos.

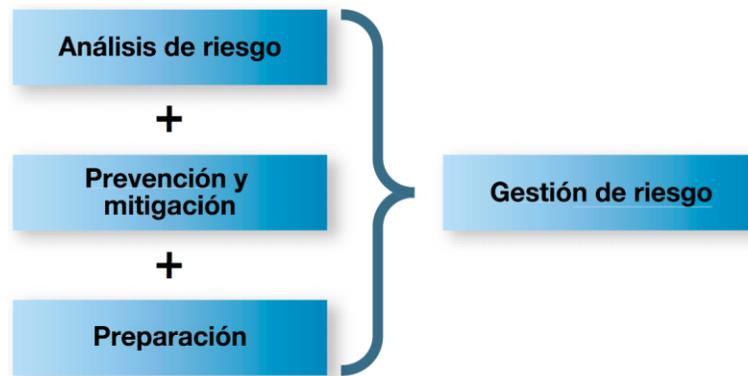


**Figura 2.3 La gestión de riesgo como elemento del manejo de desastres naturales (GTZ, 2004)**

La gestión de riesgo forma parte del manejo de desastres, y se concentra en el antes del fenómeno natural extremo (análisis de riesgo, prevención, preparación) como se muestra en la Figura 2.4. La gestión de riesgo es un instrumento para la reducción del riesgo de desastres, sobre todo a través de la disminución de la vulnerabilidad con base en acuerdos sociales que surgen como resultado del análisis de riesgo.

Estos acuerdos sociales son el producto de un proceso social altamente complejo, en el que participan todas las capas sociales y todos los grupos de interés. Constituyen uno de los fundamentos necesarios para poder hacer frente a las consecuencias de fenómenos naturales extremos futuros (prevención, preparación). El campo de acción principal de la gestión de riesgo es la reducción de la vulnerabilidad incluyendo el fortalecimiento de las capacidades de autoprotección. La gestión de riesgo combina aspectos técnicos, sociales, políticos, socio-económicos, ecológicos y culturales. Se trata de la vinculación de diferentes componentes preventivos con los aspectos mencionados para así conformar un sistema integral. Esta dinámica permitirá aminorar el riesgo a un nivel tolerable para una sociedad.

Los componentes de la gestión de riesgo son: análisis de riesgo, prevención/mitigación y preparación.



**Figura 2.4 Campos de acción para la gestión de riesgo (Gestión de riesgo, concepto de trabajo, GTZ, Eschborn 2002)**

El análisis de riesgo está compuesto por el análisis de la amenaza y el análisis de la vulnerabilidad y de las capacidades de protección.

La prevención y mitigación de desastres abarca aquellas actividades que evitan o mitigan los efectos negativos de fenómenos naturales, sobre todo a mediano y largo plazo. Incluyen medidas políticas, jurídicas, administrativas, infraestructurales y de planificación.

En la gestión de riesgo se mencionan las prioridades siguientes:

- 1) Planificación del uso de la tierra y ordenamiento territorial, reglamentación de la construcción
- 2) Manejo sostenible de recursos naturales y de cuencas
- 3) Creación de estructuras de organización social, tanto para medidas preventivas como también para poder reaccionar mejor frente a un fenómeno natural extremo (estructuras de gestión de riesgo)
- 4) Formación y capacitación de la población y de las instituciones
- 5) Mejoras estructurales

Mediante la preparación ante la inminencia de un desastre se pretende evitar o reducir las pérdidas humanas y los daños materiales en instalaciones y bienes. Se prepara a las instituciones involucradas y a la población amenazada para la situación que posiblemente pueda producirse, tomando las medidas preventivas correspondientes que, aparte de la disposición de prepararse, de la movilización del potencial de autoayuda de la población y de la puesta en práctica de un sistema de monitoreo, incluyen también lo siguiente:

- 1) Elaboración participativa de planes de emergencia y de evacuación
- 2) Planes de coordinación y de intervención para rescate y socorro
- 3) Entrenamiento y capacitación
- 4) Medidas estructurales y logísticas como albergues de emergencia, etc. así como almacenamiento de alimentos y medicamentos
- 5) Establecimiento y/o fortalecimiento de estructuras de protección de desastres y de servicios de rescate
- 6) Simulacros
- 7) Sistemas de alerta temprana

Asimismo, el desarrollo y la puesta en funcionamiento de conceptos de transferencia de riesgos también forman parte de las medidas de prevención/mitigación y de preparación.

## **2.4 ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN MÉXICO**

Un sistema de alerta en el contexto general es el conjunto de “procedimientos que forman parte de los planes de gestión del riesgo y de los planes de emergencia de distintos niveles (internacional, nacional, estatal, municipal, etc) y los mecanismos mediante los que deben complementarse entre sí.

Allan Lavell<sup>1</sup> explica que una alerta temprana es una “situación que se declara, a través de instituciones, organizaciones e individuos responsables y previamente identificados, que permite la provisión de información adecuada, precisa y efectiva, previa a la manifestación de un fenómeno peligroso, con el fin de que los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y la población tome precauciones específicas”.

En términos prácticos, la alerta temprana es un aviso oportuno basado en el monitoreo climatológico y en modelos de pronóstico, emitido por alguna autoridad competente enfocado a tomar decisiones de previsión que redundan en una reducción del daño asociado al riesgo.

---

<sup>1</sup> “La Gestión Local del Riesgo” Nociones y precisiones entorno al concepto y la práctica”, Allan Lavell, Elizabeth Mansilla y otros. CEPREDENAC-PNUD (Guatemala, 2003)

### 2.4.1 Sistemas de Alerta temprana desarrollados por el CENAPRED y el Instituto de Ingeniería-UNAM

En México, entre 1998 y 2004 se instalaron ocho sistemas de alerta hidrometeorológica que fueron desarrollados por el CENAPRED y el Instituto de Ingeniería-UNAM, con el fin de auxiliar en la toma de decisiones a las autoridades de Protección Civil. Estos sistemas (Figura 2.5) se instalaron y operaron en las ciudades de:

1. Acapulco, Guerrero
2. Tijuana, Baja California
3. Motozintla, Chiapas
4. Tapachula, Chiapas
5. Monterrey, Nuevo León
6. Veracruz
7. Villahermosa, Tabasco
8. Estado de México



Figura 1.5 Sistemas de alerta hidrometeorológica instalados por el CENAPRED  
(Fuente: CENAPRED)

El primer sistema se instaló en Acapulco como una de las medidas adoptadas tras los efectos desastrosos que ocasionó el paso del huracán Paulina a principios de octubre de 1998 en ese puerto. Este fenómeno precipitó poco más de 400 mm en 24 horas generando escurrimientos súbitos que provocaron la muerte de 400 personas, 300 mil perdieron su vivienda y daños estimados en cerca de 8 mil millones de dólares.

La historia de la mayoría de los otros sistemas fue similar: como respuesta a un fenómeno que provocó daños por inundación en las ciudades donde se instalaron.

Los sistemas fueron financiados por la CONAGUA, desarrollados por el CENAPRED y el Instituto de Ingeniería-UNAM, y entregados para su operación a las autoridades municipales de protección civil.

Estos sistemas estaban integrados por tres componentes fundamentales:

- 1) Subsistema de medición y proceso hidrológico: estima los escurrimientos que producirá la lluvia en una región, en los minutos u horas posteriores a la ocurrencia de esta última, para advertir del peligro que podría generarse en algunas zonas de una ciudad. Su objetivo es calcular, con base en mediciones de lluvia o niveles de agua en los cauces, los eventos que causan daños (escurrimientos, flujos de lodo, etc.), para que se actúe anticipadamente con la intención de disminuir sus consecuencias. Este subsistema se apoya en un estudio de ingeniería que permite obtener la magnitud de los efectos de la lluvia en las zonas que podrían sufrir mayores daños.
- 2) Subsistema de información: incluye los procedimientos para enterar a la población de los lugares seguros, las rutas hacia estos sitios desde sus viviendas, el momento de iniciar una evacuación, etc.
- 3) Plan operativo contra inundaciones: consiste en el conjunto de instrucciones específicas para realizar de modo eficiente el traslado de las personas a los lugares seguros. Considera que los caminos hacia estos lugares sean cortos y no queden interrumpidos durante la ocurrencia del fenómeno hidrometeorológico. Debe formularse antes de la temporada en que suelen presentarse tales fenómenos y haberse realizado simulacros donde participe la población que habita las zonas de riesgo.

En la actualidad, ninguno de los sistemas funciona como SAT. Fueron desmantelados o carecieron de mantenimiento adecuado.

### 2.4.2 Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT CT)

El SIAT CT es una herramienta desarrollada por la Secretaría de Gobernación a través del CENAPRED, que opera en la página web de la dependencia y es un sistema de monitoreo de perturbaciones atmosféricas como ciclones, huracanes, tormentas tropicales, etc. Es un mecanismo de alerta y coordinación que de manera consensuada genera una respuesta organizada del SINAPROC a la amenaza que constituye un ciclón tropical, mitigando los efectos de este agente perturbador.

El SIAT CT se basa en dos Tablas de alerta que considera los siguientes parámetros:

- Intensidad del ciclón tropical según la Escala Saffir-Simpson
- Intensidad del ciclón tropical según la Escala de circulación
- Velocidad de traslación del ciclón tropical
- Distancia del ciclón con respecto a la costa nacional o área afectable
- Tiempo estimado de llegada del ciclón a la costa nacional o área afectable

Las Tablas de alerta se muestran en las Figuras 2.6, 2.7 y 2.8:

- Tabla de acercamiento / Parte delantera del ciclón: es cuando el ciclón se encuentra aproximándose a territorio nacional o acercándose a un área afectable.

Promedio de Escalas	detección o más de 72	72 a 60 horas	60 a 48 horas	48 a 36 horas	36 a 24 horas	24 a 18 horas	18 a 12 horas	12 a 6 horas	menos de 6 horas
0 a 0.99									
1 a 1.99									
2 a 2.99									
3 a 3.99									
4 a 4.99									
5									

**Figura 2.6 Tabla de acercamiento (Fuente: CENAPRED)**

- Tabla de alejamiento / Parte trasera del ciclón: es cuando el ciclón se encuentra alejándose de un área afectable, ya sea después de un impacto o bien sin que se haya dado esta situación.

Promedio de Escalas	0 a 100 km	100 a 150 km	150 a 200 km	200 a 250 km	250 a 300 km	300 a 350 km	350 a 400 km	400 a 500 km	500 a 750 km	mayor a 750 km
0 a 0.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
1 a 1.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
2 a 2.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
3 a 3.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
4 a 4.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
5	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue

Figura 2.7 Tabla de alejamiento (Fuente: CENAPRED)



Figura 2.8 Códigos de alerta del SIAT CT (Fuente: CENAPRED)

### 2.4.3 Sistema de alerta a tiempo real para la protección a centros de población con alto riesgo en la cuenca baja del río Pánuco

Este sistema tiene como objetivo contar con información en medios electrónicos de manera permanente sobre la evolución de caudales y embalses para informar a las autoridades de los diferentes órdenes de gobierno. Además cuenta con estadística de lluvia-escorrentía para el diseño de obras hidráulicas de protección a centros de población.

Está integrado por 34 sitios de monitoreo, los cuales se ubican de la siguiente manera: 11 en el oriente de San Luis Potosí, 15 en el sur de Tamaulipas y 8 en el norte de Veracruz, con centro operativo en Cd. Victoria y dos centros de trabajo localizados en Tampico y San Luis Potosí.

Son tres los estados beneficiados en los municipios siguientes:

1. Tamaulipas: Altamira, Gómez Farías, González, Llera, Madero Cd. Mante, Ocampo, Tampico y Xicoténcatl
2. San Luis Potosí: Aquismón, Axtla de Terrazas, Cd. Valles, El Naranjo, San Vicente Tancuayalab, Tamazunchale, Tamuín y Tanlajas.
3. Veracruz: Chalma, Chicontepec, El Higo, Pánuco, Platón Sánchez, Pueblo Viejo y Tempoal

De acuerdo con la CONAGUA la información de datos de hidrometría y meteorología de este sistema tienen en la actualidad un carácter provisional.

Por otro lado, la ciudad de Tampico tiene un sistema de alerta denominado SATEME en el que se emiten alertas por eventos hidrometeorológicos extremos y se monitorean los niveles de agua en el sistema fluvial. Uno de los productos que se han generado en el seno de este sistema son mapas de riesgo asociados a distintos periodos de retorno (Figura 2.9)

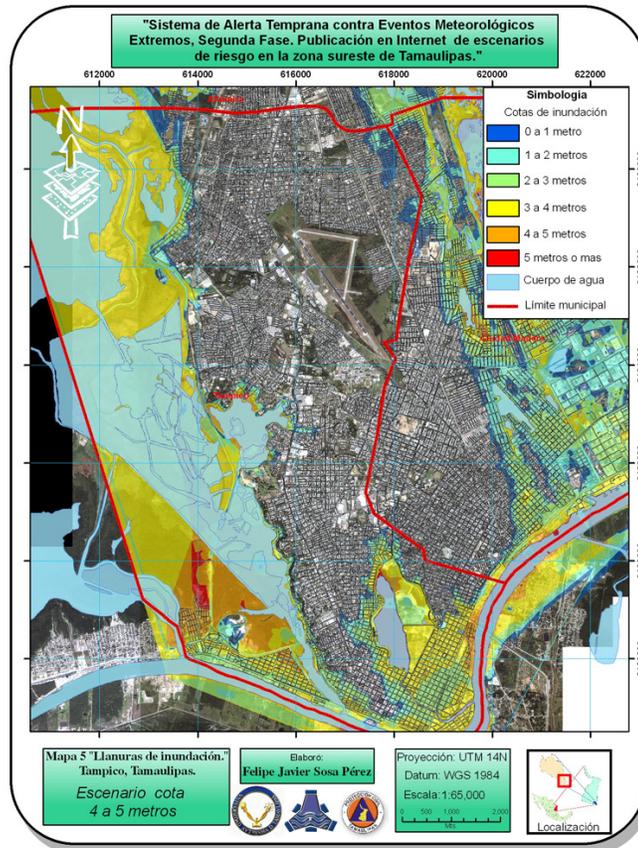


Figura 2.9 Mapa de riesgo  $Tr = 5$  años ciudad de Tampico. (SATEME)

#### 2.4.4 Sistema de pronóstico en ríos CONAGUA

El sistema es operado por la Gerencia de Aguas Superficiales (GASIR), que forma parte de la Subdirección General Técnica de la CONAGUA. El Sistema de Pronóstico en Ríos (SPR) es un sistema en el que las condiciones hidrometeorológicas son registradas y transmitidas permanentemente, en tiempo real y vía satélite a un centro de pronóstico.

Tiene por objetivo obtener pronósticos a corto, mediano y largo plazo, de gastos y niveles en sitios definidos, de las cuencas que cuentan con el SPR, que permitan prever las situaciones que se puedan presentar, al comparar los resultados con las capacidades o niveles máximos, que logren causar problemas, y así tomar las decisiones pertinentes; todo ello, en función de las características fisiográficas y de humedad de las cuencas, lluvia real y pronosticada, sobre la superficie de captación para prevenir situaciones de emergencia.

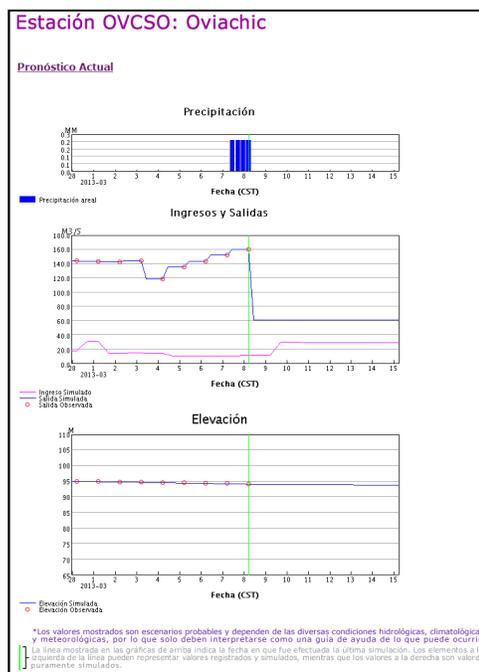
Estos centros de pronóstico están ubicados en:

- Oficinas Centrales (GASIR) - D.F., México
- Organismo de Cuenca Río Bravo - Monterrey, N.L
- Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte - Torreón, Coahuila
- Organismo de Cuenca Noroeste - Hermosillo, Sonora
- Organismo de Cuenca Pacífico Norte - Culiacán, Sinaloa
- Organismo de Cuenca Golfo Norte - Ciudad Victoria, Tamaulipas
- Organismo de Cuenca Frontera Sur - Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Las aplicaciones del sistema de pronóstico son:

- alerta de pronóstico en ríos
- abastecimiento de agua
- pronóstico de ingreso a presas
- mapas de inundación
- manejo de recursos hídricos

De los siete centro de pronóstico mencionados por la CONAGUA solo pueden ser consultados cuatro de ellos, los cuales son: Cuencas Centrales del Norte (CPRCN), Golfo Norte (CPRGN), Noroeste (CPRNO), Pacífico Norte (CPRPN), Río Bravo (CPRRB). Por medio de este portal se están reportando datos de precipitación, ingresos y salidas de las presas y elevaciones; donde se muestran datos simulados y observados. Esta información se muestra dentro del portal de la manera siguiente (ver Figura2.10):



**Figura 2.10 Portal del Sistema de Pronóstico en Ríos – CONAGUA**

### 2.4.5 Sistemas de alerta en otras partes del mundo

Los Sistemas de Alerta Temprana han sido reconocidos en forma creciente al más alto nivel político como una herramienta crucial para salvar vidas. Con una historia de desastres recurrentes, un número de países con bajos ingresos tales como Bangladesh y Cuba, han hecho ya progresos importantes en la reducción del riesgo de mortalidad debido al desarrollo de sistemas de alerta temprana efectivos para riesgos hidro-meteorológicos tales como ciclones tropicales, mareas de tormentas e inundaciones asociadas.

En la década pasada, se ha dado una significativa atención internacional a este tema, incluyendo tres conferencias internacionales de Sistemas de Alerta Temprana (patrocinadas por el gobierno de Alemania), dos simposios internacionales de expertos en Sistemas de Alerta Temprana Multi-Amenaza (organizados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en colaboración con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, otros asociados internacionales y de las Naciones Unidas) y el Informe sobre la Encuesta Global de Sistemas de Alerta Temprana solicitado por el anterior Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan (UCL, 1988).

A pesar de esta atención, aún quedan muchos retos en los aspectos legislativos, financieros, institucionales, técnicos y operacionales en los niveles nacionales y comunitarios para asegurar que los Sistemas de Alerta Temprana sean implementados como una parte integral de las estrategias de reducción de riesgo de desastres en todos los países. La OMM en cooperación con otros socios internacionales y de las Naciones Unidas, al igual que sus miembros han desarrollado un proceso sistemático para documentar las buenas prácticas en los Sistemas de Alerta Temprana.

Esto ha involucrado extensas consultas con expertos durante dos simposios internacionales y varios eventos regionales y nacionales. Un modelo estándar para la documentación de buenas prácticas ha sido desarrollado y usado por los países para documentar sus experiencias consistentemente.

A la fecha, cuatro buenas prácticas han sido documentadas a través de un proceso multi-agencia, incluyendo:

- El Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales de Cuba, ver Figura 2.12
- El Programa de Preparación para Ciclones de Bangladesh, ver Figura 2.11
- El Sistema de “Vigilancia” de Francia, ver Figura 2.13
- El Programa de Preparación para Emergencias y Alerta Temprana Multi-Amenaza de Shanghai.



**Figura 2.11 Inundación en Bangladesh**



**Figura 2.12 Inundación en Cuba**

En Cuba el gobierno ha convertido la protección de las vidas su mayor prioridad, invirtiendo significativamente en el desarrollo del Sistema de Alerta Temprana de los Ciclones Tropicales Cubano. A pesar de haber sido golpeados por cinco huracanes sucesivos en el 2008, solo 7 muertes fueron reportadas en Cuba.

En Bangladesh, luego de las mayores mareas de tormenta en 1970 y 1991, las que dejaron cerca de 300,000 y 140,000 víctimas, respectivamente, el gobierno junto con las sociedades de la Luna Roja Creciente de Bangladesh han hecho un progreso significativo en la protección de vidas a través de la implementación del Programa de Preparación para Ciclones, el cual resultó en mantener un riesgo de mortalidad de menos de 3,500 durante el super ciclón Sidr, en noviembre 2007.

En Francia, siguiendo los significativos impactos de la tormenta de invierno Lothar en diciembre de 1999, los mecanismos de planeamiento y respuesta de emergencia fueron mejorados y se desarrolló el Sistema de Vigilancia Francesa. Siguiendo la intensa ola de calor en 2003, que dejó más de 15,000 muertes en Francia, el Sistema de Vigilancia se mejoró para incluir alertas de calor/salud y posterior a una gran inundación en el 2007, el sistema se mejoró para incluir alertas por riesgo de inundación.



**Figura 2.13 Inundación Paris,  
Francia 1910**



**Figura 2.14 Desbordamiento del río Sena 1999**

Dentro del Proyecto de Gestión de Riesgo y Alerta Temprana impulsado por el Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas se encuentra el **Sistema de Alerta Temprana para Centroamérica (SATCA)**. Este sistema se puede consultar en la página web [www.satcaweb.org](http://www.satcaweb.org).

El SATCA, tiene como propósito fundamental fortalecer la capacidad de anticipar posibles amenazas naturales en Centroamérica para mejorar la preparación, mitigación y respuesta humanitaria. Con este propósito, SATCA fortalece los sistemas de alerta temprana en la región centroamericana a través de una plataforma Web regional dedicado al monitoreo de posibles amenazas naturales.

**Tabla 2.1 Escala del SATCA para inundaciones**

CLASE	DESCRIPCIÓN
Clase 1	<b>Gran Inundación:</b> daños significativos a la infraestructura o agricultura; muertos; y/o de 10 a 20 años de periodo de retorno de un evento similar reportado.
Clase 2	<b>Inundación a gran escala:</b> intervalo de recurrencia mayor de 20 años pero menor de 100 años y/o intervalo de recurrencia local de 10 a 20 años.
Clase 3	<b>Inundación Extrema:</b> con intervalo de recurrencia estimada mayor a 100 años.

**Servicio de Alerta Temprana Humanitaria** (HEWS por sus siglas en inglés) es un proyecto de cooperación interinstitucional destinado a establecer una plataforma común para la asistencia humanitaria por medio de la alerta temprana y pronósticos de fenómenos naturales, los cuales son: tormentas, plagas (ej: langosta), volcanes, terremotos e inundaciones.

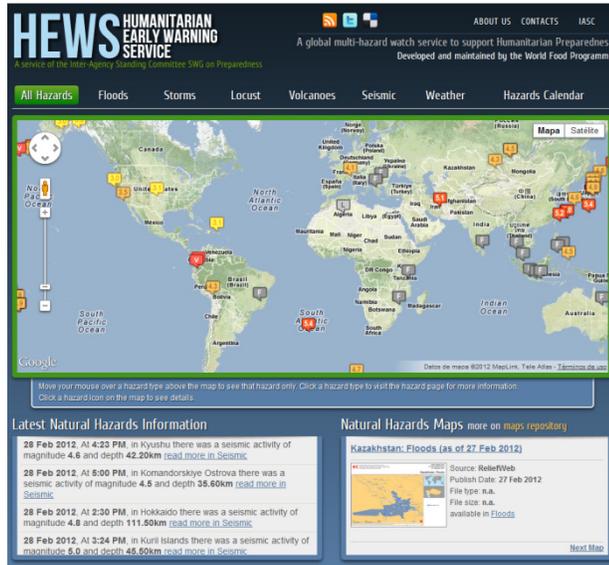


Figura 2.15 Página web www.hewsweb.org

La Unión Europea creó una página web www.meteoalarm.eu la cual proporciona las condiciones meteorológicas ante una situación de tiempo extremo que pueda ocurrir en cualquier lugar de Europa. Esta página web integra toda la información importante sobre el tiempo severo originada en los Servicios Meteorológicos Nacionales, públicos y oficiales, de un gran número de países europeos. Esta información se presenta de forma consistente, con el objeto de asegurar una interpretación coherente lo más general posible. Esta iniciativa está fuertemente respaldada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).



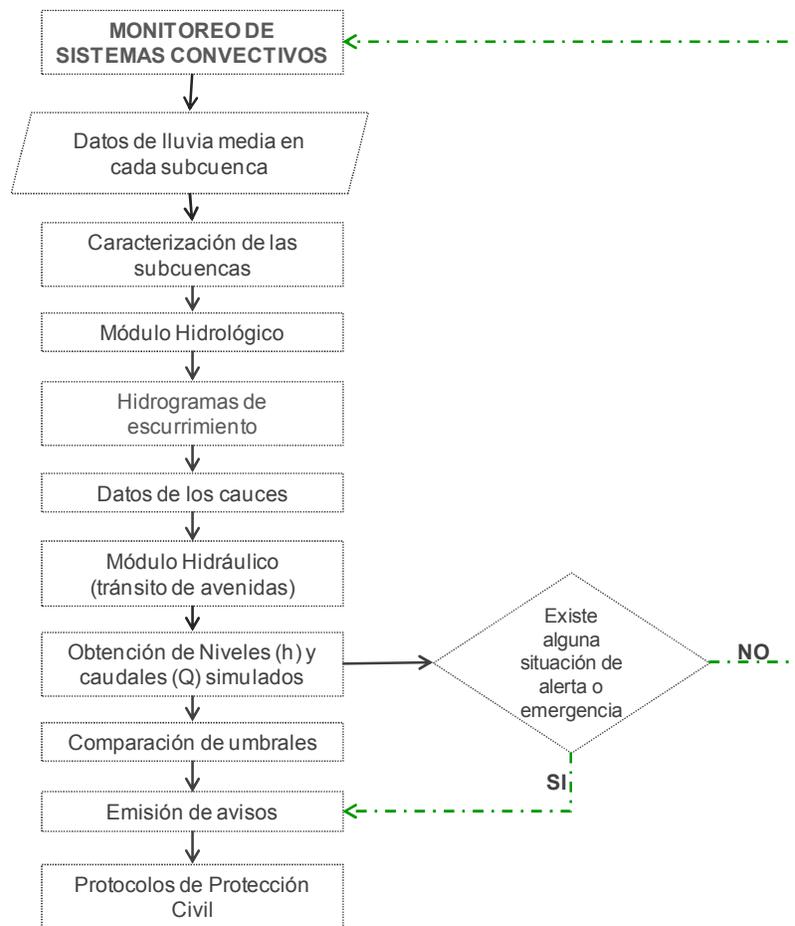
Figura 2.16 Página web de meteorología de la Unión Europea

## CAPÍTULO 3 SISTEMA DE ALERTA

### 3.1 ESTRUCTURA PROPUESTA DEL SISTEMA DE ALERTA

Estos sistemas se integran con base en tres componentes:

- Monitoreo de condiciones relacionadas al fenómeno hidrometeorológico
- Pronóstico de eventos
- Alerta



**Figura 3.1** Esquema operativo simplificado del SAT

La vigencia e importancia de los SAT radica en la utilidad que prestan en materia de manejo de emergencias y para reducir la probabilidad de pérdidas de vidas y bienes ante la ocurrencia de un desastre.

Sólo que para que el enunciado de arriba pueda cumplirse, los SAT deben de estar diseñados bajo un enfoque de gestión del riesgo, que incluya e integre los distintos requisitos para que un SAT tenga vigencia y sostenibilidad –del pronóstico hasta la preparación y comunicación- y lo integre a las acciones cotidianas de autoridades y población en general.

### **3.2 MONITOREO CLIMATOLÓGICO**

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. El Servicio Meteorológico Nacional, depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Los objetivos del SMN se concentran en la vigilancia continua de la atmósfera para identificar los fenómenos meteorológicos que pueden afectar las distintas actividades económicas y sobre todo originar la pérdida de vidas humanas. El SMN también realiza el acopio de la información climatológica nacional. Sus funciones principales son:

1. Mantener informado al Sistema Nacional de Protección Civil, de las condiciones meteorológicas que puedan afectar a la población y a sus actividades económicas.
2. Difundir al público boletines y avisos de las condiciones del tiempo, especialmente durante la época de ciclones, que abarca de mayo a noviembre.
3. Proporcionar al público información meteorológica y climatológica.
4. Realizar estudios climatológicos o meteorológicos.
5. Concentrar, revisar, depurar y ordenar la información, generando el Banco Nacional de Datos Climatológicos, llamado ERIC (Extracción Rápida de Información Climatológica) para consulta del público.

Para llevar a cabo sus objetivos el SMN cuenta con una red y con infraestructura de observación siguiente:

- Red sinóptica de superficie, integrada por 79 observatorios meteorológicos, cuyas funciones son las de observación y transmisión en tiempo real de la información de las condiciones atmosféricas.

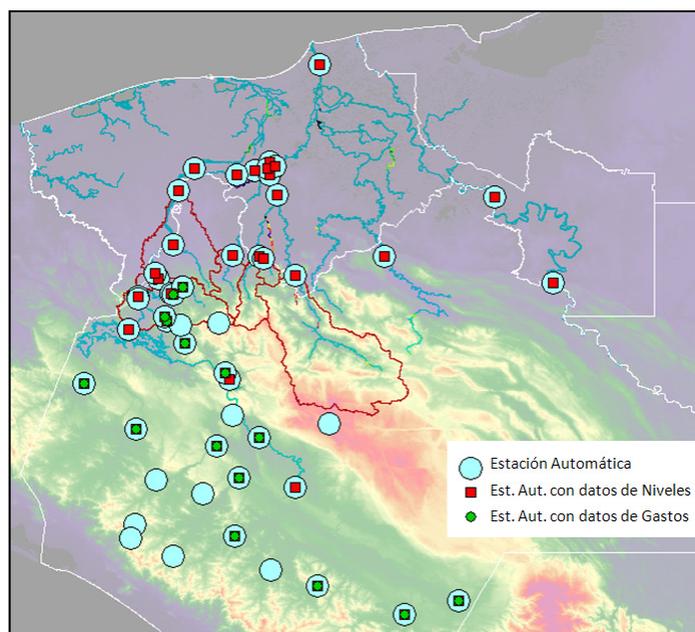
- Red sinóptica de altura. Consta de 16 estaciones de radiosondeo, cuya función es la observación de las capas altas de la atmósfera. Cada estación realiza mediciones de presión, temperatura, humedad y viento mediante una sonda que se eleva por medio de un globo dos veces al día.
- Red de 13 radares meteorológicos distribuidos en el Territorio Nacional. Esta red comenzó a funcionar en 1993 y proporciona información continua que se recibe en el Servicio Meteorológico Nacional, vía satélite. Los radares permiten detectar la evolución de los sistemas nubosos. Con ello puede conocerse la intensidad de la precipitación (lluvia, granizo o nieve), la altura y densidad de las nubes y su desplazamiento, así como la velocidad y dirección del viento, en un radio máximo de 480 Km alrededor de cada radar. Con la actual red de doce radares se cubre casi en su totalidad el Territorio Nacional.
- Estación terrena receptora de imágenes del satélite meteorológico GOES-8; Con esta estación se reciben imágenes cada 30 minutos de cinco diferentes bandas: una visible, tres infrarrojas y una de vapor de agua. Cada imagen cubre la región meteorológica número IV, la cual abarca México, Canadá, Estados Unidos, el Caribe y Centro América. Además, cada tres horas se recibe una imagen visible, otra infrarroja y una de vapor de agua que cubren el total del continente americano.

### 3.2.1 Estaciones meteorológicas

Para la definición de los niveles operativos de los ríos tabasqueños, es de vital importancia contar con la información necesaria para el análisis y desarrollo de la metodología. La información climatológica resulta primordial en este estudio. El estado de Tabasco cuenta con 73 **estaciones meteorológicas convencionales**, con información de lluvia, temperatura y evaporación diaria. En el estado de Chiapas se localizan 126 estaciones, que hacen un total de 199 (Figura 6.a.1), las cuales son administradas por el Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS). La información se almacena en una base de datos del clima con carácter oficial en el país operada por el SMN en el sistema CLIma COMputarizado (CLICOM). Esta base de datos contiene la información registrada en la red de estaciones climatológicas convencionales.

La información de CLICOM presenta un retraso en lo que su actualización se refiere. El retraso está relacionado básicamente con dificultades de acceso a los datos en papel y con retrasos en el proceso de digitalización de la información. Para el aforo de los ríos se cuenta con estaciones hidrométricas convencionales, los datos que se miden son niveles y gastos. En el estado de Tabasco se encuentran 17 y en Chiapas 15, que hacen un total de 32 estaciones hidrométricas operadas por el OCFS. El manejo digital de la información hidrométrica es de suma importancia para la gestión del recurso hídrico del país, por tal motivo, la CONAGUA a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), elaboró el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) que integra la red hidrométrica nacional. En esta red se registra el nivel de agua (escalas) y la cantidad de agua que pasa a una determinada hora (aforos) en los principales ríos de la República Mexicana.

Cuenta con los datos de 2,070 **estaciones hidrométricas**, las cuales son el resultado de una depuración al catálogo BANDAS hecho en 2008 por la CONAGUA y el IMTA. Aproximadamente 480 estaciones fueron actualizadas hasta el año 2006 y tiene registradas aproximadamente 180 presas. En cuanto a las **estaciones automáticas** se cuenta con una red de estaciones que realizan mediciones a intervalos de diez minutos (Figura 3.2 y Tabla 3.1), el catálogo es de 54 estaciones.



**Figura 3.2 Estaciones automáticas**

**Tabla 3.1 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
TAB08	8	PEÑITAS	17.47	-93.47
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

**Tabla 3.1 Estaciones automáticas (continuación)**

Identificador	No.	Nombre	Latitud	Longitud
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	Revolución 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

### 3.3 ESTIMACIÓN DE LLUVIA EN TIEMPO REAL

#### 3.3.1 Hidroestimador

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  $\mu\text{m}$ , 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 Atmosfera (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 e 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  $\mu\text{m}$ , utilizando una ecuación obtenida a partir del análisis estadístico conjunto de los registros de radar e imágenes de satélite varias tormentas.

El Hidroestimador (HE) se basa en 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 suficientes 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 del Hidroestimador fue 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 insumos del sistema 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 3.2 se muestran las principales características de las bandas del satélite GOES-12.

**Tabla 3.2 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 $\mu\text{m}$	Resolución $\mu\text{Rad}$	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 3.3:

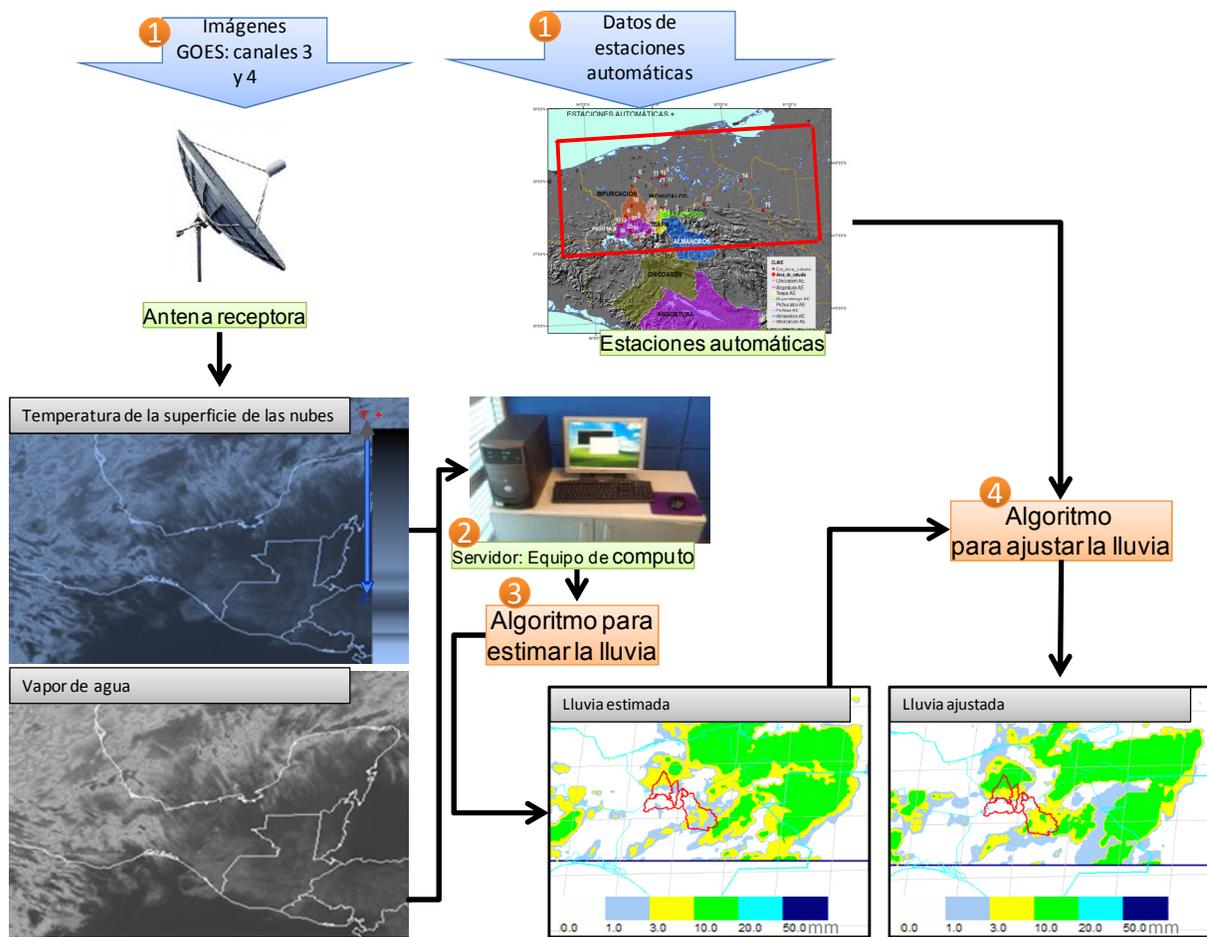


Figura 3.3 Esquema general del Hidroestimador

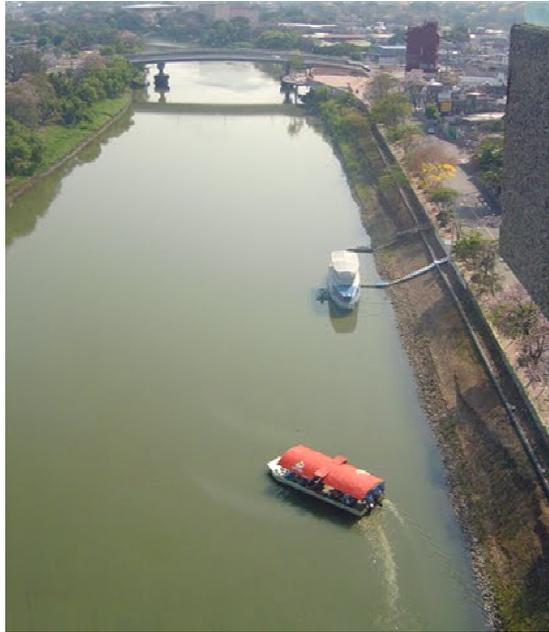
### 3.3.2 Aplicación al monitoreo de sistemas convectivos sobre la planicie tabasqueña

La planicie tabasqueña está sujeta a inundaciones frecuentes. En primer término debido a que el sistema de ríos de La Sierra, cuyo curso pasa por las inmediaciones de Villahermosa y el río Usumacinta, generan grandes escurrimientos sin control. En segundo término, la cuenca proveniente del Complejo Hidroeléctrico Grijalva, formado por el sistema de las presas Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas, a pesar de estar controlada con esa infraestructura, genera escurrimientos importantes, que ocasionalmente originan desbordamientos.

Por otra parte, en la actualidad, en las inmediaciones de la ciudad, la capacidad de los cauces ha disminuido severamente por diversas causas, y se encuentran asentamientos humanos en zonas de riesgo, incrementando la vulnerabilidad.



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.



**Figura 3.5 Vista del río Grijalva desde el mirador, Villahermosa, Tabasco**

El río Carrizal o también llamado río Nuevo (ver Figura 3.6), 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 Chiltepec.



**Figura 3.6 Río Carrizal a su paso por la ciudad de Villahermosa, Tabasco**

El Pichucalco (ver Figura 3.7) es un 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, Figura 3.8). 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 km<sup>2</sup>.



**Figura 3.7 Río Pichucalco. Janeiro, Chiapas**



**Figura 3.8 Río Teapa**

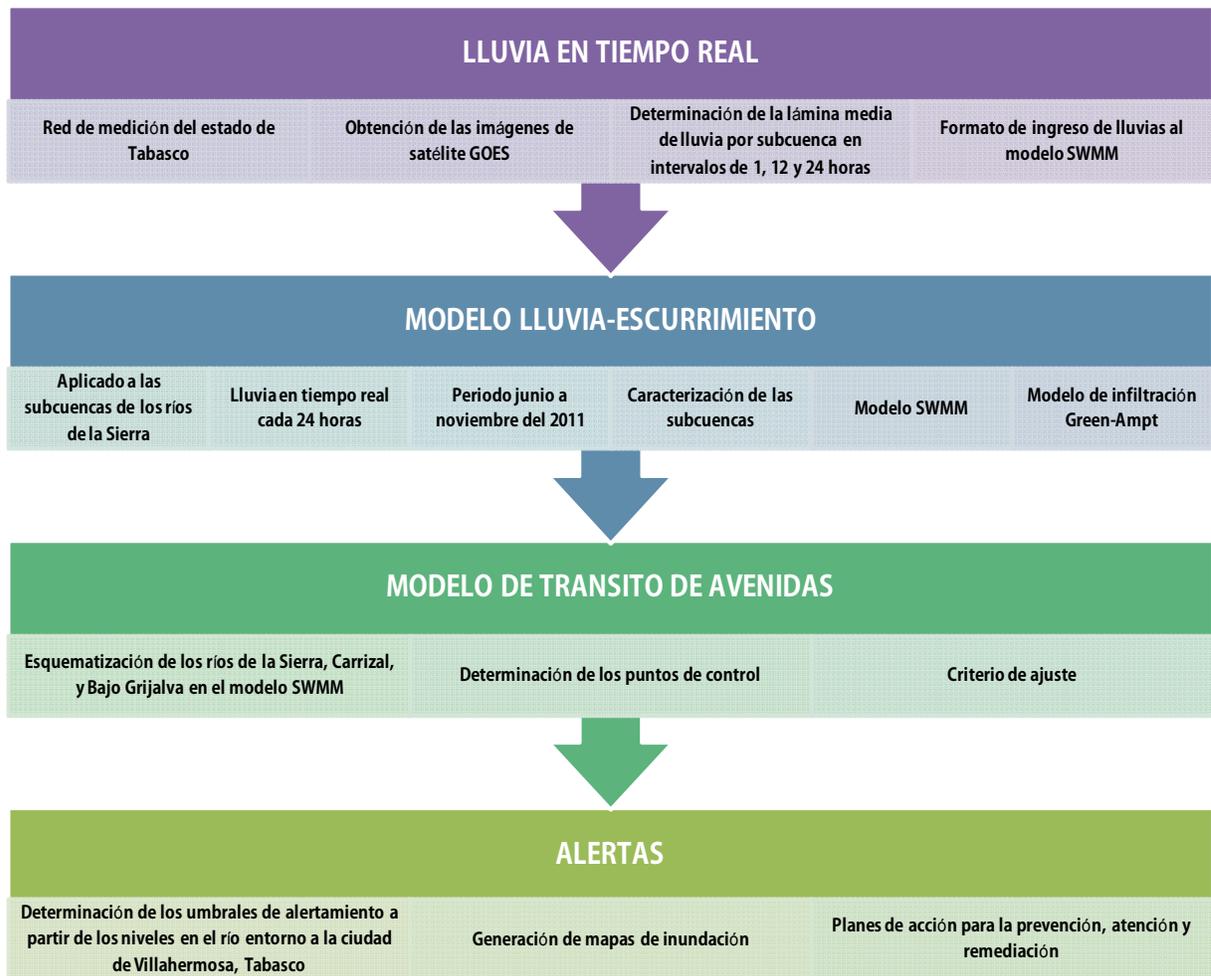
El río de La Sierra tiene su origen en el Altiplano central de Chiapas, uniéndose a lo largo del desarrollo de su cauce principal (200 km), importantes ríos y arroyos; en su parte alta se le conoce, sucesivamente como río Almandro, Oxolotán y Tapijulapa (ver Figura 3.9), pasa al estado de Tabasco con el nombre de río Tacotalpa, recibe por su margen izquierda las aguas unidas de los ríos Teapa (del vocablo Teapan de la lengua Náhuatl, cuyo significado es "Río sobre Piedras" o "Río de Piedras") 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 km<sup>2</sup>.



**Figura 3.9 Río Oxolotán, Tapijulapa**

El Sistema de Alerta Temprana para la ciudad de Villahermosa debe ser una herramienta técnica, que tiene el fin de auxiliar en la toma de decisiones a las autoridades de Protección Civil del estado, así como mantener informada a la población tabasqueña en todo momento.

Este diseño está pensado en cuatro bloques principales; el *primero* es la estimación en tiempo real de la lluvia por medio de cruzar la información de satélite (imágenes GOES) y las mediciones terrestres de lluvia, el *segundo* es la estimación de los escurrimientos que producirá la lluvia en la zona en los minutos u horas posteriores a la ocurrencia de esta última, la *tercera* será el tránsito de estos escurrimientos para determinar niveles en los cauces y por *último* proporcionar la alerta para advertir del peligro que podría generarse.



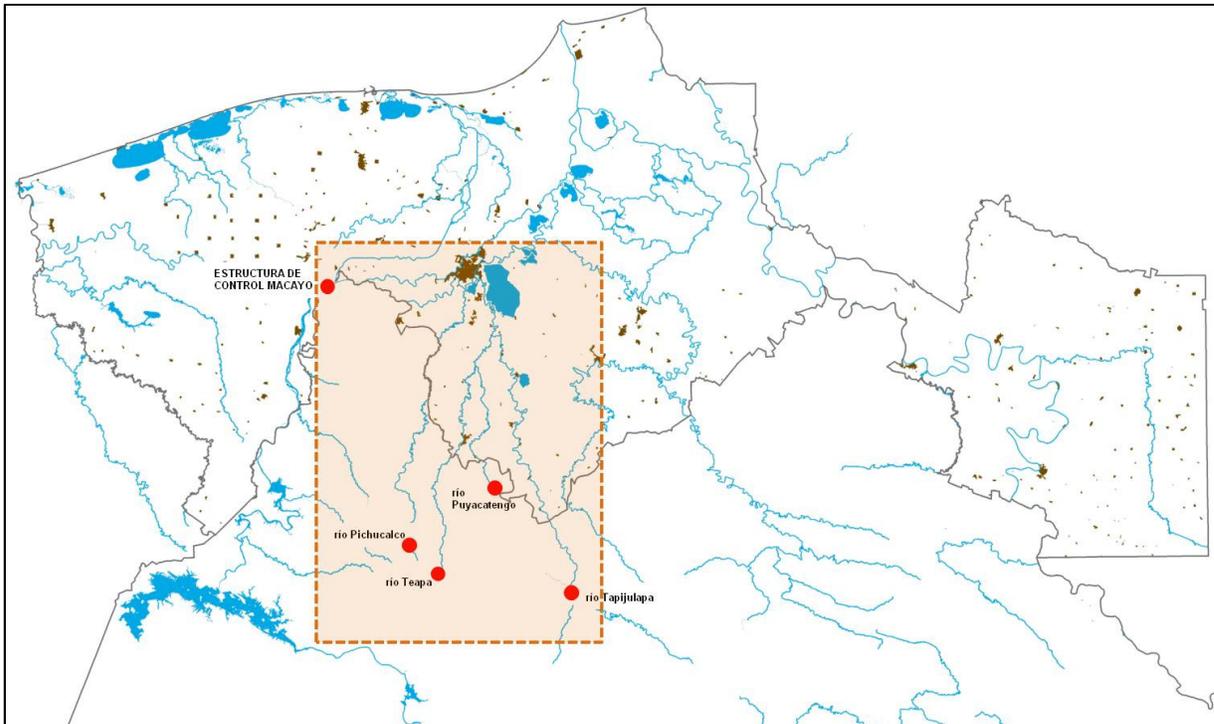
**Figura 3.10** Diseño conceptual propuesto del SAT para la ciudad de Villahermosa

Estos bloques se basan en el empleo del sistema Hidroestimador para estimar la lluvia en tiempo real; el uso del software SWMM v.5.0 para la transformación lluvia-escorrentía y tránsito de avenidas y la propuesta de un boletín de avisos.

El primer paso a seguir es representar el sistema ríos de La Sierra mediante esquemas unifilares simplificados, esta información se usa en el SWMM v.5.0, el cual contendrá además la caracterización de subcuencas.

### 3.4 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE RÍOS DE LA SIERRA

Para la elaboración del esquema simplificado de los ríos de La Sierra, fue necesario proponer una representación simplificada de la red hidrográfica del estado de Tabasco y predeterminar una zona de estudio. En la Figura 3.11 se muestra al estado de Tabasco con su red hidrográfica, donde se puede observar en el recuadro naranja el sistema de los ríos en estudio: Carrizal, bajo Grijalva, Pichucalco, Teapa, Puyacatengo y Tapijulapa.



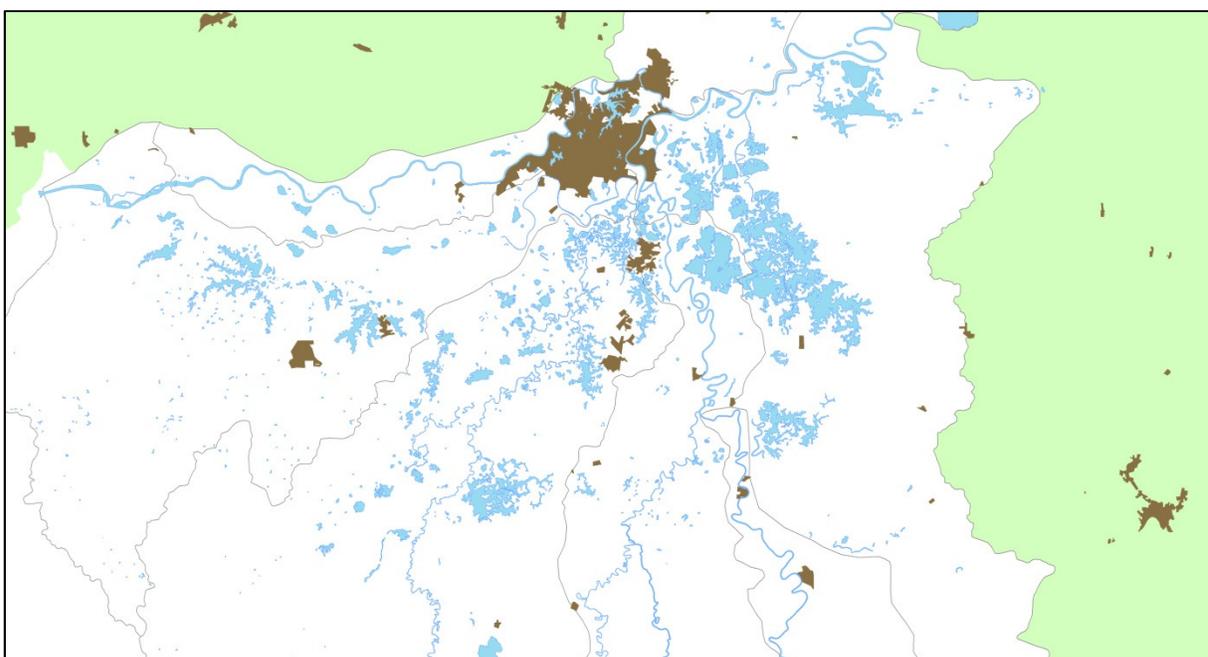
**Figura 3.11 Mapa de la Hidrología del estado de Tabasco y Chiapas, así como, el sistema de presas del Grijalva**

Para realizar dicho esquema 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

### 3.4.1 Representación unifilar del sistema de drenado superficial de la zona de los ríos de La Sierra

Para simular el funcionamiento hidráulico del sistema de ríos de La Sierra mediante el SWMM v.5.0 se generó 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 3.12)



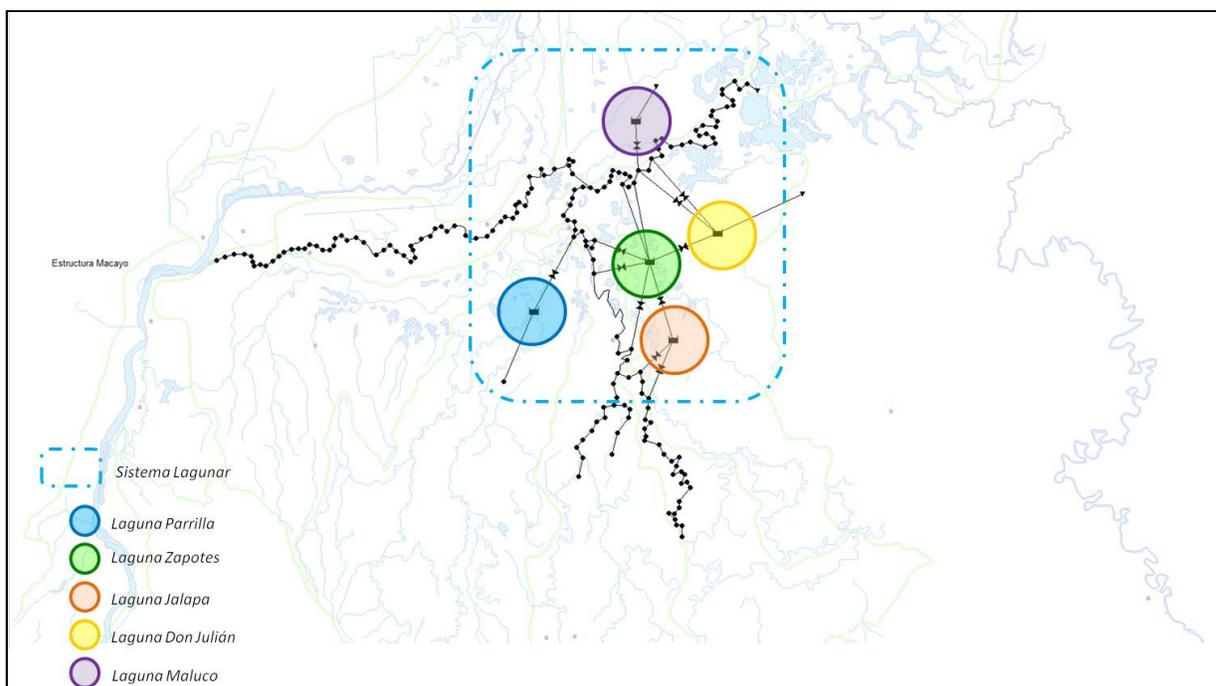
**Figura 3.12 Red hidrográfica de la zona de los ríos de La Sierra**

Los cauces del sistema Sierra-Carrizal-bajo Grijalva fueron esquematizados como conductos abiertos de forma irregular con 121 secciones transversales proporcionadas por la CONAGUA con un coeficiente de rugosidad promedio de Manning de 0.030. En la Tabla 3.3 se muestra el número de secciones transversales utilizadas por río. Cada una de estas secciones transversales se incluye en el Anexo A y se representan en la Figura 3.13.



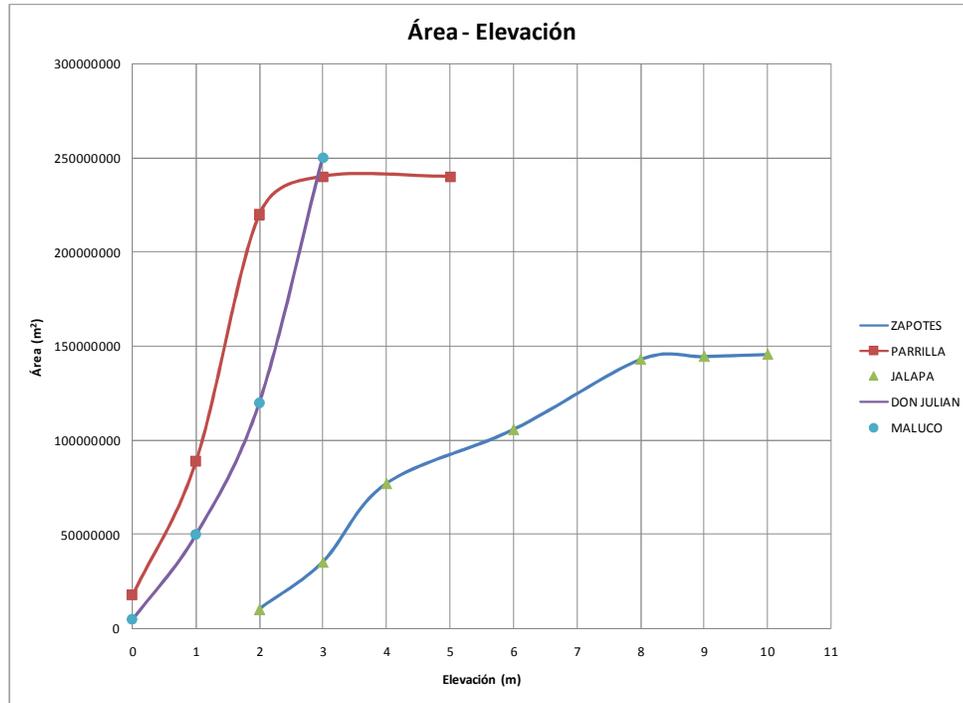
Dentro del estudio se consideraron zonas de amortiguamiento, las cuales por su cercanía a la ciudad de Villahermosa son de gran importancia para mitigar las inundaciones en dicha zona. Esta zona de amortiguamiento está definida por las lagunas siguientes (Figura 3.14):

- Laguna Parrilla
- Laguna Jalapa
- Laguna Zapotes
- Laguna El Maluco
- Laguna Don Julián



**Figura 3.14 Esquema gráfico del Sistema Lagunar en el SWMM v5.0**

Para representar el funcionamiento de las lagunas en el SWMM v5.0 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, se contó con las curvas de las lagunas Zapotes, Parrilla y Don Julián. Las lagunas El Maluco y Jalapa, fueron estimadas.



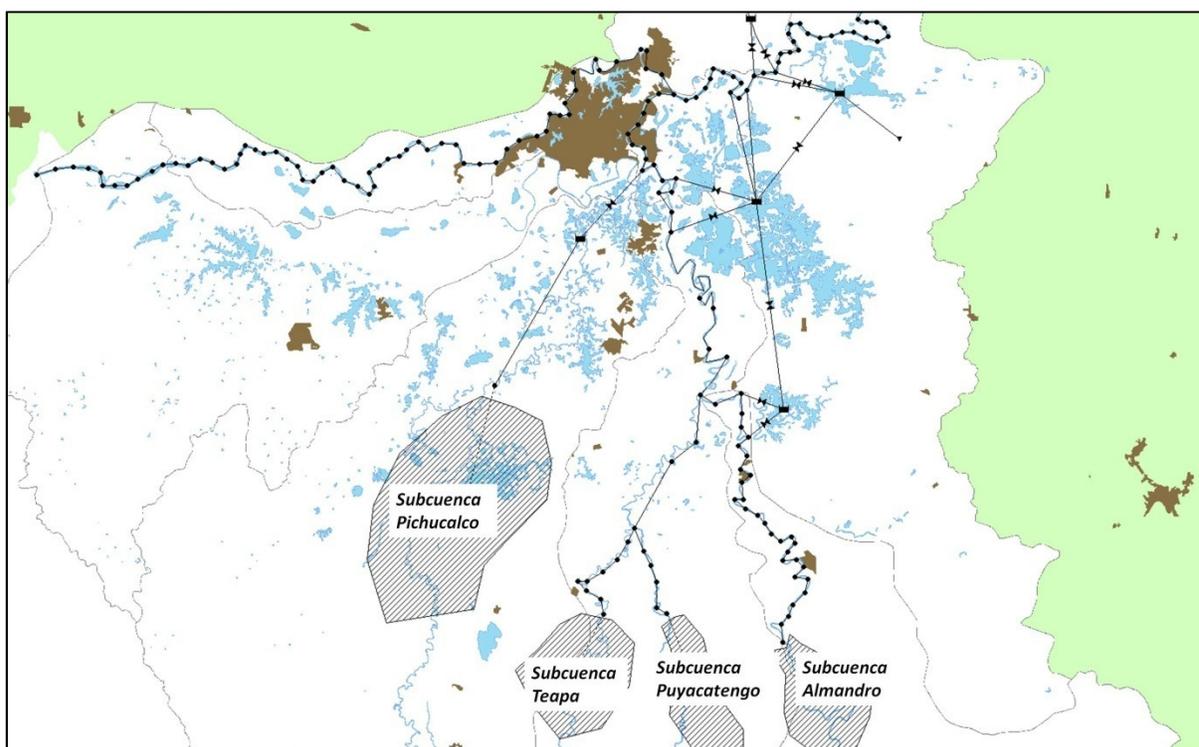
**Figura 3.15 Curvas Elevación-Capacidad de las lagunas simuladas en el SWMM**

Así mismo, la zona de estudio tiene obras hidráulicas, tales como: estructuras derivadoras, las cuales para su representación simplificada en el modelo se empleó el objeto *Vertedor* (*Weir*), con las siguientes características mencionadas en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 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
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

Para 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 (subcuencas)* y *Rain (lluvia)*. El primer objeto (subcuenca) está caracterizado con variables tales como: área de la subcuenca, pendiente media, porcentaje de zona impermeable, etc; mientras que el objeto lluvia está determinado por los datos proporcionados por el Hidroestimador en intervalos de una hora.



**Figura 3.16 Ubicación de las subcuencas dentro del esquema**

### **3.4.2 Caracterización fisiográfica 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.

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*.



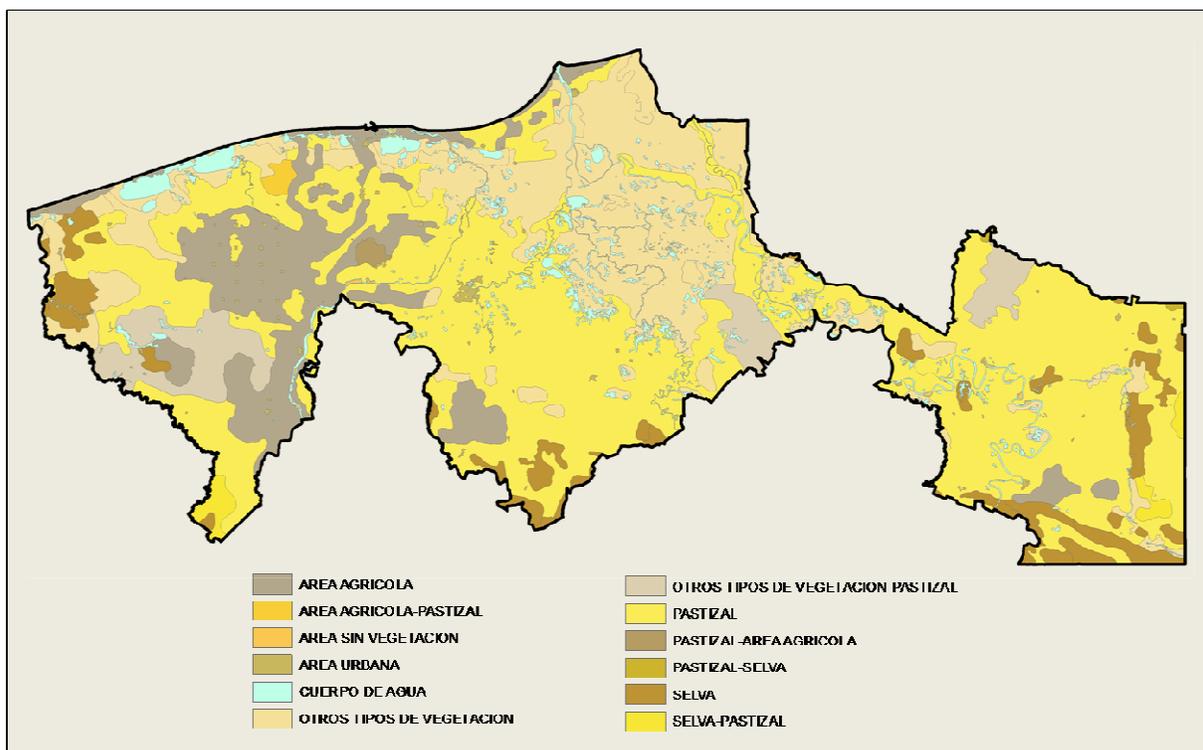
REGIÓN	SUBREGIÓN	EXTENSIÓN (km <sup>2</sup> )	MUNICIPIOS
Grijalva	Centro	2,572.84	Centro Jalpa de Méndez Nacajuca
	Chontalpa	7,606.09	Huimanguillo Cárdenas Cunduacán Comalcalco Paraíso
	Sierra	1,799.38	Teapa Jalapa Tacotalpa
Usumacinta	Ríos	10,426.61	Balancán Emiliano Zapata Tenosique
	Pantanos	6,588.39	Macuspana Jonuta Centla

**Figura 3.17 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.

### 3.4.2.1 Uso y tipo de suelo del estado de Tabasco



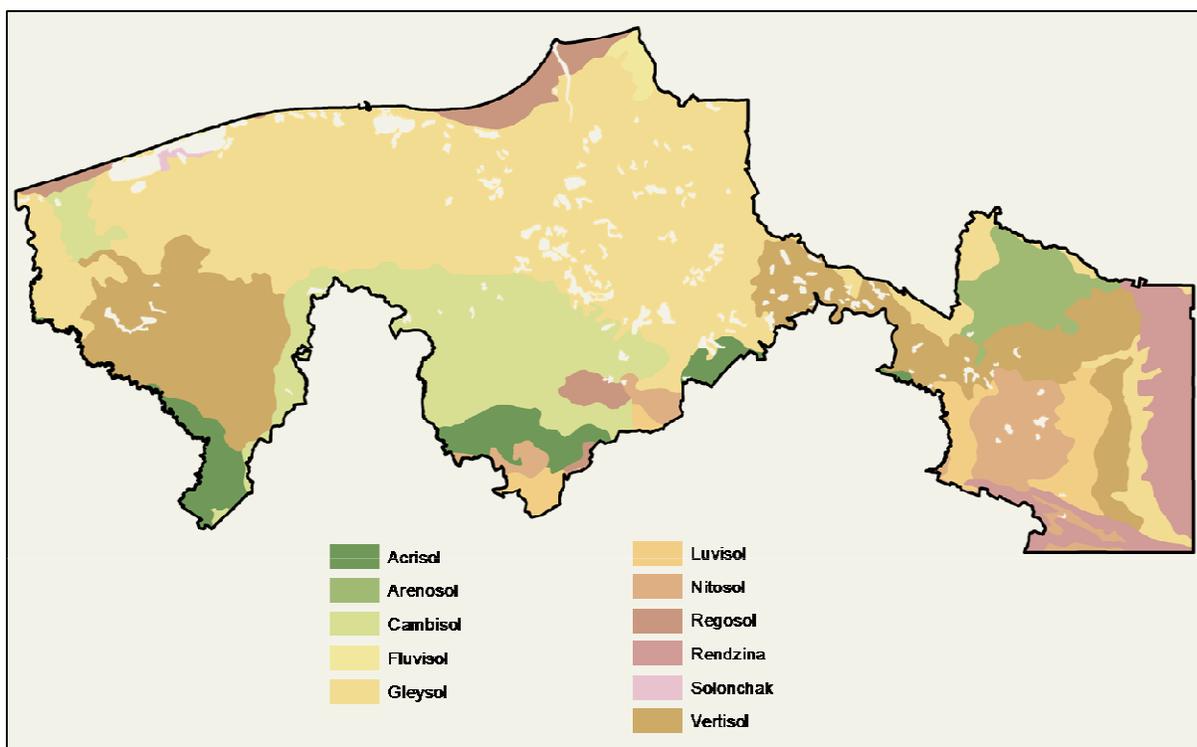
**Figura 3.18** Uso de suelo en el estado de Tabasco. **FUENTE:** Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI 2010

De acuerdo con la cartografía de suelos, en la Tabla 3.4, 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 km<sup>2</sup>.

**Tabla 3.4 Uso de los suelos en Tabasco FUENTE: México en Cifras, INEGI 2010**

Uso actual	Superficie	
	km <sup>2</sup>	%
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
<b>TOTAL</b>	<b>24 737.81</b>	<b>100.0</b>
<b>SUPERFICIE ESTATAL</b>	<b>24 737.81</b>	<b>---</b>

En la Figura 3.19, se presenta la distribución por **tipo de suelo** del estado de Tabasco, los cuales se resumen en la Tabla 3.5, mostrando la superficie ocupada por cada tipo de suelo.



**Figura 3.19 Tipo de suelo en el estado de Tabasco. FUENTE: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010**

**Tabla 3.5 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
Luvisoles (LV)	Pastizal y cítricos	2 751.09	11.12
Cambisoles (CM;)	Caña de azúcar, cacao, plátano y pastizal	406.64	1.64
<b>TOTAL</b>		<b>23 296.66</b>	<b>94.11</b>

#### *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)*

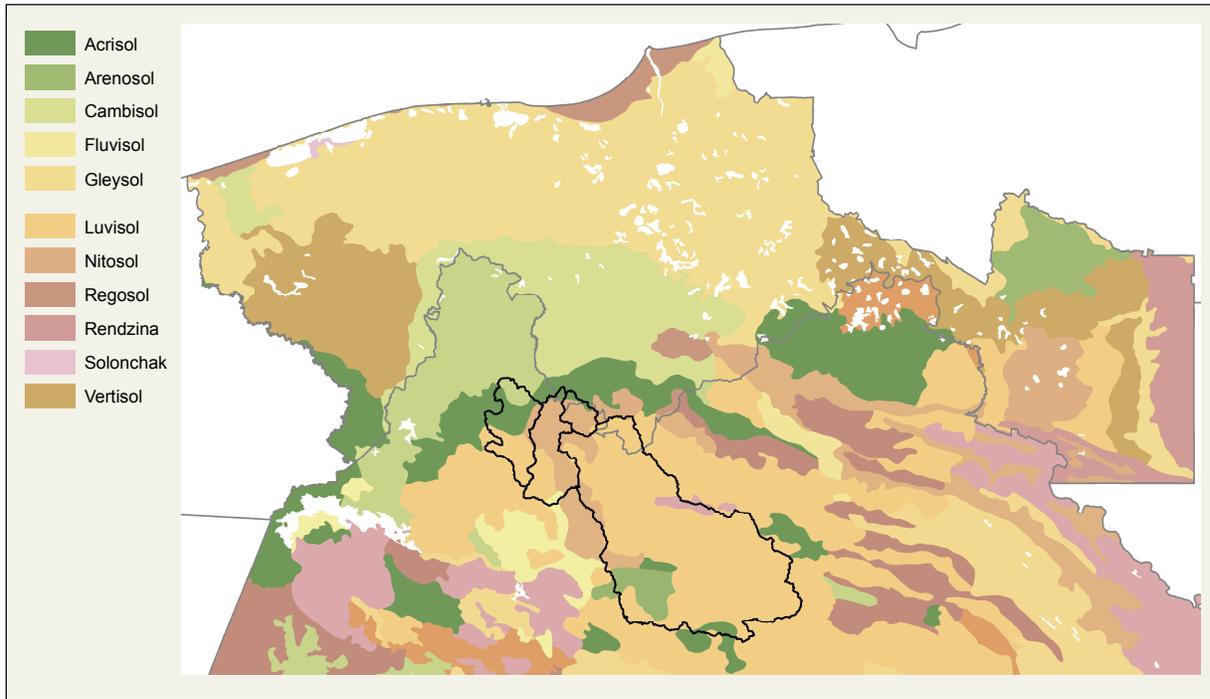
Las subunidades de suelos Gleysol-Histosol fueron asociadas porque ambas mostraron características similares, y se diferenciaron por el tipo de horizonte A de diagnóstico. Las características de estos suelos ya fueron descritas anteriormente; son una mezcla de aluviones recientes y sedimentos lacustres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

#### **3.4.2.2 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 3.20). 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 3.20 Tipo de suelo en las subcuencas del río de La Sierra. FUENTE: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010**

En la Figura 3.21 se muestra el tipo de suelo por subcuenca expresada en porcentajes y se observa que el uso de suelo predominante es el pastizal.

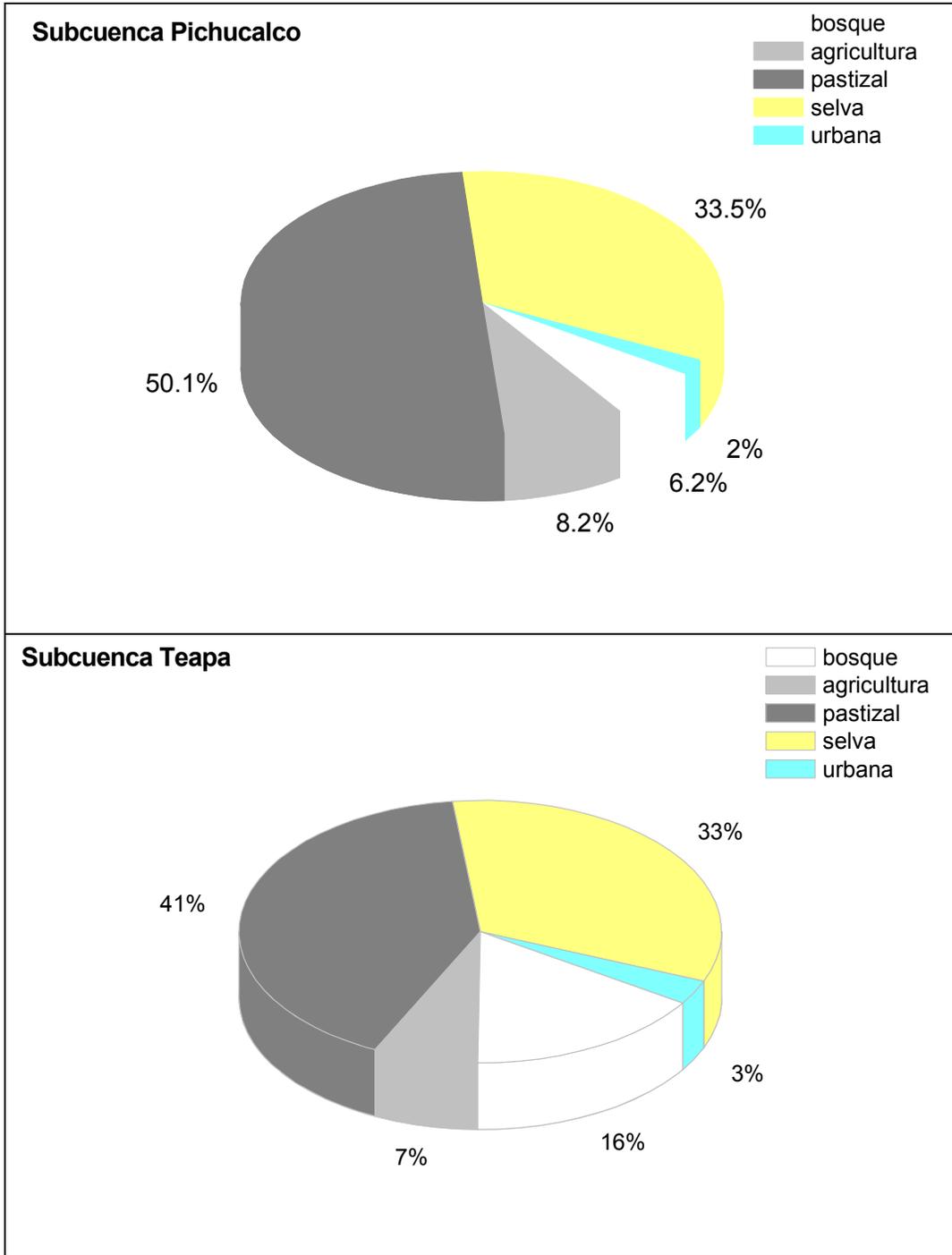
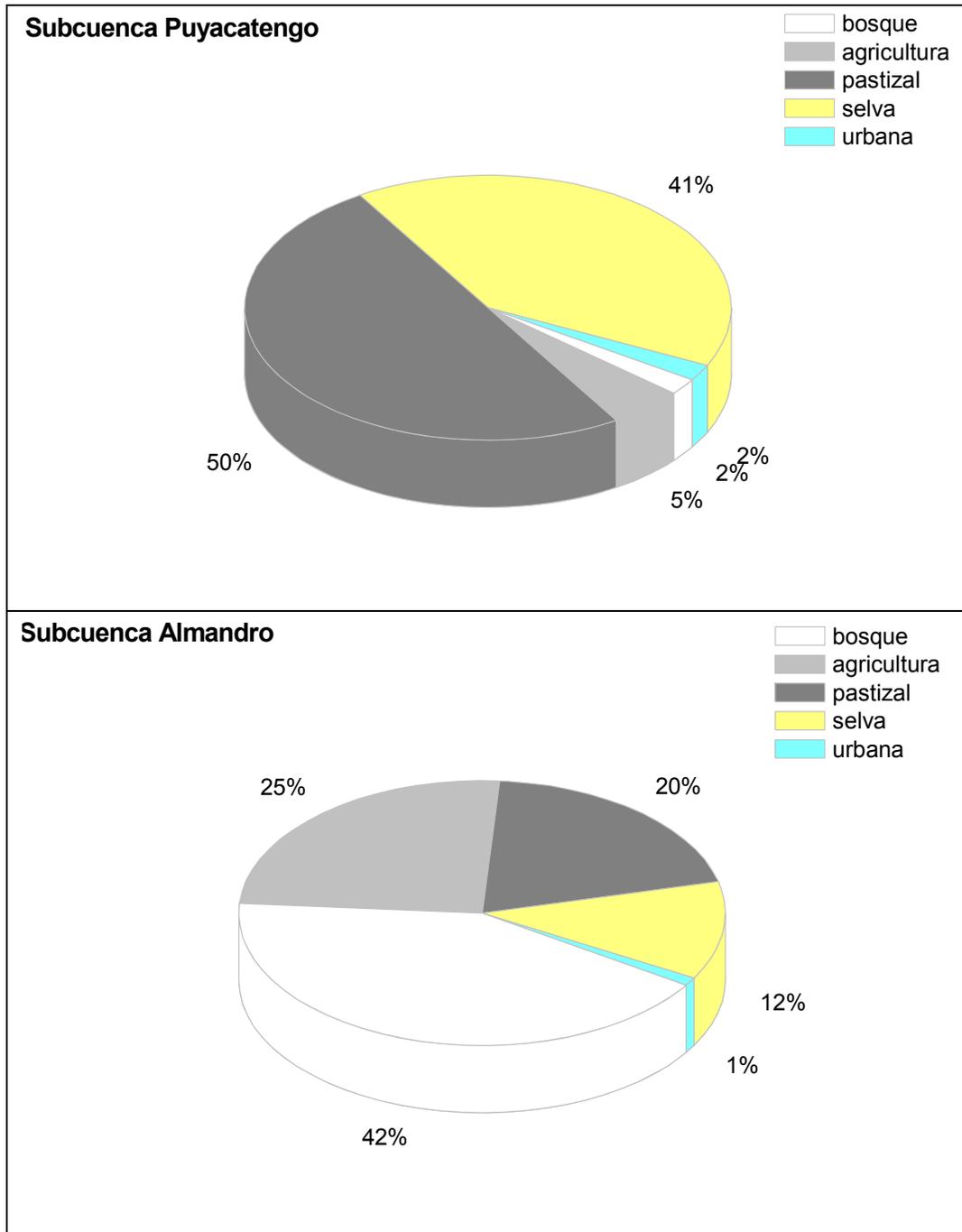


Figura 3.21 Gráficas con los porcentajes de uso de suelo por subcuenca



**Figura 3.21 Gráficas con los porcentajes de uso de suelo por subcuenca.  
(continuación)**

Una clasificación común en Hidrología, llamado número de escurrimiento N, aplica un criterio de acuerdo a su permeabilidad como Muy Alta, Buena, Media y Baja, la cual se relaciona con el tipo de suelo A, B, C y D.

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. (Domínguez, 2008)

**Tabla 3.6 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 3.6 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 3.7), que las subcuencas de La Sierra presenta un alto potencial de escurrimientos y una tasa de infiltración baja.

**Tabla 3.7 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.	$\geq 11$
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

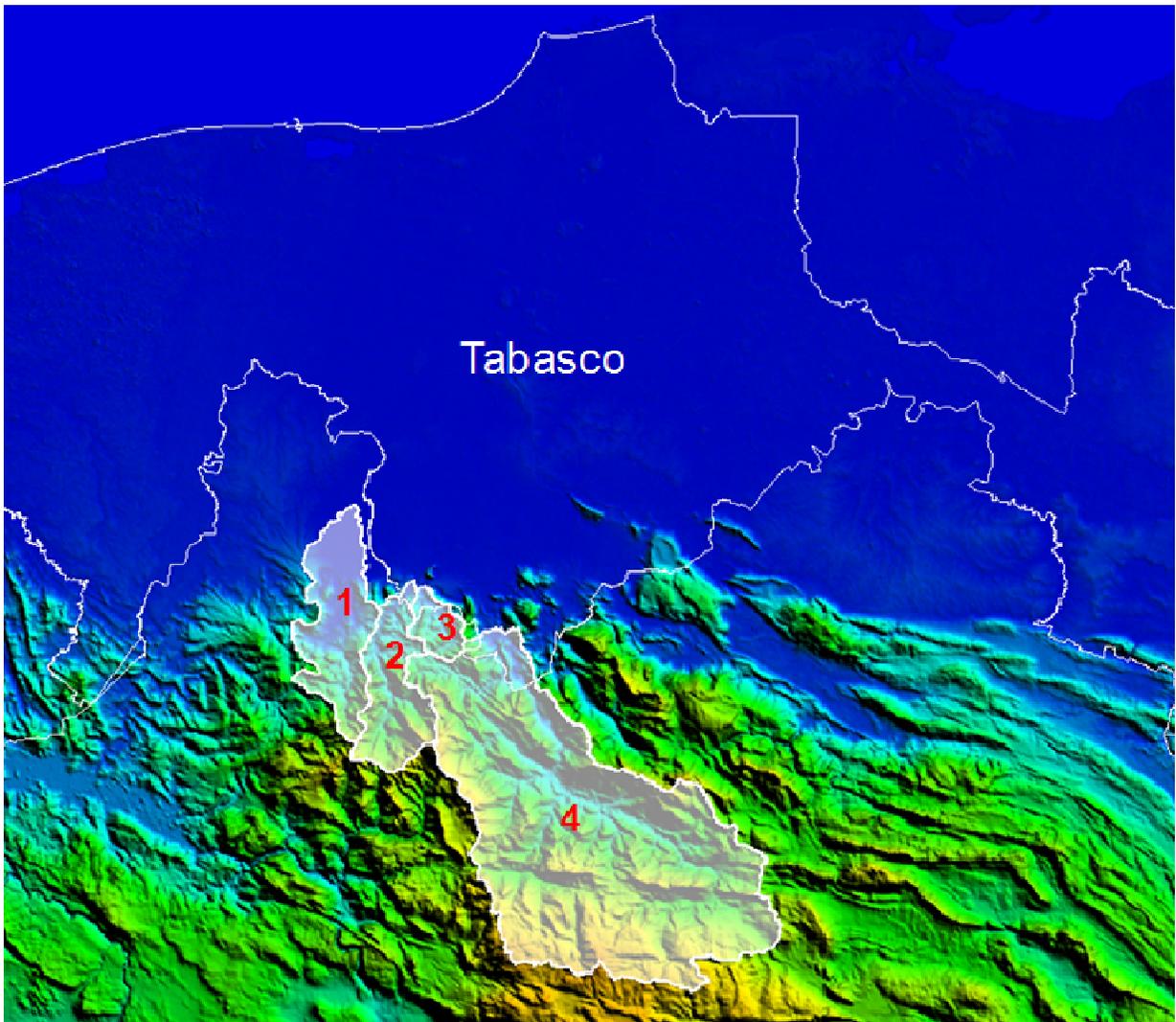
**Tabla 3.7 Definiciones de Tipo de Suelos según el NRCS\* (continuación)**

Tipo	Descripción	K (mm/h)
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)

### 3.4.2.3 Datos base para la aplicación del modelo SWMM



**Figura 3.22 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 (Aljandro)**

Con las generalidades del estado de Tabasco mencionadas anteriormente, se realizó la caracterización de las subcuencas que forman parte del Sistema de Alerta para la ciudad de Villahermosa (Figura 3.22), las cuales son: Pichucalco, Teapa, Puyacatengo y Aljandro. El software SWMM requiere que se asignen las propiedades de cada subcuenca, las cuales se describen en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Propiedades de cuencas dentro del SWMM v.5.0**

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

**Tabla 3.8 Propiedades de cuencas dentro del SWMM v.5.0 (continuación)**

<b><i>Aguas subterráneas</i></b>	Edición de los parámetros de flujo subterráneo de la cuenca
<b><i>Nieve</i></b>	Nombre del conjunto de parámetros de nieve asignados a la subcuenca (si existen)
<b><i>Acumulación inicial</i></b>	Cantidades iniciales de contaminantes sobre la subcuenca
<b><i>Usos de suelo</i></b>	Asignar usos de suelo de la subcuenca
<b><i>Long. Cauce</i></b>	Longitud total de cauces en la subcuenca. Se utiliza cuando la acumulación de contaminantes se define por unidad de longitud del cauce.

La delimitación de las subcuencas para obtener el *Área* se hizo con base en la estación hidrométrica que afora el cauce principal. El parámetro *Ancho*, se refiere al ancho media de la subcuenca, y se calcula dividiendo el área total de la subcuenca entre la máxima longitud de la misma; este parámetro durante la calibración fue ajustado. La pendiente media de la subcuenca se obtuvo de datos del INEGI así como el porcentaje de área impermeable. Para los parámetros de coeficiente de Manning, y almacenamiento en depresión se tomaron datos recomendados por el SWMM según el tipo de suelo.

Para este caso, no fue necesario especificar los parámetros de agua subterránea, nieve, acumulación de contaminantes, usos de suelo y longitud total de cauces. A continuación se muestra en las Figuras 3.23, 3.24, 3.25 y 3.26 resaltado en color rojo la caracterización final de las propiedades por subcuenca dentro del SWMM.

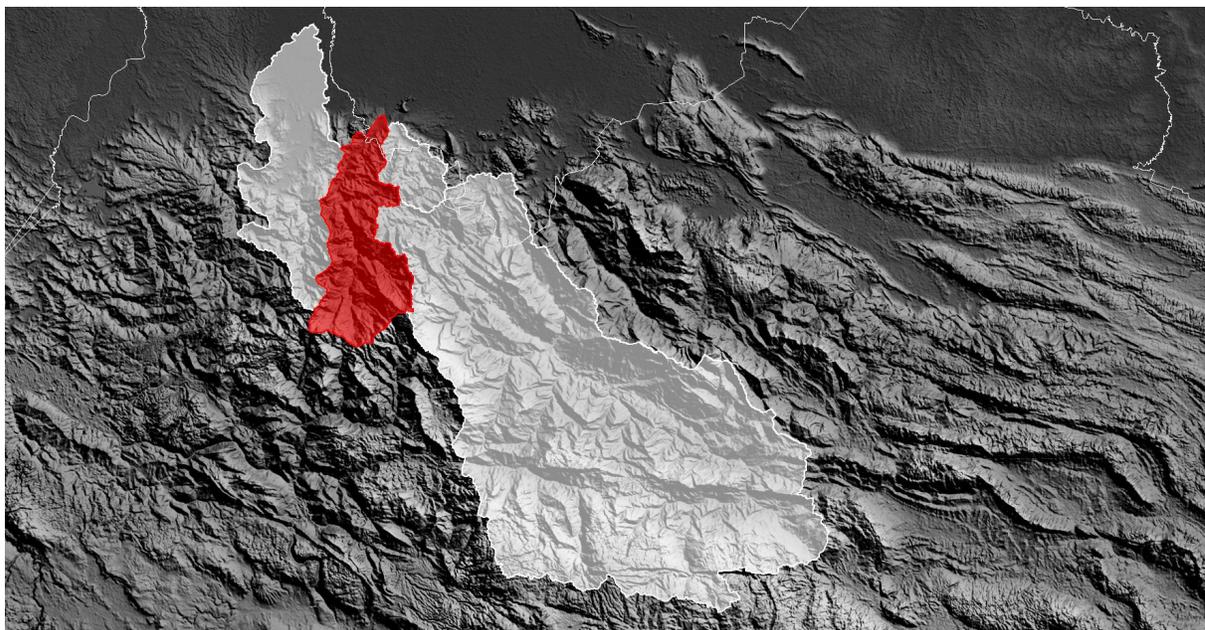


Figura 3.23 Subcuenca Teapa

Tabla 3.9 Propiedades de la subcuenca Teapa

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

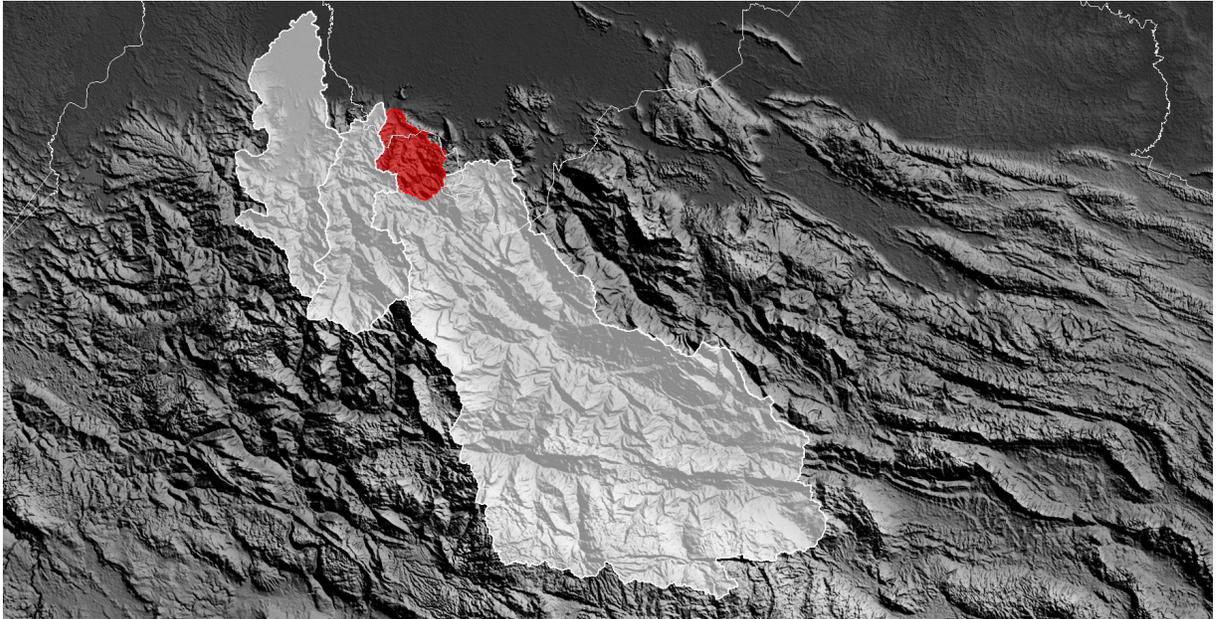


Figura 3.24 Subcuenca Puyacatengo

Tabla 3.10 Propiedades de la subcuenca Puyacatengo

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

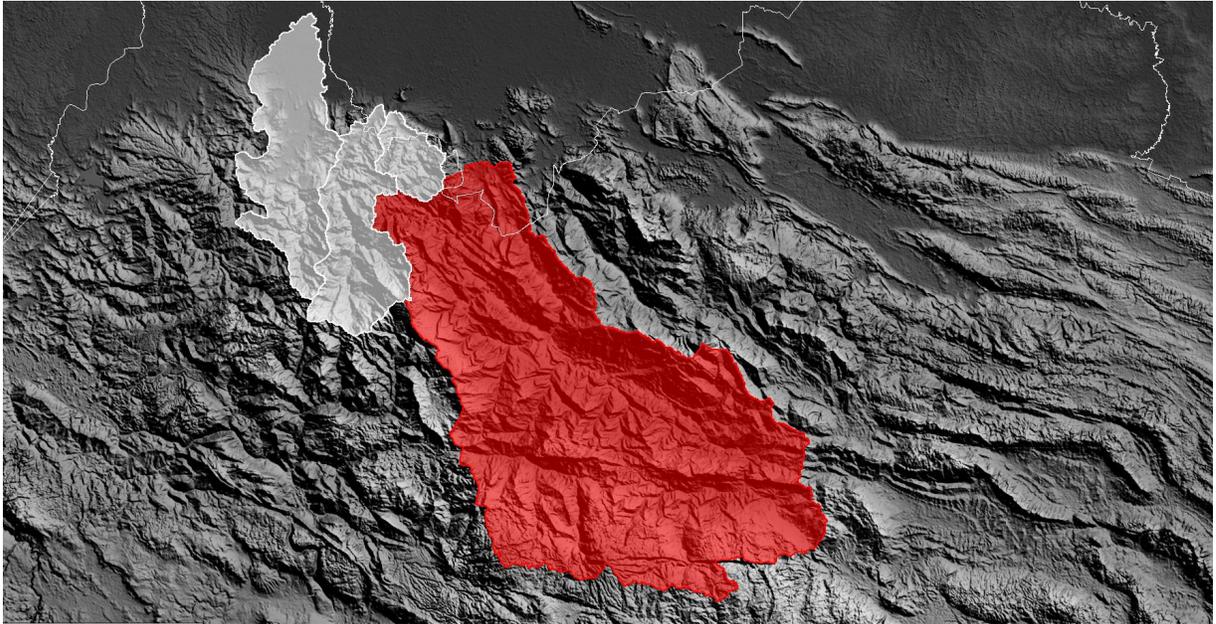


Figura 3.25 Subcuenca Almandro

Tabla 3.11 Propiedades de la subcuenca Almandro

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

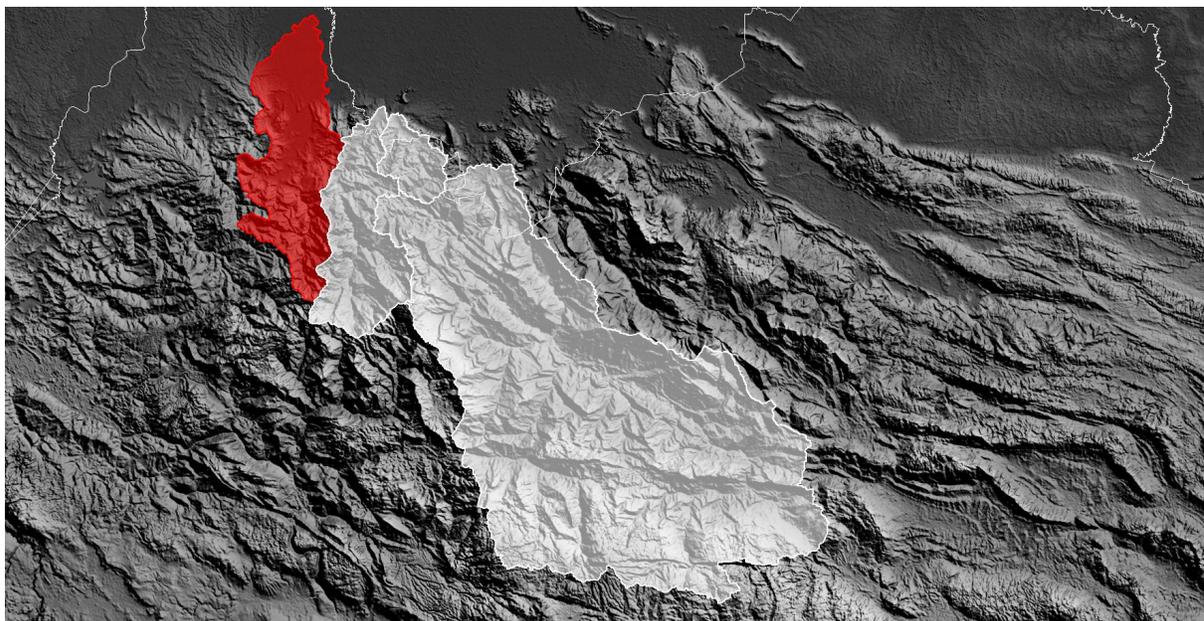


Figura 3.26 Subcuenca Pichucalco

Tabla 3.12 Propiedades de la subcuenca Pichucalco

<b>NOMBRE</b>	Subcuenca Pichucalco
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Cauce principal del río Pichucalco
<b>ETIQUETA</b>	Sub-Pichu
<b>DESCARGA</b>	EH San Joaquín
<b>ÁREA (ha)</b>	40,106.00
<b>ANCHO (m)</b>	30,000
<b>PENDIENTE (%)</b>	23
<b>ÁREA IMPERMEABLE (%)</b>	0.5
<b>COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO IMPERMEABLE</b>	0.011
<b>COEFICIENTE DE MANNING (n) -SUELO PERMEABLE</b>	0.40
<b>ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION - SUELO IMPERMEABLE (mm)</b>	2.5
<b>ALTURA DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESION - SUELO PERMEABLE (mm)</b>	2.5
<b>% DE SUELO IMPERMEABLE QUE NO PRESENTA DEPRESIÓN</b>	10

Una vez integrada la información topográfica de los cauces, zonas lagunares, estructuras de control y caracterización de subcuencas se tiene el esquema completo de los ríos de La Sierra. En la Figura 3.27 se identifican los puntos de entrada de información (condiciones de frontera) y los puntos de control para calibración.

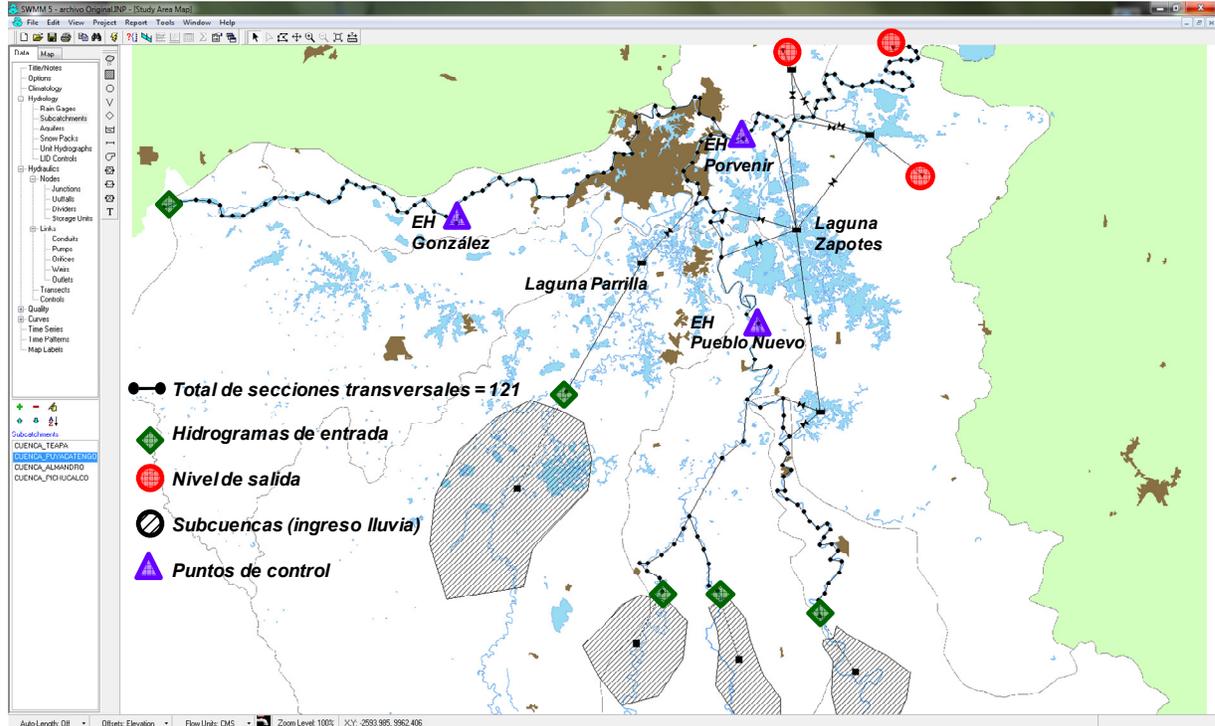


Figura 3.27 Esquema simplificado del sistema de ríos de La Sierra con ubicación de puntos de control y condiciones de frontera.

## CAPÍTULO 4 CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Calibrar el modelo hidrológico consiste en obtener mediante su funcionamiento hidrogramas a la salida de un cuenca generados por una lluvia conocida que sean parecidos a hidrogramas medidos en los mismo sitios. Con este propósito se obtuvieron en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) registros de estaciones hidrométricas en el periodo de junio a noviembre de 2011 y con la información de las lluvias medias que proporcionó el Hidroestimador en ese periodo, se calibró el módulos de lluvia-escorrimento.

Cabe señalar que el periodo seleccionado (junio a noviembre de 2011) obedece 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-escorrimento.

### 4.1 MODELO LLUVIA-ESCORRIMIENTO

Los datos de lámina de lluvia media se transforman en hidrogramas de escorrimento a partir de las características geomorfológicas de las cuencas y las pérdidas por infiltración. El coeficiente de infiltración se determina mediante el modelo de Green-Ampt. En éste, es un factor importante la influencia de la humedad inicial del suelo, por lo que es preciso representar un estado inicial del sistema; seco o húmedo.

La aplicación del modelo de Green-Ampt requiere de la estimación de los siguientes parámetros de permeabilidad del suelo: conductividad hidráulica ( $K$ ), altura de succión del terreno ( $\psi$ ), porosidad del suelo ( $\phi$ ), así como el estado de humedad inicial del mismo. Debido a que al momento de realizar esta tesis no se dispuso de mediciones de campo sobre estos parámetros, se estimó su magnitud con base en las sugerencias establecidas en la literatura técnica [Rawls, 1983].

#### 4.1.1 Transformación lluvia-escorrimento

El modelo SWMM v.5.0 hace un símil de los procesos que se desarrollan en la superficie de la cuenca con procesos físicos que simplifican su representación, por ejemplo, el escorrimento en la zona de estudio se supone similar a un depósito (Figura 4.1) 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, del tipo siguiente:

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

donde

$I$  caudal de entrada correspondiente a la aportación de la precipitación que cae sobre la cuenca

$Q$  caudal de escurrimiento generado

$S$  almacenamiento o retención dentro de la cuenca

Para resolver la ecuación anterior se propone una relación entre el caudal de escurrimiento y almacenamiento, que para el caso del modelo SWMM esta relación se establece con una condición que asocia al caudal de salida con el nivel de agua en un depósito ficticio.

En el cálculo hidrológico de caudales que realiza el bloque RUNOFF del modelo, la metodología está relacionada con las aproximaciones de la onda cinemática, aunque en realidad se puede definir como una formulación mixta entre modelo de depósito y de onda cinemática.

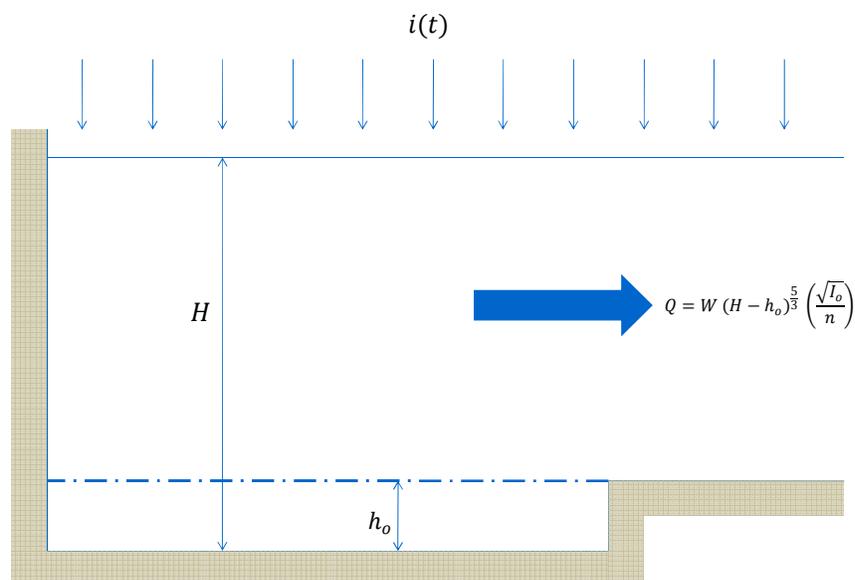


Figura 4.1 Modelo de depósito aplicado en SWMM v.5.0

Esta metodología supone que la subcuenca en estudio, definida a partir del área dentro de su parteaguas, pendiente, rugosidad superficial, etc. tiene un comportamiento de tipo depósito. Además, se asume una abstracción inicial, de manera que hasta que no se ha producido una precipitación mínima que se considera el umbral, no se genera escurrimiento, y donde la salida de caudal del depósito termina cuando el 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, o sea

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

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

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

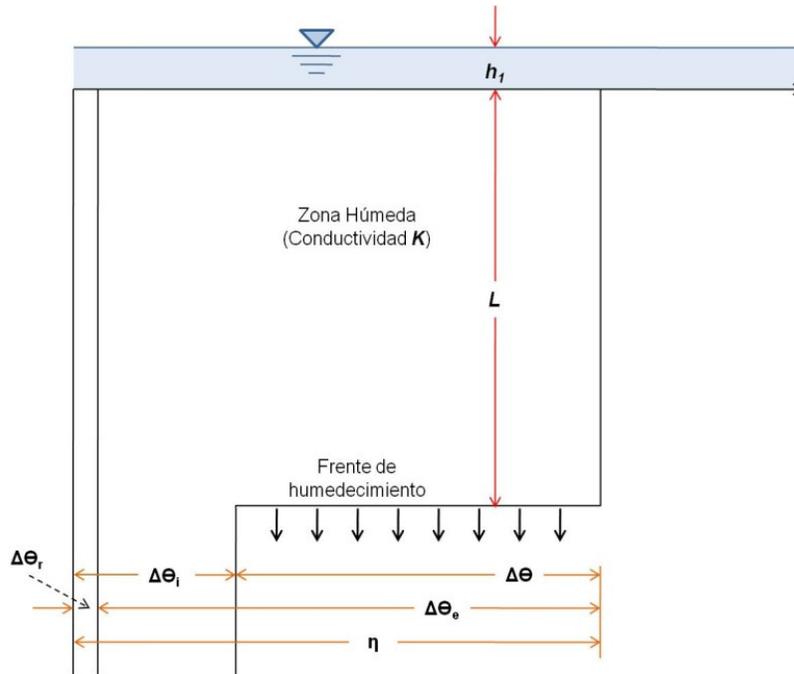
donde

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

#### 4.1.2 Método Green - Ampt

El SWMM v.5.0 usa tres opciones para calcular la infiltración: el método de Horton, el de Green-Ampt y un método denominado Número de Curva. Es importante al inicio de la modelación, seleccionar el modelo con el cual se trabajará y que este sea el mismo para todas las subcuencas a estudiar.

Para estudiar la zona de las subcuencas de los ríos de La Sierra se determinó usar el modelo de **Green - Ampt**, ya que éste procedimiento puede ser empleado aún cuando no exista información de campo; además permite considerar la influencia de la humedad inicial del suelo.



**Figura 4.2 Modelo de infiltración de Green - Ampt**

Durante la época de avenidas, el suelo se satura y las lagunas comienzan su llenado. Conocer la variación estacional de la humedad del suelo no es trivial pues no existen suficientes mediciones y es un fenómeno que depende de la evapotranspiración, de la infiltración, de la variación temporal en la magnitud de los flujos superficiales, entre otros.

De acuerdo a la Figura 4.2, se puede asumir que inicialmente el suelo tiene un nivel de humedad  $\theta_i$ , que puede alcanzar un valor máximo igual al de la porosidad del terreno  $\eta$ , que representa el máximo volumen de huecos que pueden ser ocupados por el agua (estado de saturación). 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 se tiene un encharcamiento en superficie con una magnitud  $h$  en milímetros.

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

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

Por otro lado, aplicando la ley de Darcy para medios porosos entre el nivel de agua en superficie y el del frente de avance, para expresar el flujo en el medio subterráneo se tiene que

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

Si se considera 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.

Particularizando entre la superficie del terreno y el lado seco de la posición del 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 por efecto de 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 mismos que la conductividad hidráulica o permeabilidad, varían con la humedad del terreno, así que reescribiendo la ecuación anterior se llegue

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

Como se expresó que la capacidad de infiltración es igual a la derivada de la infiltración acumulada,  $f = \frac{dF}{dt}$ , se escribe que

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

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 los parámetros siguientes:

- *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  $\mu\text{m}$  que se mantienen abiertos en condiciones de saturación. Las unidades de  $K_s$  son: m/s

- *Potencial de succión del terreno ( $\psi$ )*

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 los sólidos. Se define también como la porción de suelo que está ocupada por aire y/o por agua.

En suelos secos los poros estarán ocupados por aire y en suelos inundados, por agua. Los factores que determinan la porosidad 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 4. 1 Características del suelo**

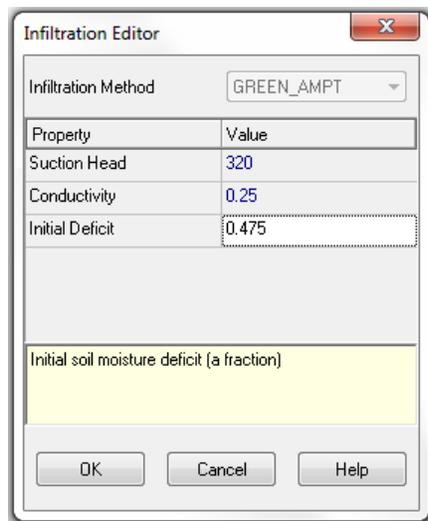
Textura del suelo	K (mm/h)	$\Psi$ (mm)	$\Phi$
Arena	120.40	49	0.437
Arena margosa	29.97	61	0.437
Marga arenosa	10.92	110	0.453
Marga	3.30	89	0.463
Sedimentos de marga	6.60	170	0.501
Marga areno-arcillosa	1.52	220	0.398
Marga arcillosa	1.02	210	0.464
Sedimentos de marga arcillosa	1.02	270	0.471
Arcilla 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)

$\psi$ : altura de succión (mm)

$\Phi$ : porosidad (fracción)

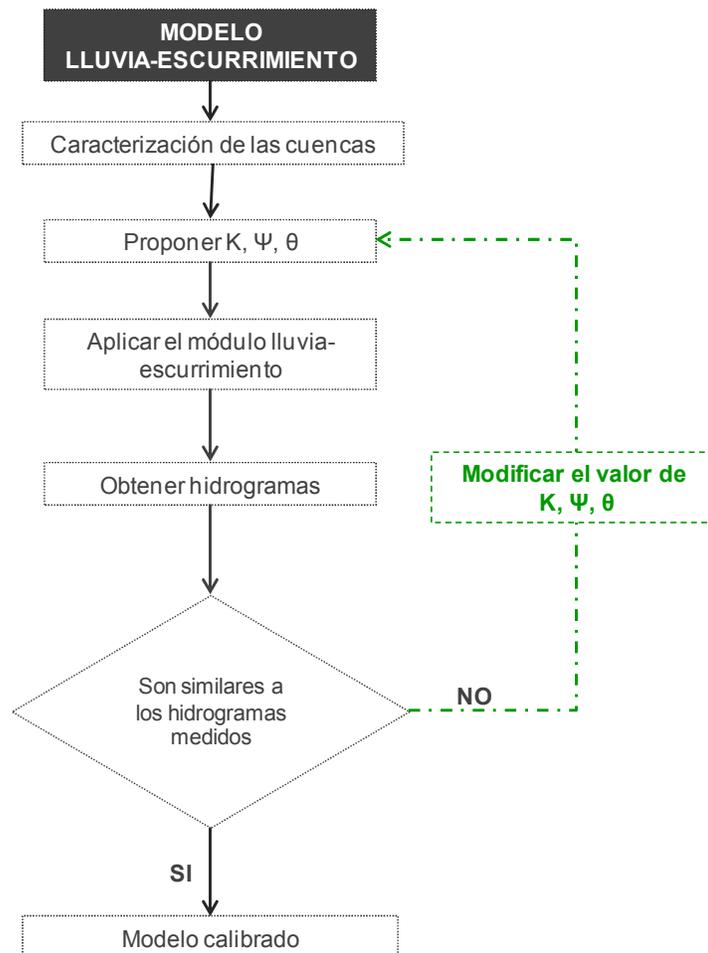
FUENTE: Rawls, W.J. et al. (1983). ASCE Journal of Hydraulic Engineering, N° 109; p.1316



**Figura 4.3 Editor de datos método de Green-Ampt en SWMM v.5.0**

Es así que el proceso de calibración del modelo en su módulo hidrológico consistió en contar con información de un evento con características hidrológicas e hidráulicas conocidas y reproducirlo con el modelo variando la magnitud de estos coeficientes cuidando que estuvieran dentro del rango de valores recomendados para el tipo de suelo en la zona de estudio hasta obtener que los hidrogramas calculados con el modelo fueran similares a los medidos en las estaciones hidrométricas ubicadas en las cuatro cuencas de estudio.

Las variables de calibración fueron el porcentaje de área impermeable y parámetros de infiltración, siendo estos últimos los que rigen las pérdidas de lluvia por infiltración. En la Figura 4.4 se muestra un esquema del proceso de calibración.



**Figura 4.4 Diagrama de flujo para la calibración de parámetros de pérdidas por infiltración**

Como las características del suelo son variables, se uso como valor inicial el correspondiente al tipo de suelo predominante. Para este trabajo, los suelos que conforman las subcuencas en estudio son las del sistema de ríos de La Sierra (ver capítulo 3)

En este sistema los suelos están compuestos en promedio por un 85% de arcillas (como se observó en el Capítulo 3), pero los valores adoptados son los recomendados para este tipo de suelo y concentrados en la Tabla 4.2.

Dado que la clasificación presentada en Tabla 4.2 hay 6 combinaciones de suelo relacionadas con arcillas, se adoptó el dato de suelo netamente arcilloso como valor inicial.

**Tabla 4.2 Características del tipo suelo**

Textura del suelo	K [mm/h]	$\Psi$ [mm]	$\Phi$
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

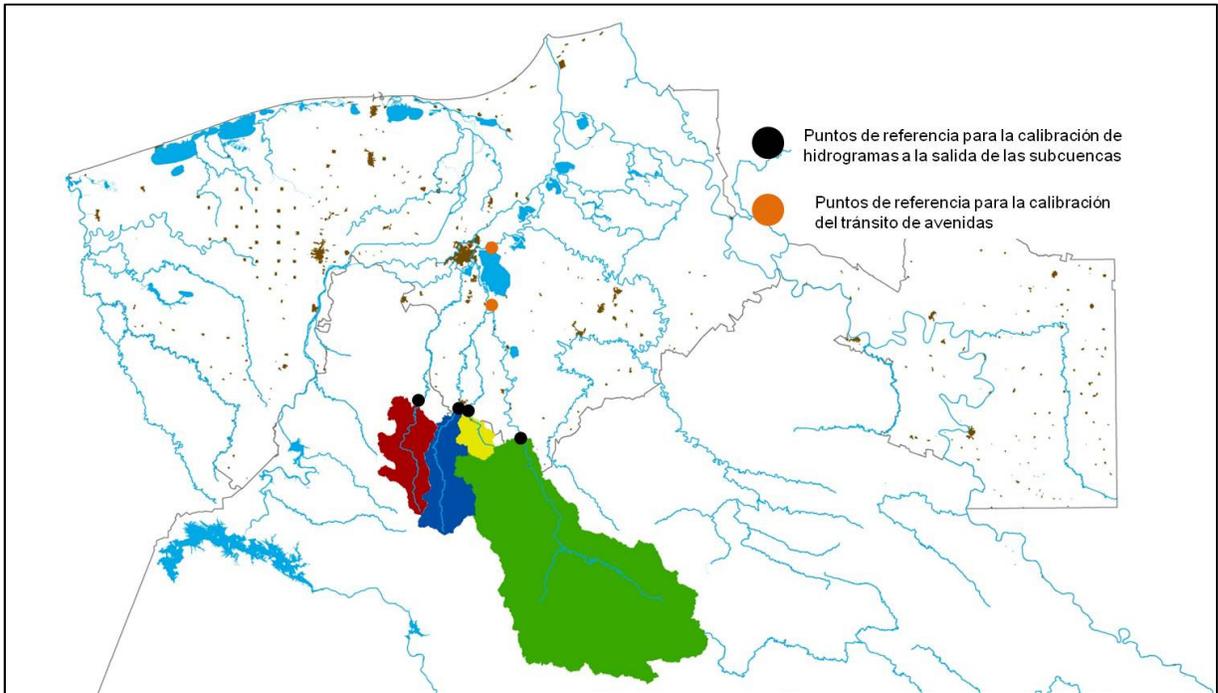
Con ello la primera simulación realizada fue en el periodo del 28 de junio al 02 de noviembre del 2011 y los valores iniciales usados para las 4 subcuencas fueron:

$$K=0.25 \quad [\text{mm/h}]$$

$$\psi= 320 \quad [\text{mm}]$$

$$\Phi=0.475$$

Usando estos valores se obtuvieron los resultados mostrados en la Figuras 4.5 a 4.12. Los sitios donde se comparan los hidrogramas y limnigramas corresponden a la ubicación de estaciones hidrométricas ubicadas a la salida de cada una de las cuatro subcuencas estudiadas a los que se ha denominado sitios de control (ver Figura 4.5)



**Figura 4.5 Puntos de medición de hidrogramas a la salida de las subcuencas**

La línea en color rojo representa la variación con el tiempo del caudal o nivel, según el caso, obtenido con el modelo matemático y la azul el valor registrado en la estación.

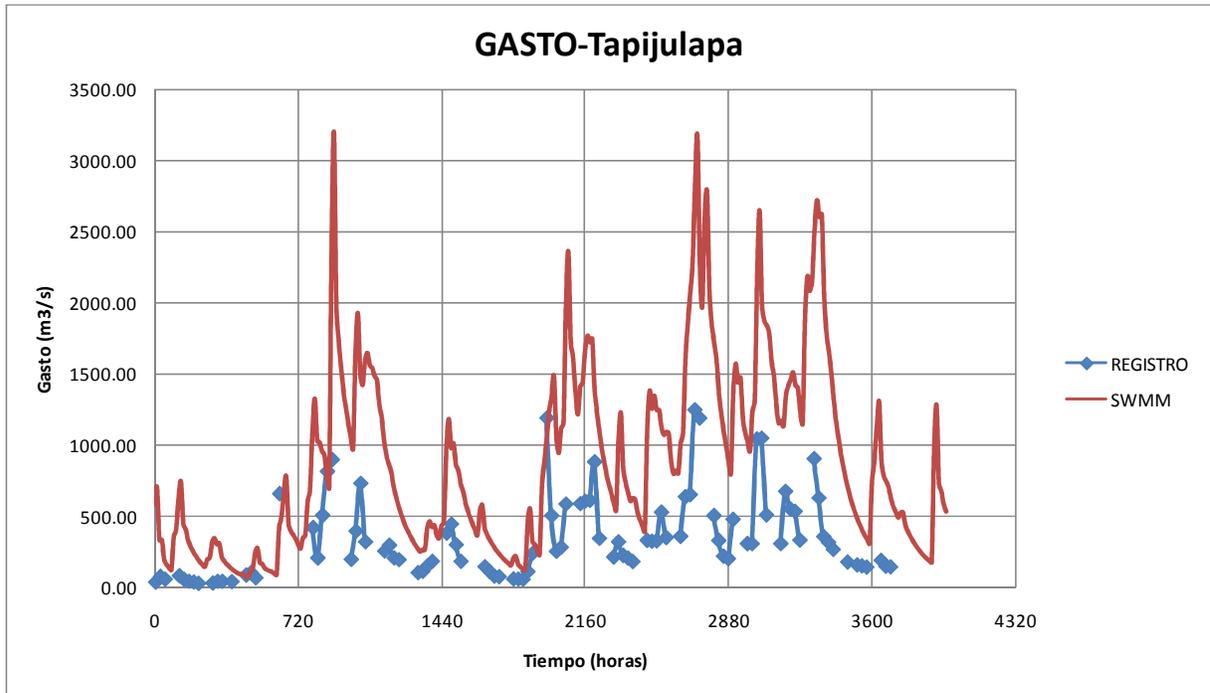


Figura 4.6 Hidrogramas medido y calculado en la estación hidrométrica Tapijulapa

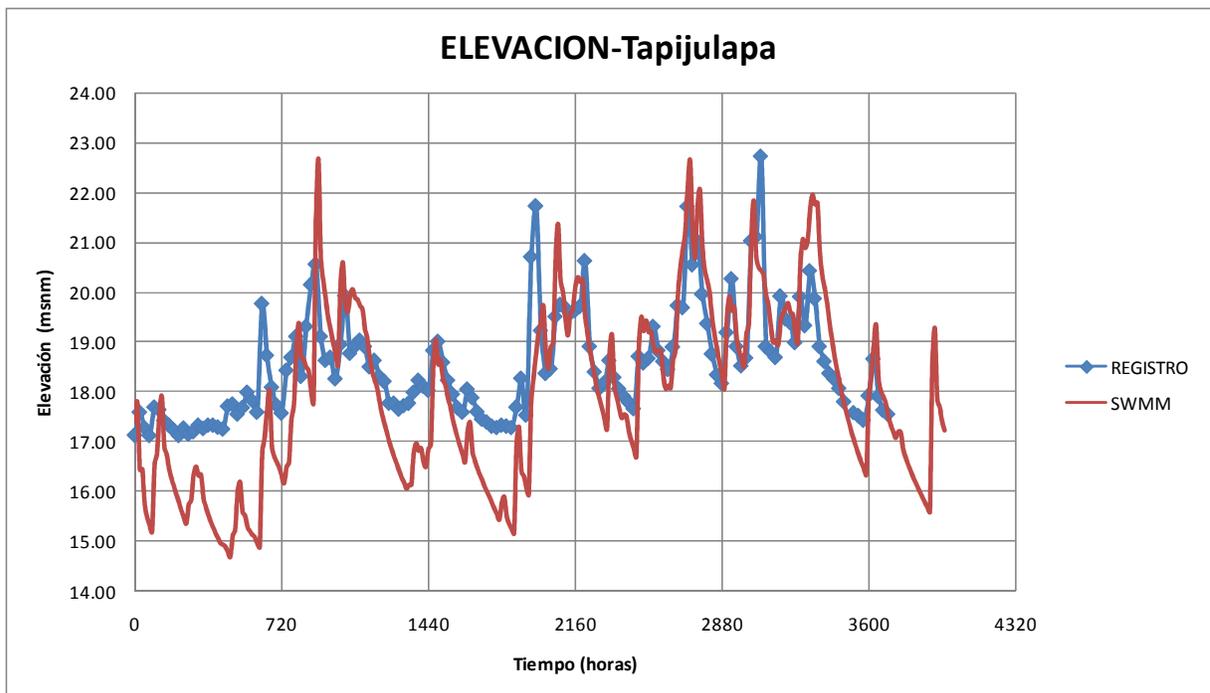


Figura 4.7 Limnigramas medido y calculado en la estación hidrométrica Tapijulapa

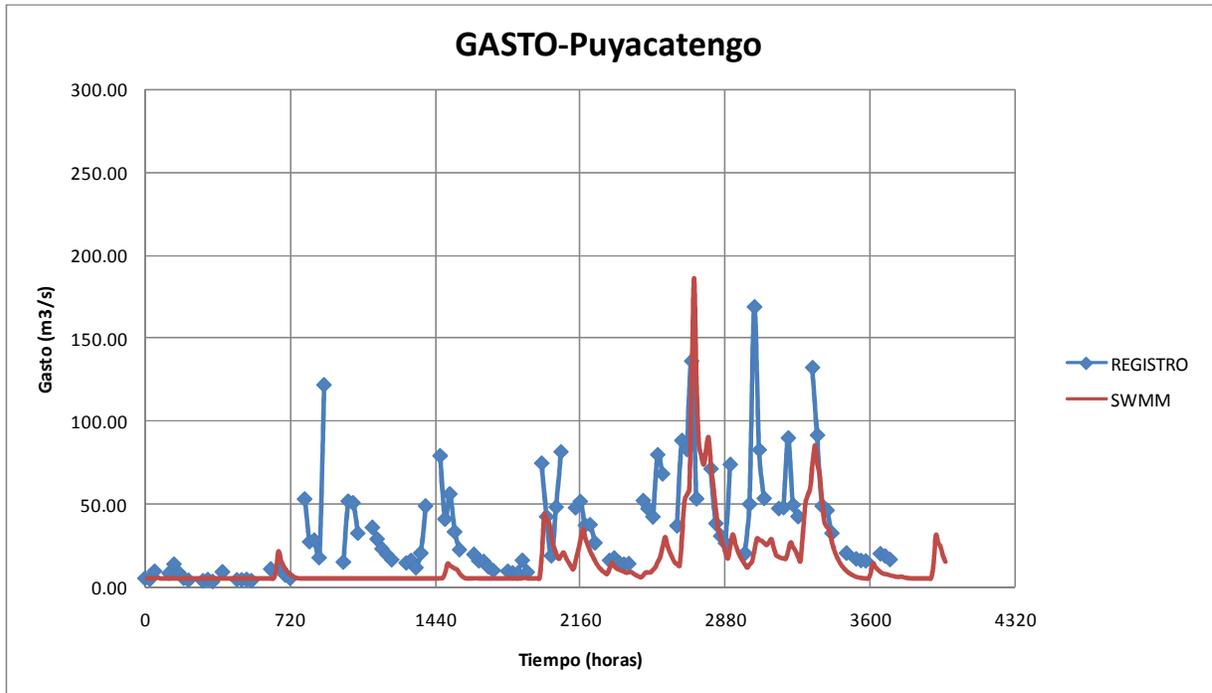


Figura 4.8 Hidrogramas medido y calculado en la estación hidrométrica Puyacatengo

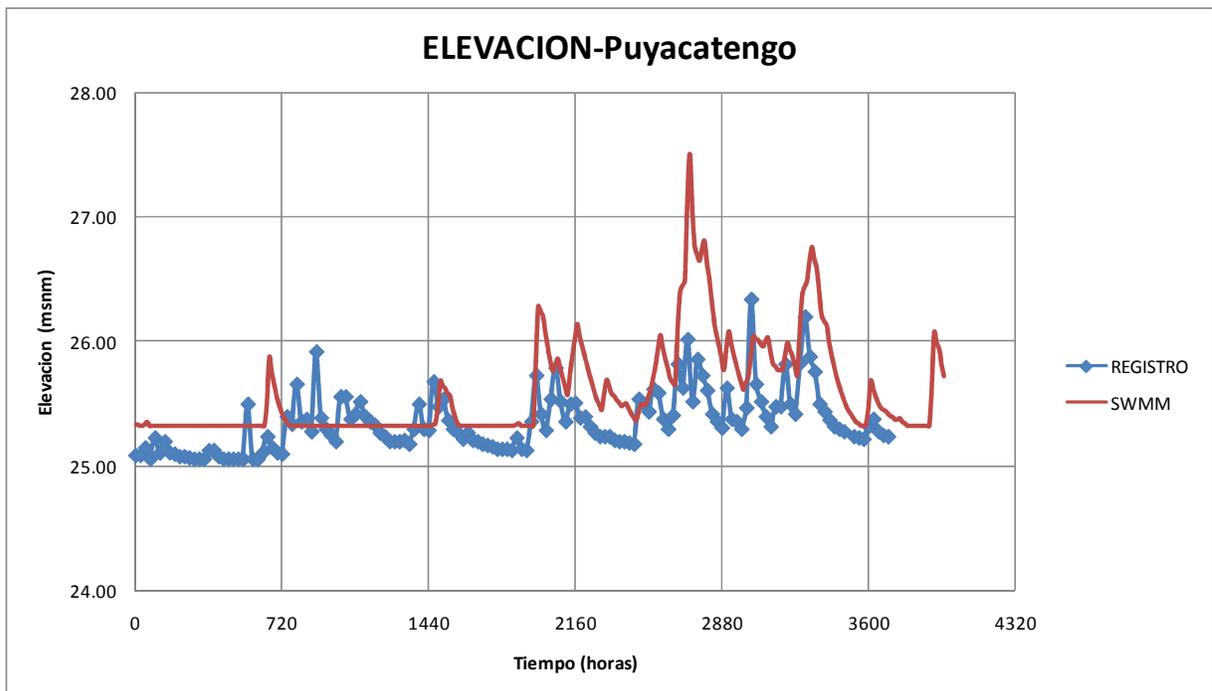


Figura 4.9 Limnigramas medido y calculado en la estación hidrométrica Puyacatengo

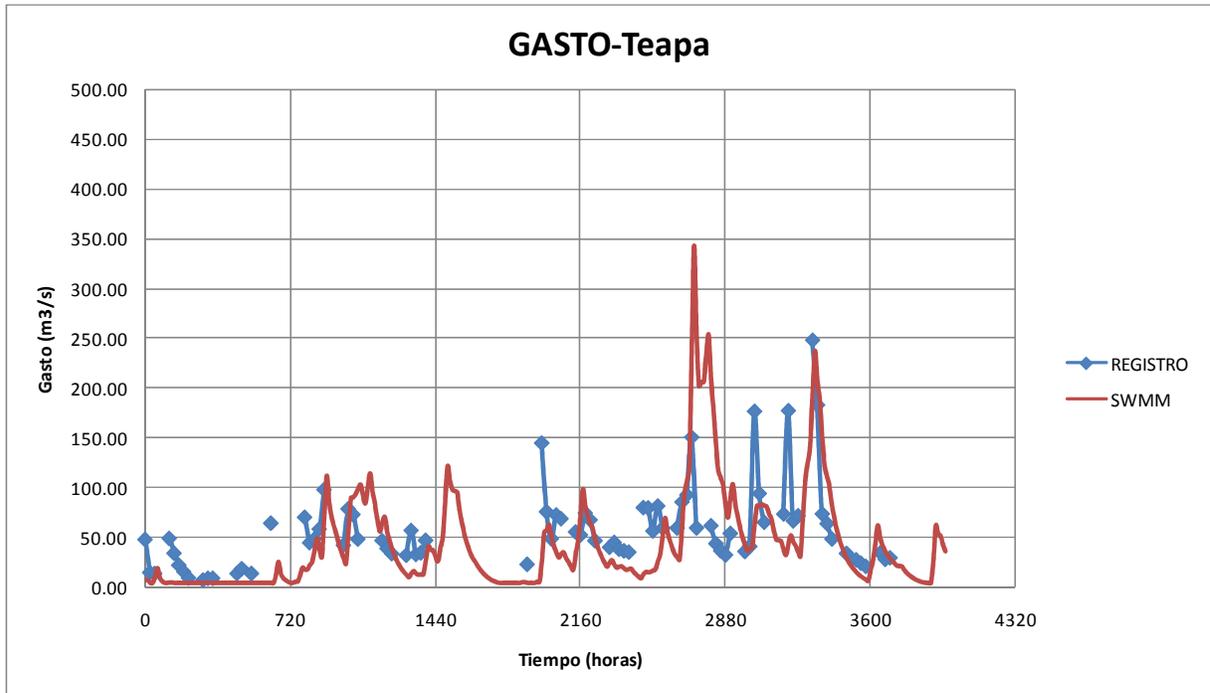


Figura 10. Hidrogramas medido y calculado en la estación hidrométrica Teapa

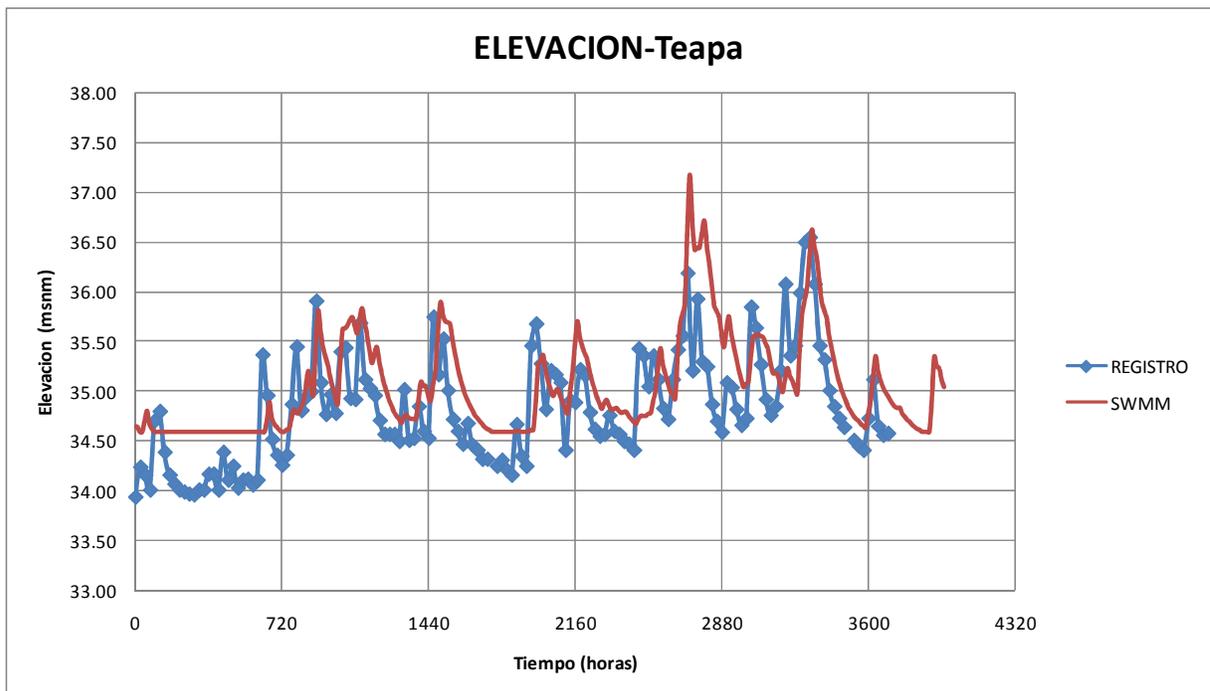
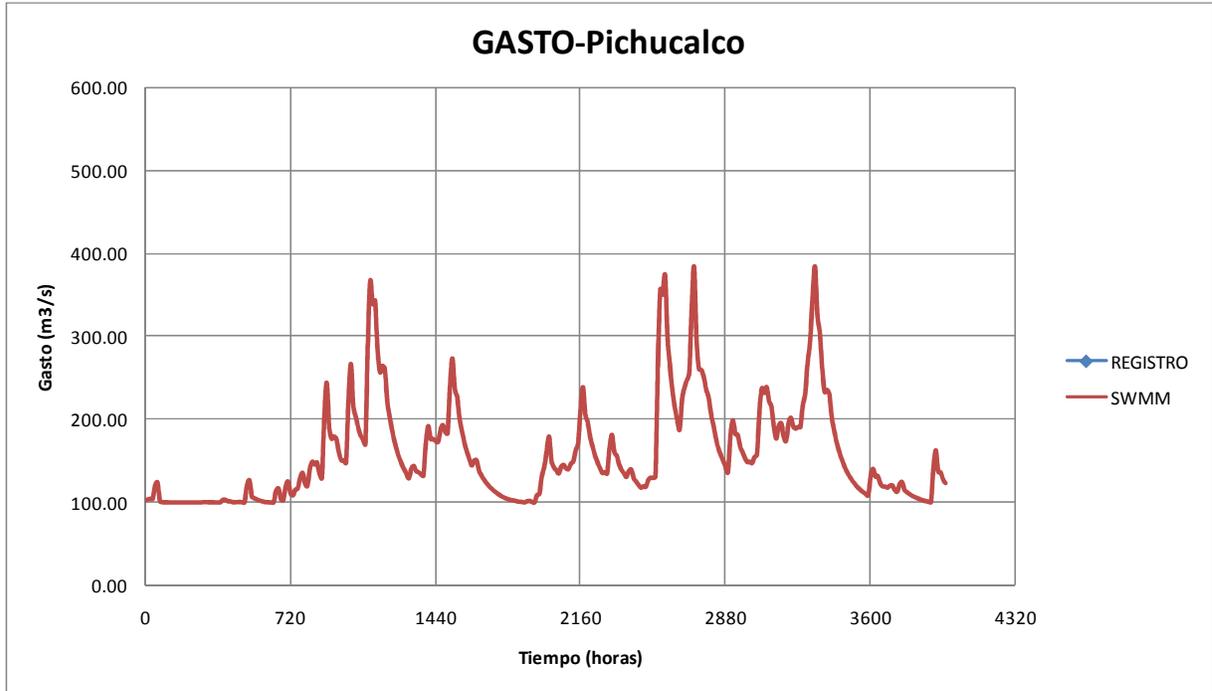
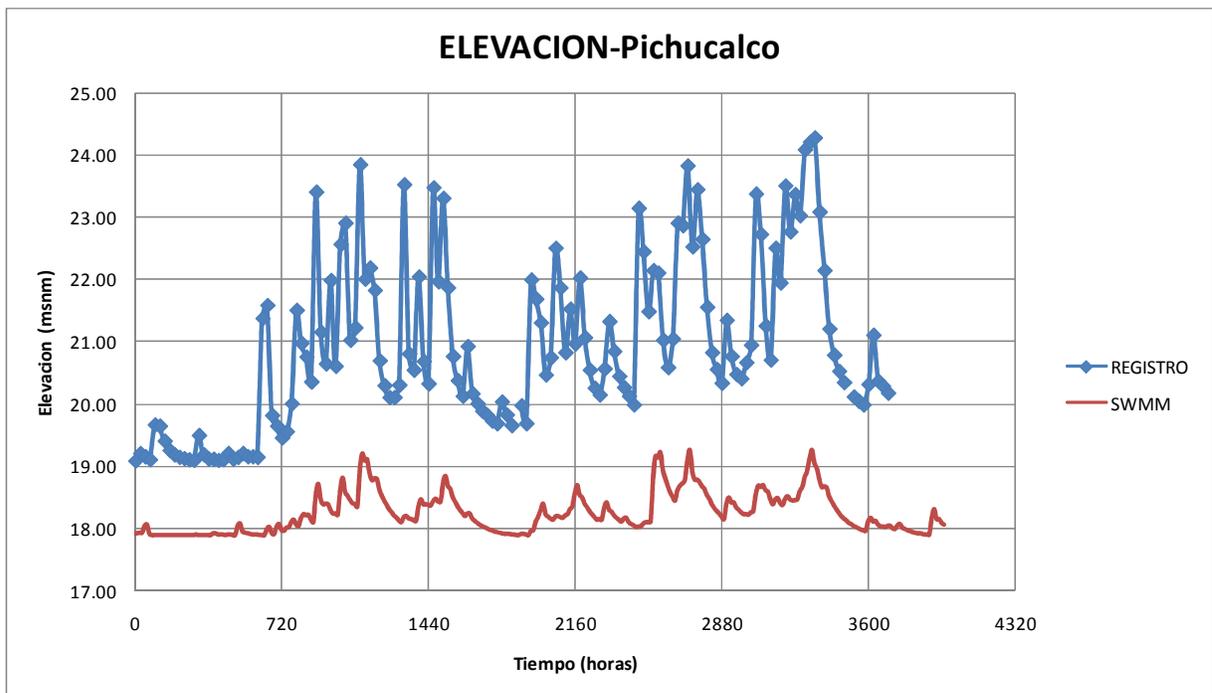


Figura 4.11 Limnigramas medido y calculado en la estación hidrométrica Teapa



**Figura 4.12 Hidrogramas medido y calculado en la estación hidrométrica San Joaquín**

*Nota. En esta gráfica de la estación hidrométrica San Joaquín no se presentan datos de gastos medidos, debido a que durante este periodo no se reportó esta variable.*



**Figura 4.13 Limnigramas medido y calculado en la estación hidrométrica San Joaquín**

Como puede observarse, existe una diferencia en la magnitud de los valores obtenidos con el modelo y los valores medidos (a esta diferencia se ha denominado error absoluto), sin embargo estos resultados corresponden a la primera aproximación, por lo que se realizaron otros cálculos variando la magnitud de  $K$  y  $\psi$  con el fin de reducir este error. Tras 76 simulaciones, se observó que se obtenían resultados con una reducción sustancial del error. En la tabla 4.3 se muestra el error absoluto en la determinación de la elevación máxima a la salida de las subcuencas obtenido en las 76 simulaciones realizadas, agrupando la magnitud del error por rangos de porcentaje. Se observa que si el error es mayor al 10% la diferencia entre lo medido y lo calculado es superior a los 10 cm, lo que se considera inaceptable dado que valores de este orden, en una zona con relieve tan plano como Tabasco, pueden representar el desbordamiento del río, razón por la que se seleccionaron los cálculos cuyos resultados tuvieron errores menores o iguales al 10%.

**Tabla 4.3 Error promedio neto de la variable ELEVACIÓN**

%	ERROR PROMEDIO	ELEVACION ERROR PROMEDIO
	[cm]	[m]
< 10%	6	0.06
10 - 20 %	12	0.12
20-30 %	26	0.26
30 - 40 %	36	0.36
40 - 50 %	45	0.45
> 50 %	271	2.71

Durante el proceso de calibración se encontró que existen varias combinaciones de parámetros de infiltración mediante las que se obtienen resultados aproximados a los hidrogramas y limnigramas medidos. En una primera fase se eliminaron aquellas combinaciones que generaban resultados con errores mayores al 10% con respecto a los medidos.

Posteriormente, se descartaron aquellas parejas de valores  $K$  y  $\psi$  en la que la magnitud de alguna de ellas se saliera de los rangos recomendados para el tipo de suelo de las cuencas en estudio (tabla 4.2).

Las restantes se depuraron calculando el cociente entre el valor obtenido con el SWMM y el medido (CONAGUA) en los picos de las avenidas. A cada pareja de datos  $K$  y  $\psi$  se le asoció un valor del cociente. Se identificaron aquellos cocientes cercanos a la unidad y que representan las combinaciones que generan resultados que se ajustan mejor a lo medido. El resultado de este proceso se presenta en la Tabla 4.4.

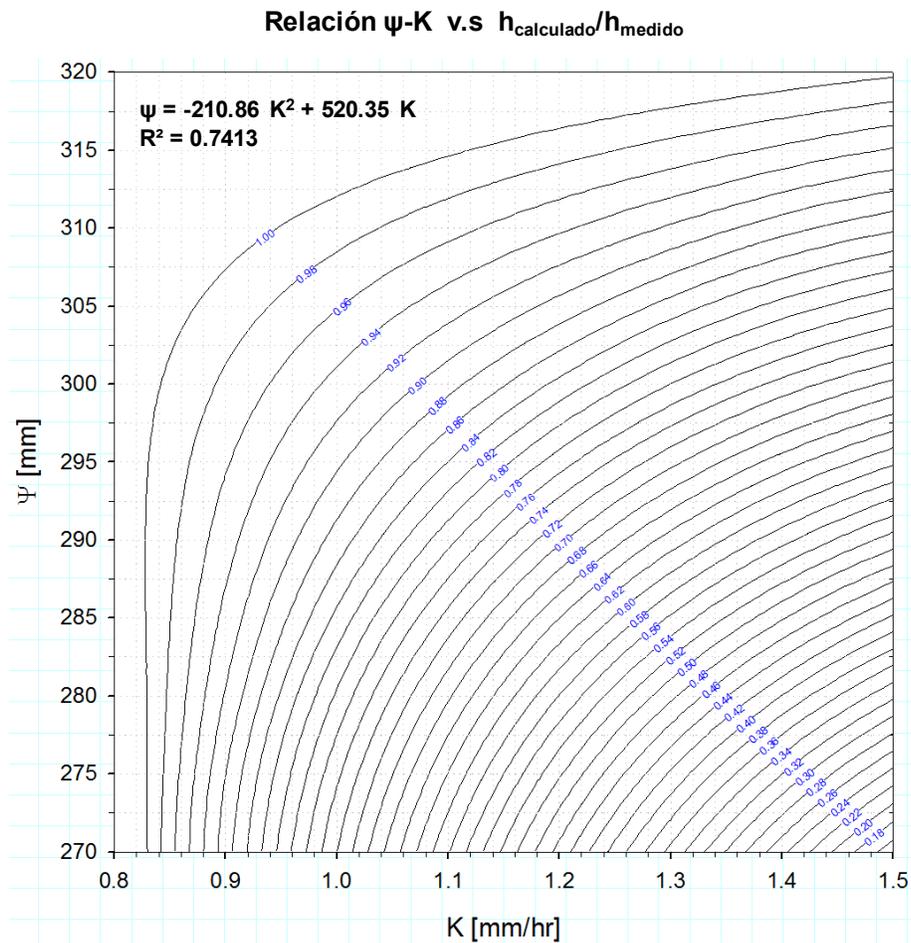
**Tabla 4.4 Análisis de elevaciones máximas por subcuenca**

FECHA DE SIMULACIÓN	SUBCUENCA	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN			ELEVACION MAX			
		$\psi$ (mm)	$K$ (mm/hr)	$\Phi$ (fracción)	$h_{MEDIDA}$	$h_{CALCULADA}$	$h_{CALCULADA} / h_{MEDIDA}$	$(h_{CALCULADA}) - (h_{MEDIDA})$
23/11/2011	ALMANDRO	320	0.25	0.475	22.72	28.62	1.25968	5.90
07/12/2011	ALMANDRO	270	0.78	0.475	22.72	25.67	1.12984	2.95
08/12/2011	ALMANDRO	270	0.8	0.475	22.72	25.6	1.12676	2.88
09/12/2011	ALMANDRO	270	0.7	0.475	22.72	25.76	1.13380	3.04
13/12/2011	ALMANDRO	270	0.5	0.475	22.72	25.58	1.12588	2.86
15/12/2011	ALMANDRO	320	1.5	0.475	22.72	22.81	1.00396	0.09
23/11/2011	PUYACATENGO	320	0.25	0.475	26.34	27.11	1.02923	0.77
07/12/2011	PUYACATENGO	270	0.78	0.475	26.34	26.9	1.02126	0.56
08/12/2011	PUYACATENGO	270	0.8	0.475	26.34	26.81	1.01784	0.47
09/12/2011	PUYACATENGO	270	0.6	0.475	26.34	26.85	1.01936	0.51
11/01/2012	PUYACATENGO	270	0.5	0.475	26.34	27.41	1.04062	1.07
23/11/2011	TEAPA	320	0.25	0.475	36.55	36.98	1.01176	0.43
07/12/2011	TEAPA	270	0.78	0.475	36.55	36.6	1.00137	0.05
08/12/2011	TEAPA	270	0.8	0.475	36.55	36.59	1.00109	0.04
09/01/2012	TEAPA	270	0.5	0.475	36.55	36.84	1.00793	0.29

En la Tabla 4.4 se puede observar que el cociente de elevación en los valores pico de los limnigramas oscilan entre 1.001 como mínimo y hasta 1.259 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 ( $\psi$ ) los valores oscilan entre 0.25 y hasta 1.5. Con base en estos resultados se generó la gráfica de la Figura 4.25 *característica de las subcuencas de La Sierra*, donde se muestran los resultados de la calibración y se asocia la relación entre los valores de  $K$  y  $\psi$  con respecto a la relación entre la elevación del agua medida y la elevación del agua calculada; para los valores más altos de esta relación se generó un ajuste de tipo polinomial de segundo orden y se obtuvo su ecuación.

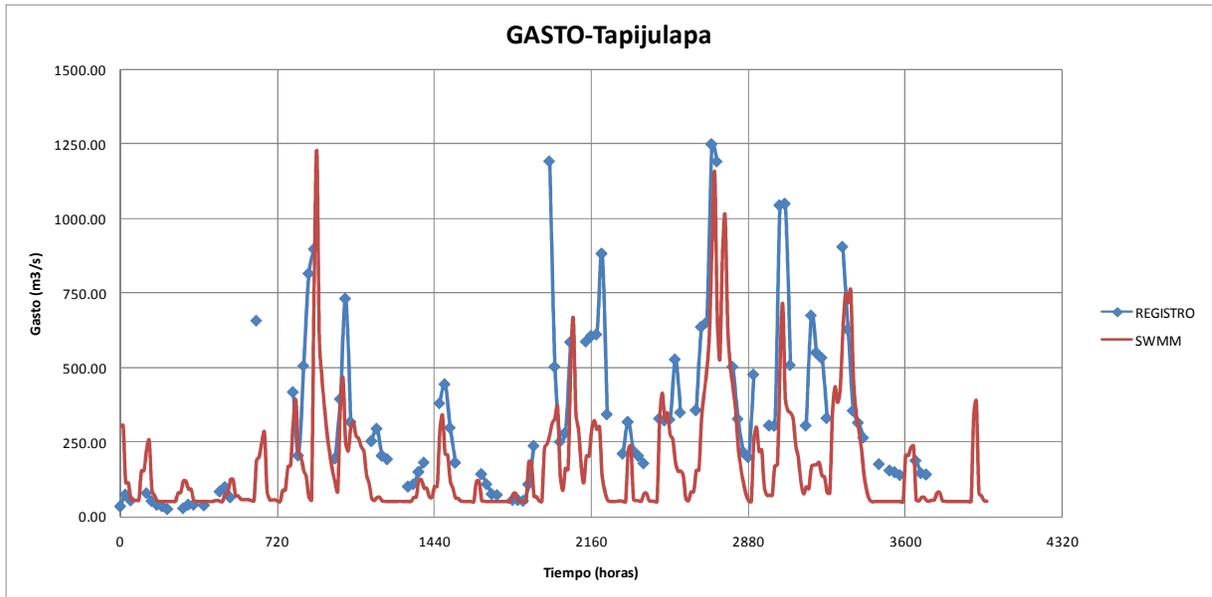
El valor de esta gráfica estriba en que con la ecuación obtenida se puede obtener un valor  $\psi$  que se asocia a un valor la permeabilidad  $K$  y esta pareja de datos conlleva a resultados en los que se minimiza la diferencia entre el valor de la elevación del agua medido en una estación aguas abajo del sistema, con respecto al obtenido con el modelo.

Es importante señalar que la gráfica mostrada en la Figura 4.25, solo puede ser aplicada para el caso de las subcuencas de los ríos de La Sierra, para otras subcuencas deberán realizarse procedimientos similares. La ecuación que se muestra en la gráfica corresponde a la curva con valor 1.00, la cual representa el mejor ajuste (error cero).

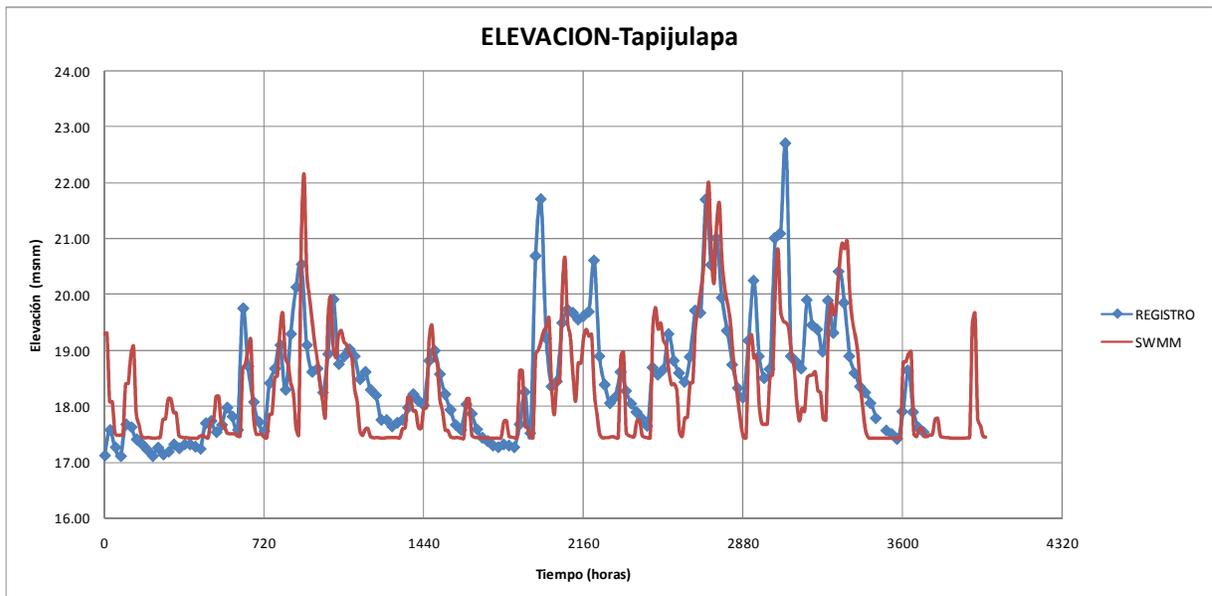


**Figura 4.25 Gráfica de ajuste polinomial para determinar los coeficientes de infiltración para las subcuencas del río de La Sierra**

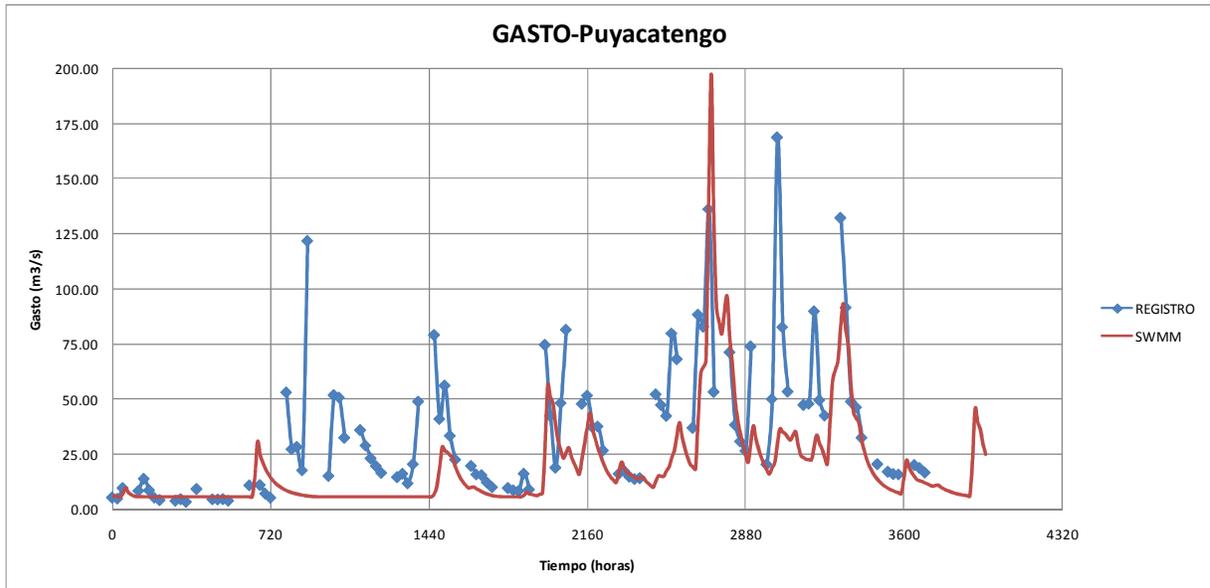
Aplicando este criterio, En las Figuras 4.14 a 4.20 se presentan los resultados de una simulación matemática que se considera aceptable en virtud de que la diferencia entre los resultados obtenidos y los medidos es menor o igual al 10%.



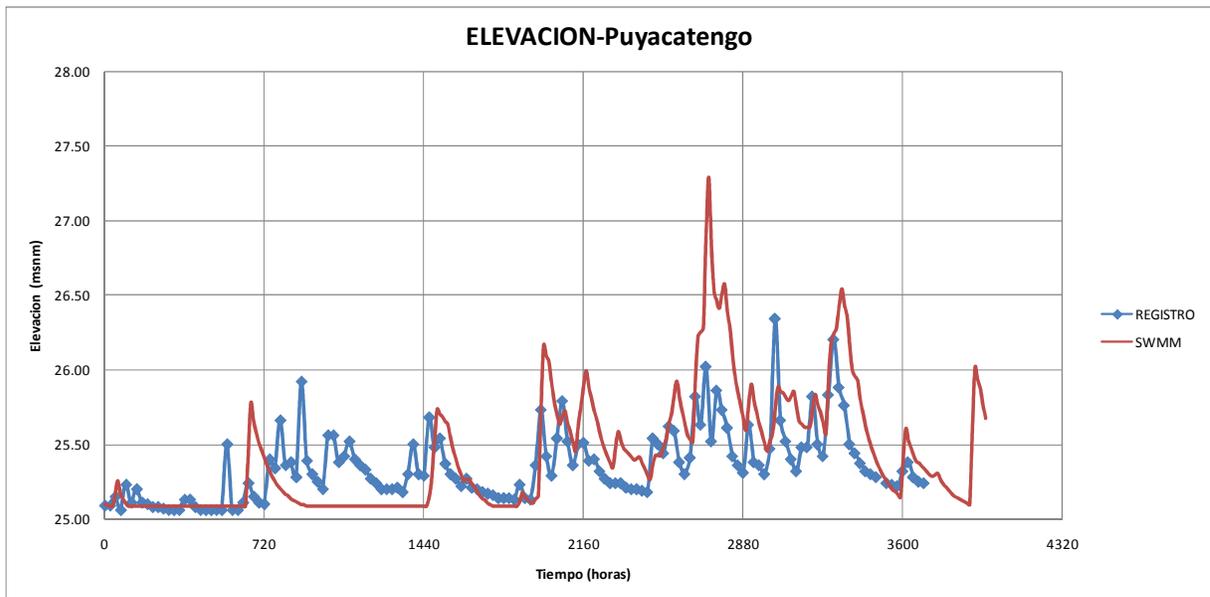
**Figura 4.14 Resultados de la calibración del año 2011**  
**Variable: Gasto Punto de control: EH Tapijulapa**



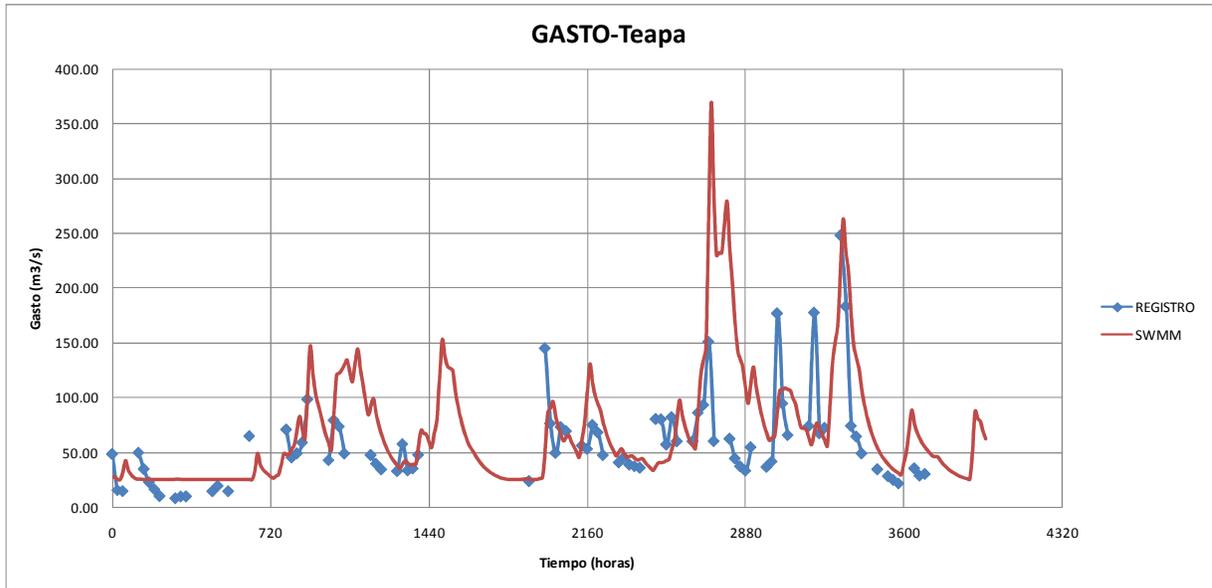
**Figura 4.15 Resultados de la calibración del año 2011**  
**Variable: Elevación Punto de control: EH Tapijulapa**



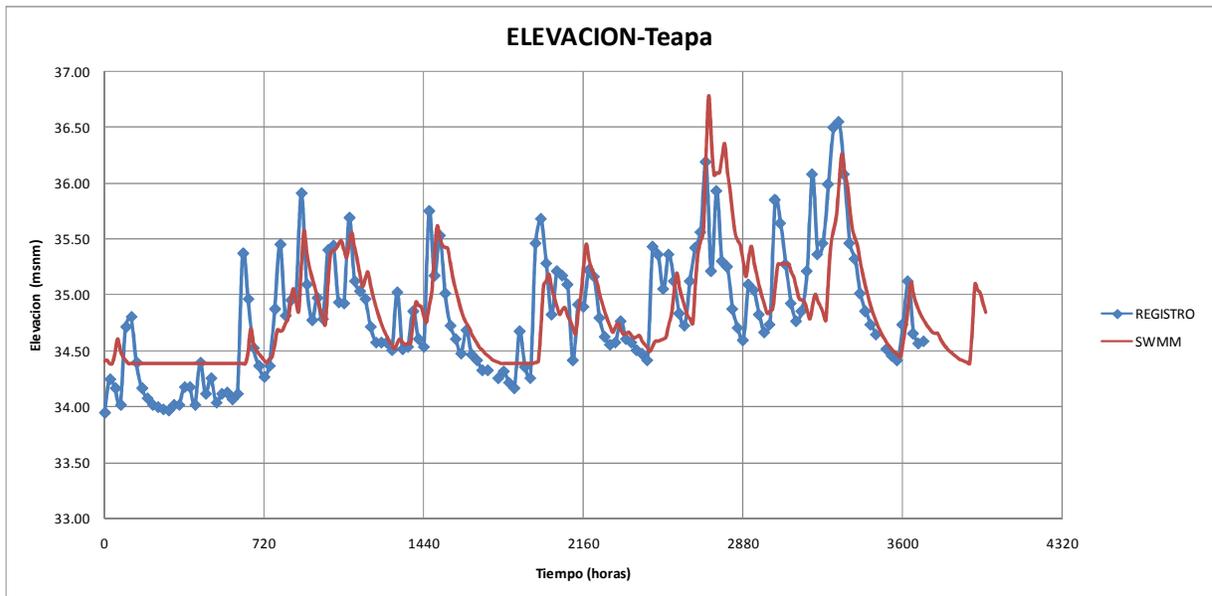
**Figura 4.16 Resultados de la calibración del año 2011**  
**Variable: Gasto Punto de control: EH Puyacatengo**



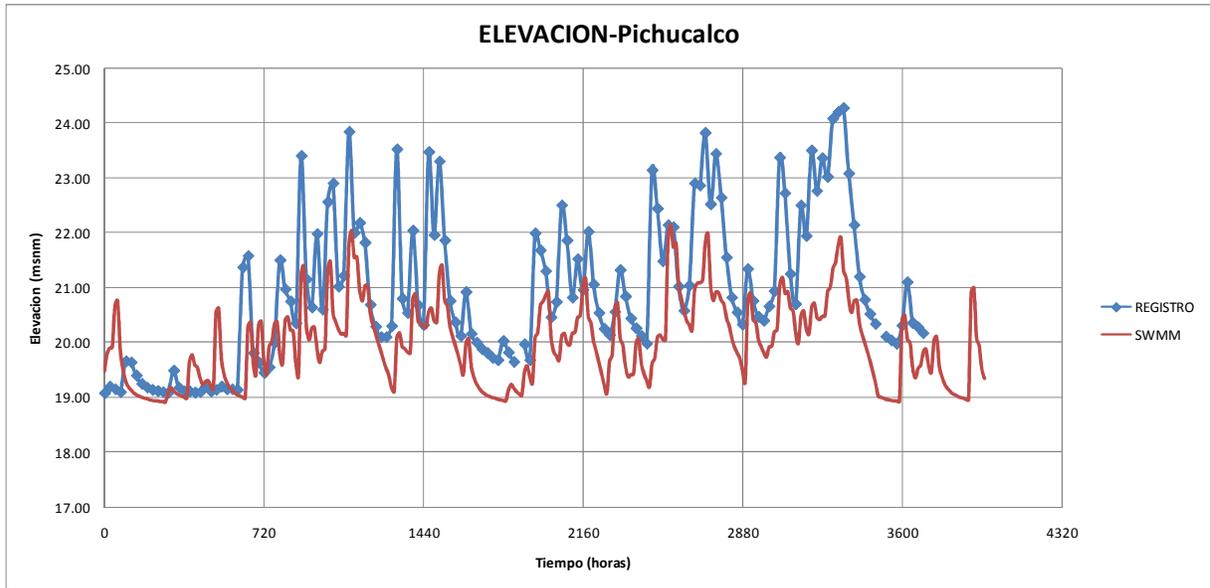
**Figura 4.17 Resultados de la calibración del año 2011**  
**Variable: Elevación Punto de control: EH Puyacatengo**



**Figura 4.18 Resultados de la calibración del año 2011**  
**Variable: Gasto Punto de control: EH Teapa**



**Figura 4.19 Resultados de la calibración del año 2011**  
**Variable: Elevación Punto de control: EH Teapa**



**Figura 4.20 Resultados de la calibración del año 2011**  
**Variable: Elevación Punto de control: EH San Joaquín**

En la Tabla 4.4 se muestran los valores de infiltración por subcuenca con los que se obtuvieron resultados satisfactorios.

**Tabla 4. 4 Combinación de parámetros para calibrar el modelo lluvia-escurrimiento**

Subcuenca	K (mm/hr)	$\Psi$ (mm)	$\Theta$
<i>Almandro</i>	2.0	320	0.475
<i>Puyacatengo</i>	0.1	270	0.475
<i>Teapa</i>	0.2	270	0.475
<i>Pichucalco</i>	0.07	320	0.475

## 4.2 MODELO DE TRÁNSITO DE AVENIDAS

El módulo hidráulico para el tránsito de avenidas que usa el SWMM se basa en un modelo de transporte de Onda Dinámica (Dynamic Wave Routing) el cual resuelve las ecuaciones unidimensionales de Saint Venant.

Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento en las conducciones (ríos) y la de continuidad de los volúmenes en los puntos de interconexión (nudos).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right) = gA(S_0 - S_f)$$

donde

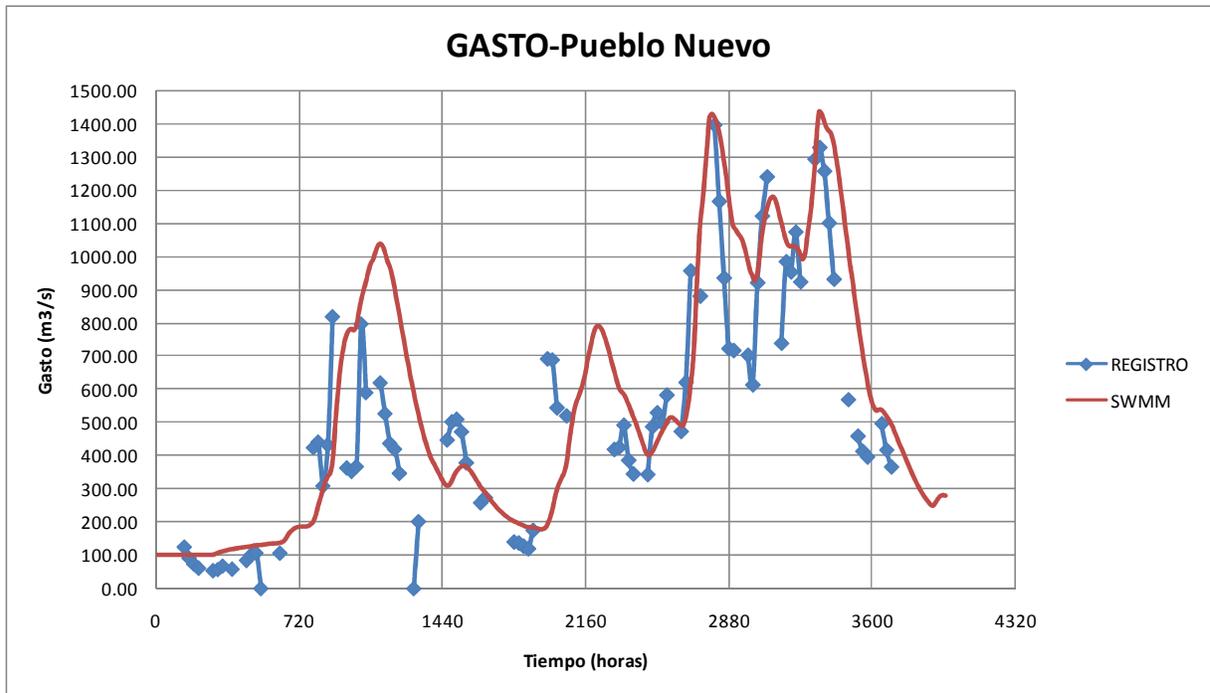
$A$	área mojada en el cauce
$Q$	caudal
$h$	tirante
$S_0$	pendiente del fondo del cauce
$S_f$	pendiente de la línea de energía
$g$	aceleración de la gravedad

El parámetro de calibración en el modelo de tránsito de avenidas es el coeficiente de rugosidad de Manning y de igual manera que en el proceso de calibración del módulo hidrológico, se usa un método de prueba y error, comparando los limnigramas obtenidos como producto del tránsito, con respecto a los registrados en algunas estaciones del sistema.

En el caso del río Carrizal se utilizó el registro de caudales en la estación hidrométrica González en el periodo de estudio. En este caso el caudal es constante debido a que existe una estructura de control mediante compuertas ubicada a 30 km aguas arriba de la estación que se conoce como *El Macayo*.

El resultado de los tránsitos de avenidas en cada cauce se muestran en las Figuras 4.21 a 4.24, en donde se escogieron secciones de control correspondientes a las estaciones hidrométricas Pueblo Nuevo y Porvenir ubicadas aguas abajo del sistema. Los hidrogramas obtenidos en la etapa anterior son las condiciones de frontera aguas arriba en el modelo de tránsito de avenidas en cauces.

Se observa en algunas de las gráficas que existen zonas donde el ajuste no es satisfactorio, una causa probable es el efecto de la lluvia en cuenca propia en la zona de planicie, situación que no se considero en este trabajo.



**Figura 4.21 Hidrograma en la estación Pueblo Nuevo**

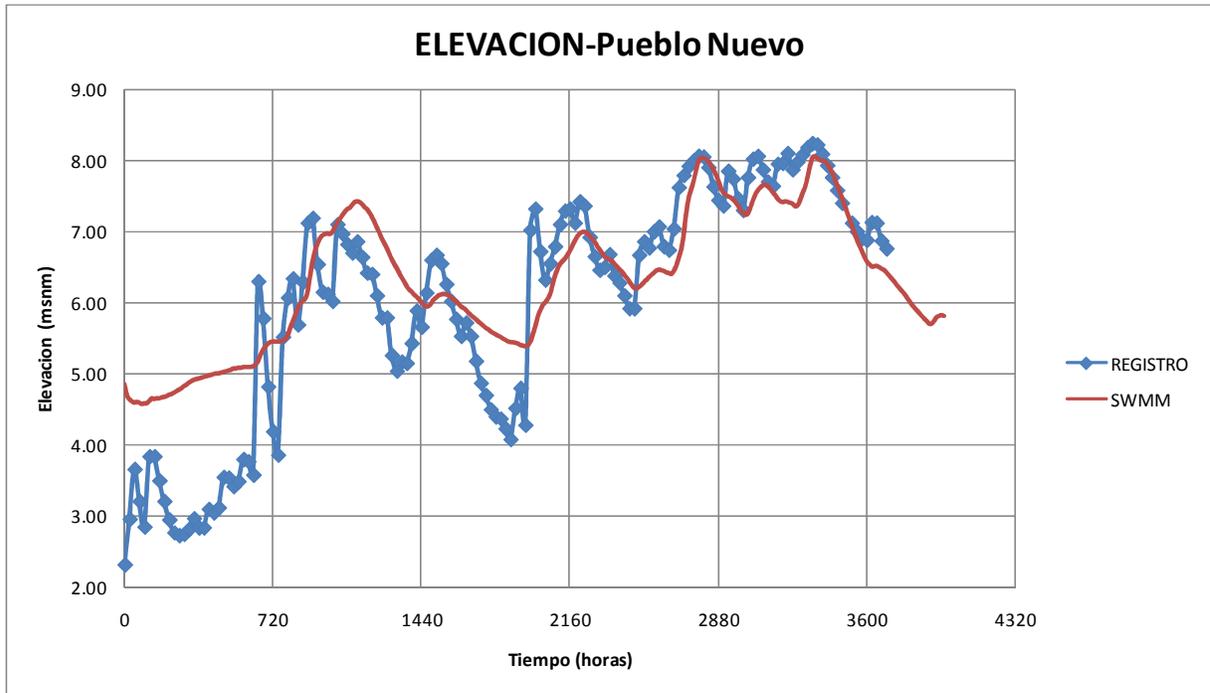


Figura 4.22 Limnigrama en la estación Pueblo Nuevo

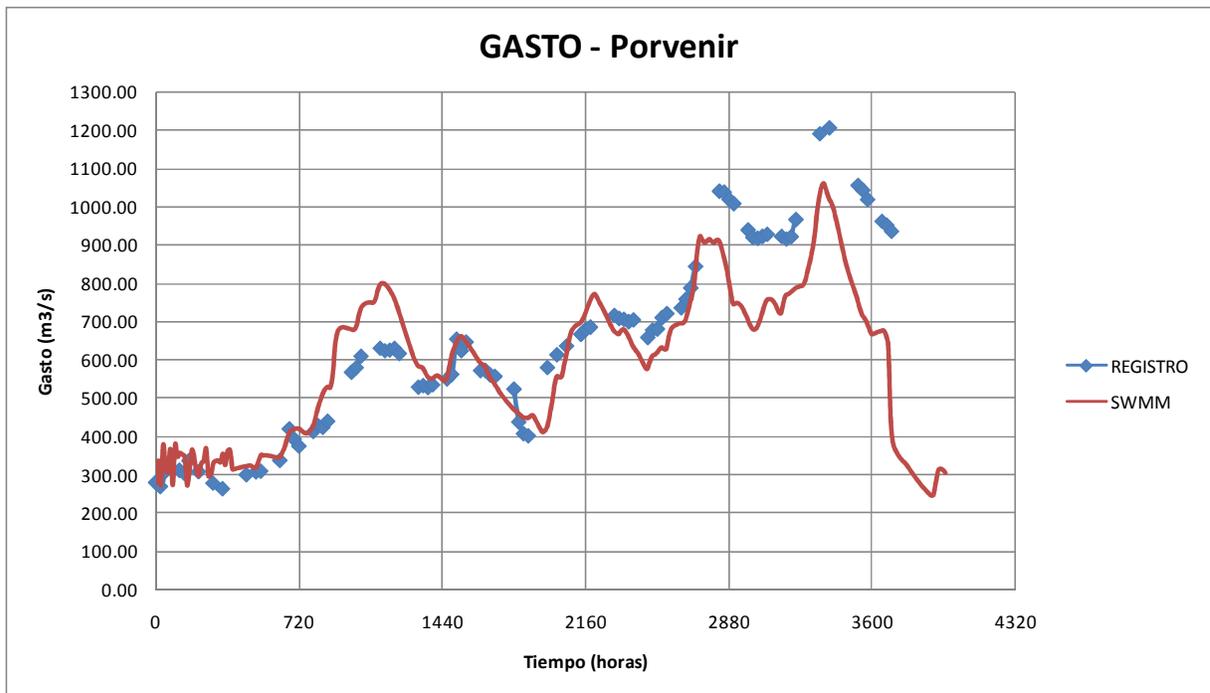
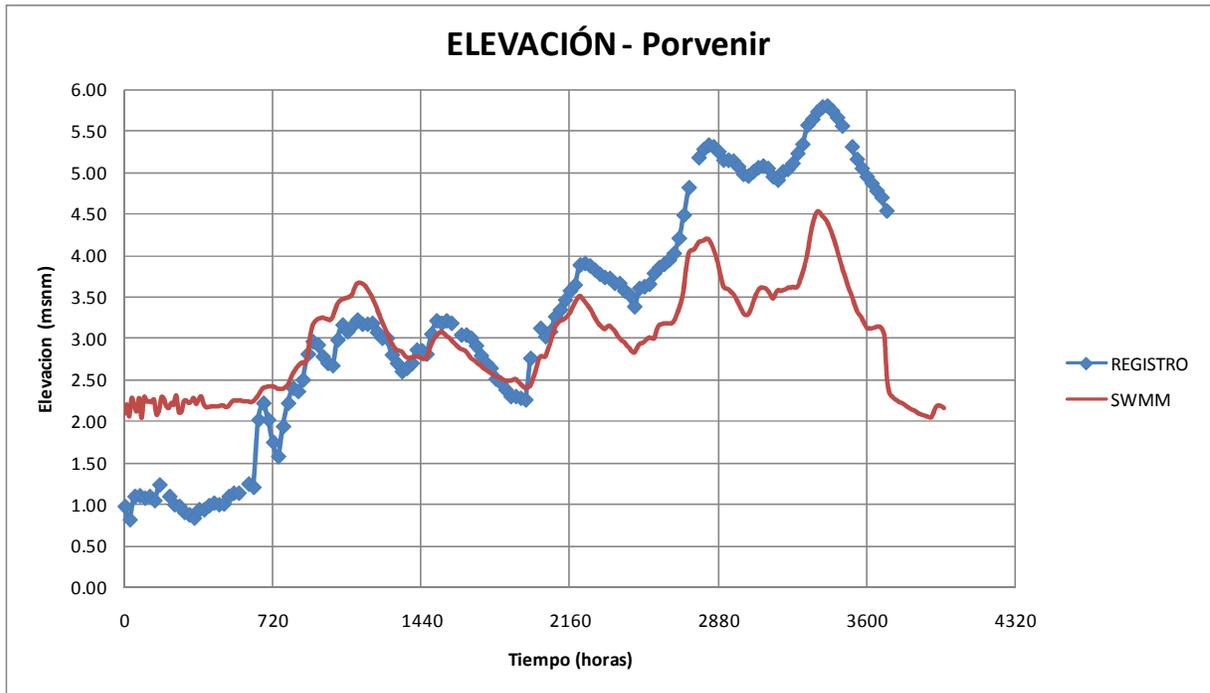


Figura 4.23 Hidrograma en la estación Porvenir



**Figura 4.24 Limnigrama en la estación Porvenir**

Con base en los resultados obtenidos se determinó que el valor del coeficiente de rugosidad de Manning para el caso de los ríos que conforman el sistema *La Sierra* se ubica entre 0.030 y 0.035.

## **CAPÍTULO 5 PRONÓSTICO HIDRÁULICO**

El pronóstico hidráulico es la parte fundamental del sistema de alerta. El objetivo de esta componente es anticipar el comportamiento hidráulico del sistema fluvial calculando el valor esperado de gastos y niveles de agua en sitios determinados tras la ocurrencia de un evento hidrometeorológico potencialmente peligroso para una zona ubicada aguas abajo de donde se presenta la lluvia.

Una vez que ocurre la lluvia, el escurrimiento que provoca se desplaza hacia las partes bajas de la cuenca con una velocidad de traslado que depende de la geomorfología de los cauces. En pendientes suaves, este escurrimiento suele ser lento de tal modo que transcurren varias horas antes de que el pico de las avenidas llegue a las partes extremas de las cuencas.

En las subcuencas objeto de este trabajo, se estima que el tiempo de traslado de las avenidas varía entre 10 a 14 horas a partir de la ocurrencia de la lluvia. Por su parte, el cálculo hidráulico se realiza en menos de una hora, por lo que esta diferencia de tiempo constituye la ventaja del pronóstico ya que advierte de un suceso anticipándose a los hechos y dando un tiempo valioso a las autoridades de protección civil para ejecutar las acciones del plan elaborado con ese propósito.

Con el Hidroestimador operando en forma continua y obtenida la calibración de los modelos hidrológico e hidráulico, fue posible aplicar esta herramienta para representar, en forma diaria durante 2012, el escurrimiento en el sistema fluvial de los ríos de La Sierra provocado por las lluvias registradas en ese año y pronosticar en forma diaria los niveles y caudales en sitios seleccionados de las cuencas bajas. Los niveles y caudales se calcularon a cada hora de los 365 días del año.

### **5.1 TIEMPO DE TRASLADO DE LAS AVENIDAS**

Como ya se mencionó, un aspecto importante para fines de alerta, es el tiempo de antelación con que se puede disponer de información hidráulica del sistema una vez que se presenta una tormenta. Este tiempo está directamente relacionado con el tiempo de concentración de la lluvia y el tiempo de traslado de la avenida.

El tiempo de concentración, por definición, es el tiempo que el agua producto de una tormenta tarda en recorrer la distancia entre el punto más alejado de la cuenca y la salida de ésta. Por su parte, el tiempo de traslado, será el tiempo en que una avenida recorre un cauce entre dos secciones determinadas. Para fines de este trabajo, éstas secciones corresponden a las estaciones hidrométricas ubicadas a la salida de las subcuencas (condición de frontera aguas arriba en el cauce correspondiente) y las estaciones hidrométricas aguas abajo.

En las secciones aguas abajo interesa conocer las condiciones críticas, es decir, los valores máximos de nivel y caudal que se presentan en un momento dado.

Por ello, se calcularon los tiempos de concentración en las cuatro subcuencas y el tiempo de traslado de la avenida desde la estación hidrométrica Pueblo Nuevo, ubicada en el río de La Sierra, hasta la estación hidrométrica Porvenir, en el río bajo Grijalva.

### **5.1.1 Cálculo del tiempo de concentración**

Una de las ecuaciones más comunes para el cálculo del tiempo de concentración es la propuesta por Kirpich (1964), que se escribe como

$$t_c = 0.000325 * \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

donde

L, longitud del cauce principal, en m

S, pendiente media del cauce, adimensional

El tiempo de concentración obtenido esta en h.

Las características de cada subcuenca y el cálculo del tiempo de concentración para cada una se condensan en la Tabla 5.1

**Tabla 5.1 Tiempos de concentración por subcuenca por el método de Kirpich**

SUBCUENCA	AREA	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL		PENDIENTE MEDIA	VELOCIDAD MEDIA	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN
	<i>km<sup>2</sup></i>	<i>km</i>	<i>m</i>	<i>m/m</i>	<i>m/s</i>	<i>tc -Kirpich (horas)</i>
Almandro	3,172.33	134.10	134,100.00	0.021	0.9	12.8
Puyacatengo	121.50	25.52	25,520.00	0.025	0.9	3.3
Teapa	420.23	56.85	56,850.00	0.042	1.2	5.0
Pichucalco	401.06	54.18	54,180.00	0.019	0.6	6.6

Por su parte, los tiempos de traslado se obtuvieron a partir de los resultados del modelo de tránsito de avenidas identificando los tiempos en que se presentaban los máximos en las secciones de control aguas abajo una vez que se iniciaba el proceso de cálculo. En la Tabla 5.2 se muestran los horarios en que se inicia el proceso de cálculo y el tiempo en que se presentan las condiciones hidráulicas máximas.

**Tabla 5.2 Tiempos de traslado de las avenidas**

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CONVENCIONAL	TIEMPO DE TRASLADO		
	<i>horas</i>	<i>lluvia 16:00 a 19:00 hrs</i>	<i>lluvia 20:00 a 15:00 hrs</i>
Porvenir	11	18:00:00 p.m.	13:00:00 p.m.
Pueblo Nuevo	9	04:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.

La Tabla 5.3 muestra el resumen de la suma de tiempos de concentración mas el tiempo de traslado de los picos de las avenidas, con lo que se obtiene finalmente el tiempo de antelación con que se puede realizar el pronóstico hidráulico en el sistema fluvial.

Si fuera necesario realizar un pronóstico en otras secciones del sistema, sería necesario repetir este proceso para determinar el tiempo de traslado desde el ingreso del hidrograma de escurrimiento al cauce hasta la sección seleccionada.

**Tabla 5.3 Resumen de tiempos de antelación para pronóstico por puntos de referencia**

SUBCUENCA	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN, h	TIEMPO DE TRASLADO, h
Almandro	13.0	---
Puyacatengo	4.0	---
Teapa	5.0	---
Pichucalco	7.0	---
Porvenir	---	11
Pueblo Nuevo	---	9

## 5.2 EJEMPLO DE APLICACIÓN

El año 2012, fue un año con lluvias por abajo fue el huracán Ernesto (Figura 5.1) que alcanzó la categoría 2, afectando a la República Mexicana entre el 4 y el 10 de agosto de 2012.



**Figura 5.1 Imagen de satélite del Huracán Ernesto . FUENTE: Wikipedia**

La trayectoria que siguió este fenómeno fue atravesando la península de Yucatán y siguiendo por el Golfo pasando por encima del estado de Tabasco en su región nororiente. La Figura 5.2 muestra el seguimiento realizado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA).



**Figura 5.2** Trayectoria del huracán Ernesto -2012

Tanto los análisis hidráulicos para obtener los hidrogramas de escurrimiento como el tránsito de avenidas se ejecutaron a cada hora entre el 04 y el 10 agosto del año 2012.

### **5.2.1 Descripción de las lluvias generadas por el huracán Ernesto**

Como ya se mencionó, 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.

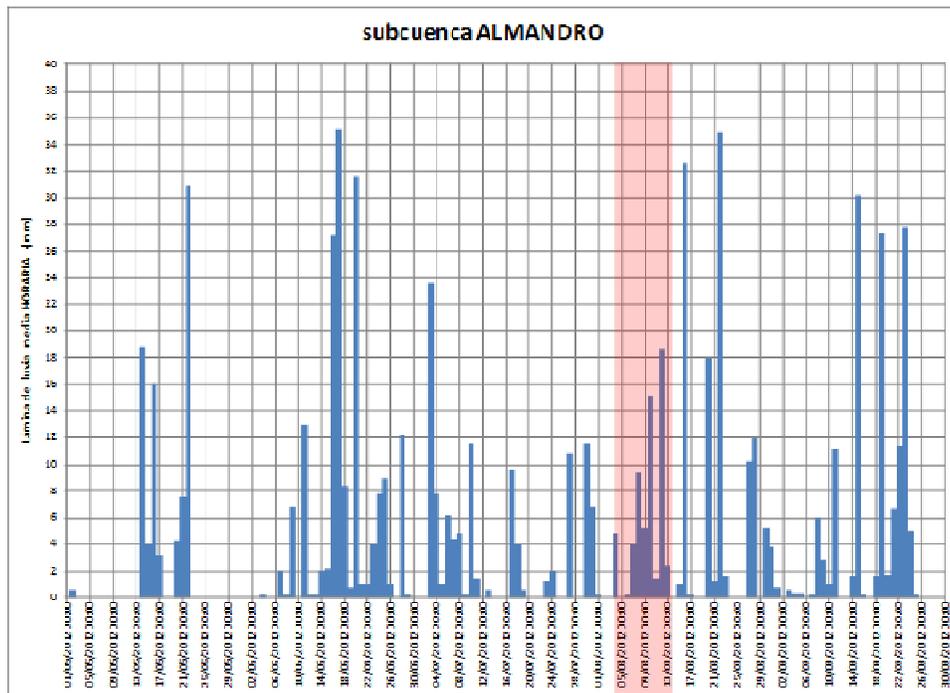
En el Anexo B se incluyen las láminas de lluvia calculadas por el Hidroestimador en el periodo de mayo a septiembre del 2012 en cada una de las celdas que conforman el sistema de referencia.

A partir de esta información se calcula la lluvia media en la cuenca mediante el cociente de la suma de las lluvias estimadas por cada celda contenidas en el área de interés (subcuenca) entre el número de celdas.

### 5.2.1.1 Láminas medias de lluvia en cada subcuenca en estudio

Las láminas medias de lluvia estimadas por el Hidroestimador se calcularon con intervalos de una hora, y se muestran en las Figuras 5.3 a 5.6.

El recuadro en rojo indica el periodo donde ocurrió el huracán Ernesto generando lluvias sobre el estado de Tabasco.



**Figura 5.3 Lluvias medias horarias (periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012) subcuenca ALMANDRO**

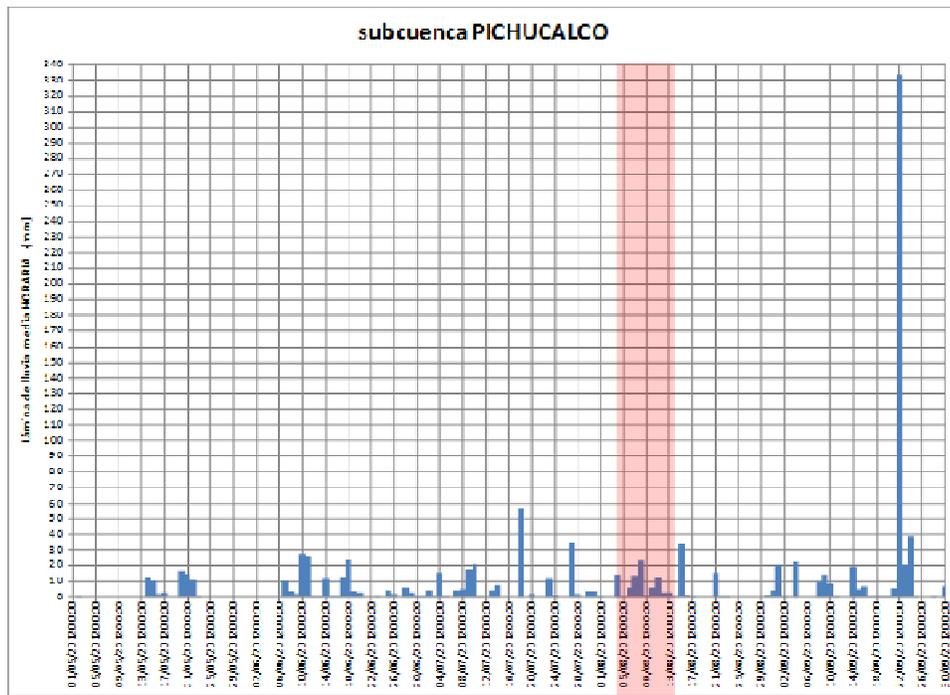


Figura 5.4 Lluvias medias horarias(periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012) subcuenca PICHUCALCO

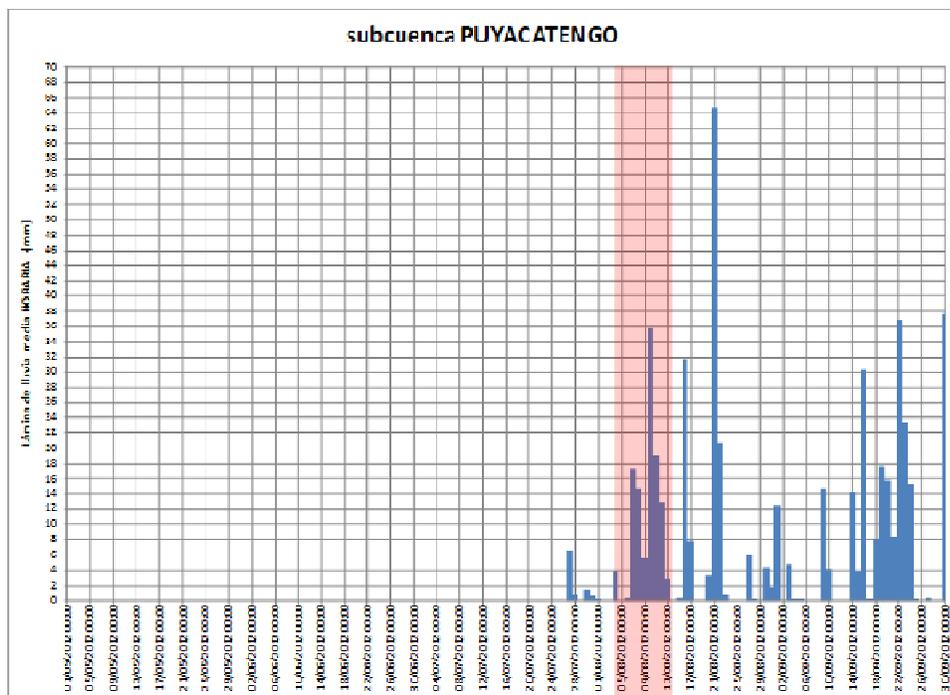
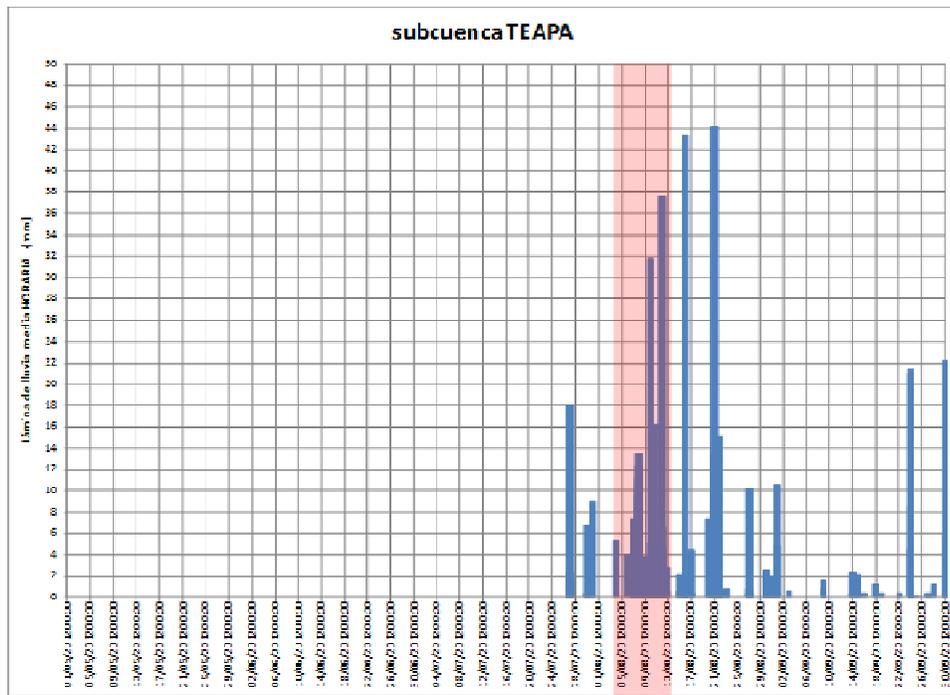
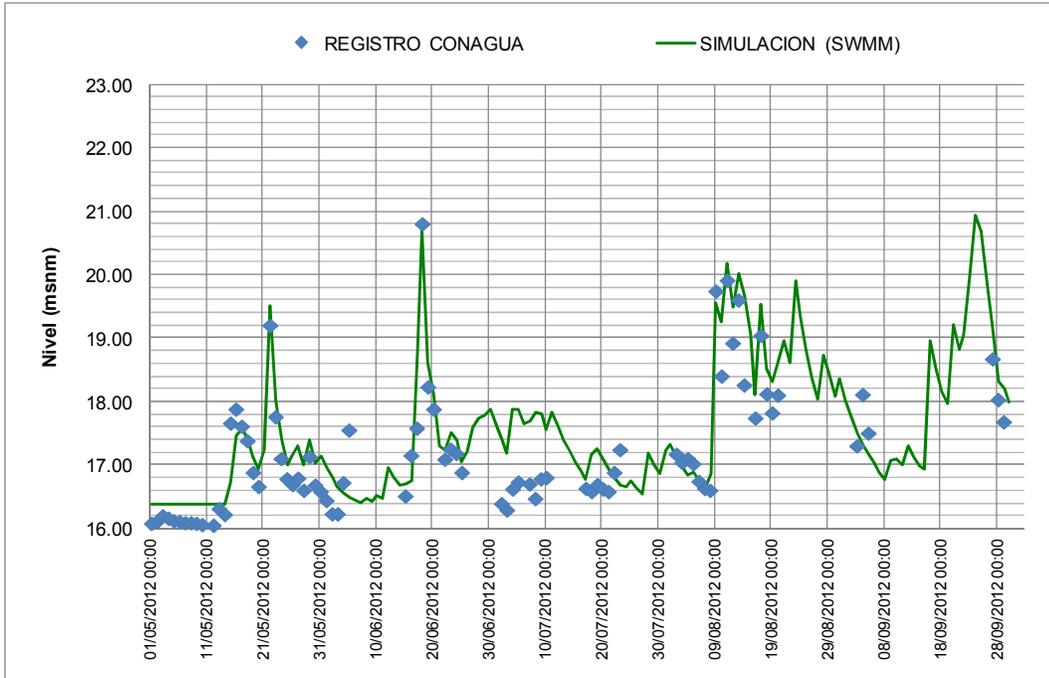


Figura 5.5 Lluvias medias horarias (periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012) subcuenca PUYACATENGO

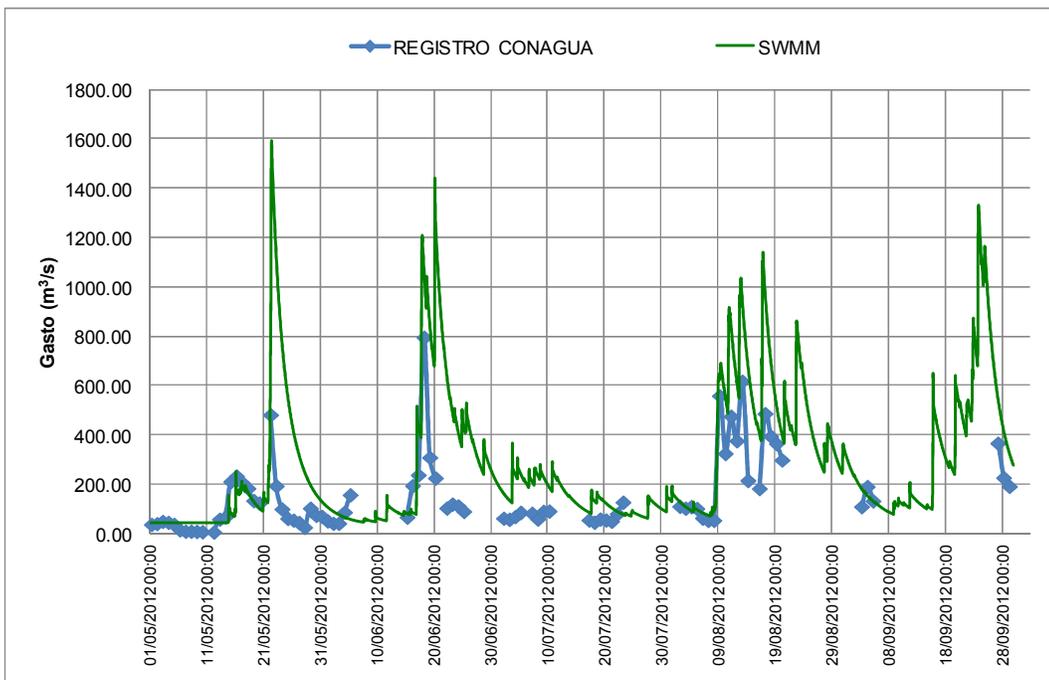


**Figura 5.6 Lluvias medias horarias (periodo 01 de mayo al 30 de septiembre de 2012)  
 subcuenca TEAPA**

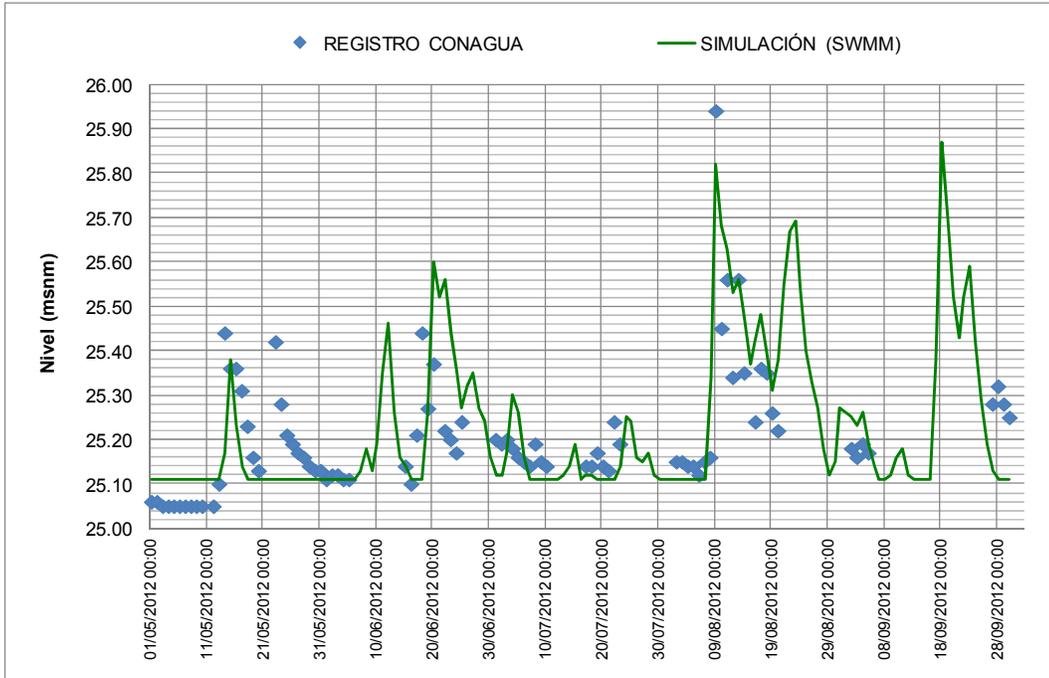
El modelo SWMM se alimenta de información de las lluvias medias y con base en las características de las subcuencas (ver capítulo 3), se obtienen los limnigramas e hidrogramas de escurrimiento a la salida de cada subcuenca que están dibujados en las Figuras 5.7 a 5.14.



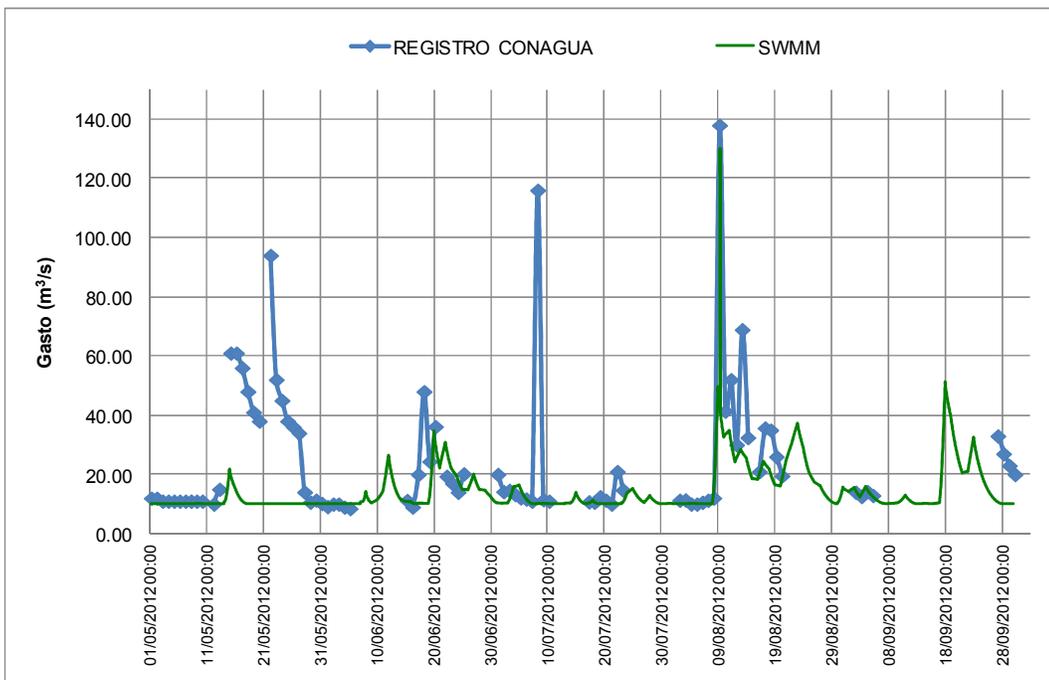
**Figura 5.7 Limnigrama medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica TAPIJULAPA**



**Figura 5.8 Hidrograma medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica TAPIJULAPA**



**Figura 5.9 Limnigrama medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica PUYACATENGO**



**Figura 5.10 Hidrograma medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica PUYACATENGO**

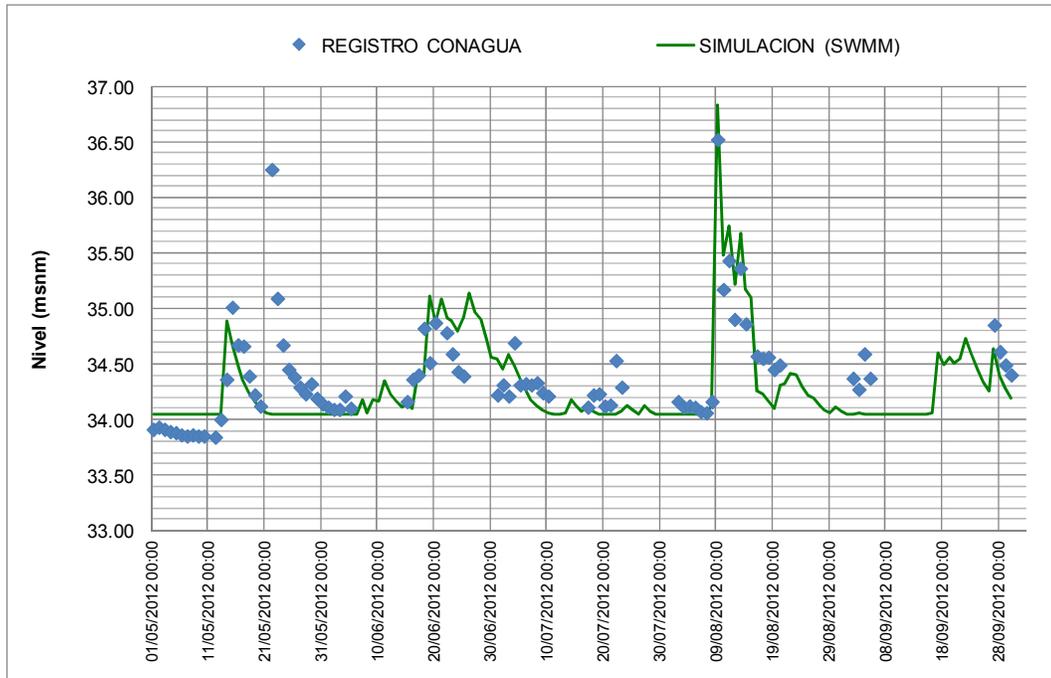


Figura 5.11 Limnigrama medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica TEAPA

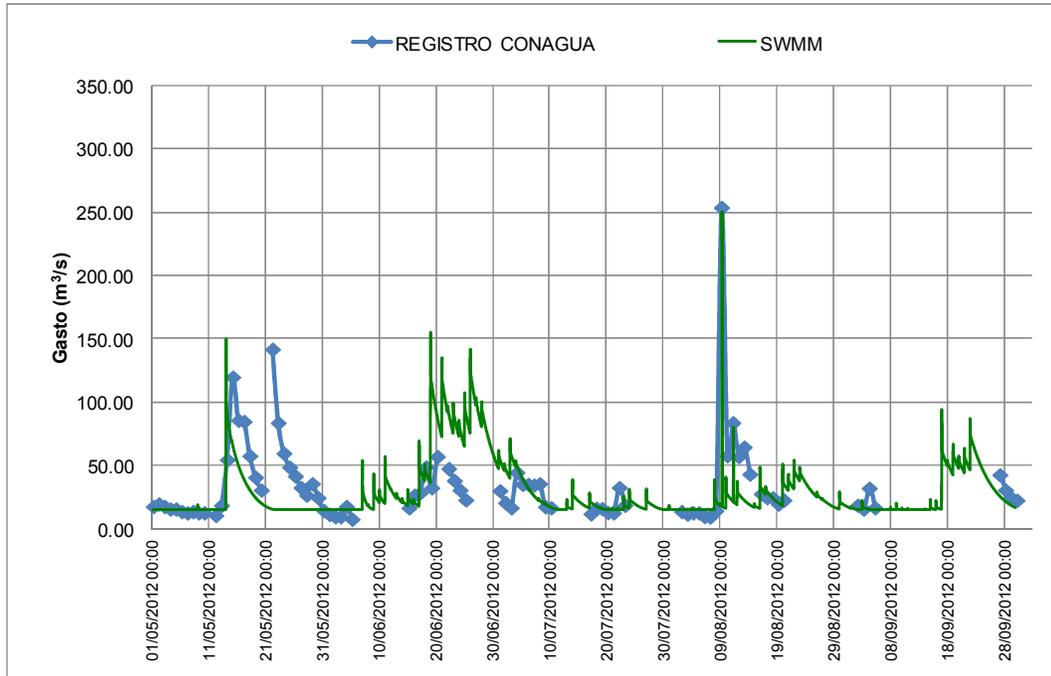
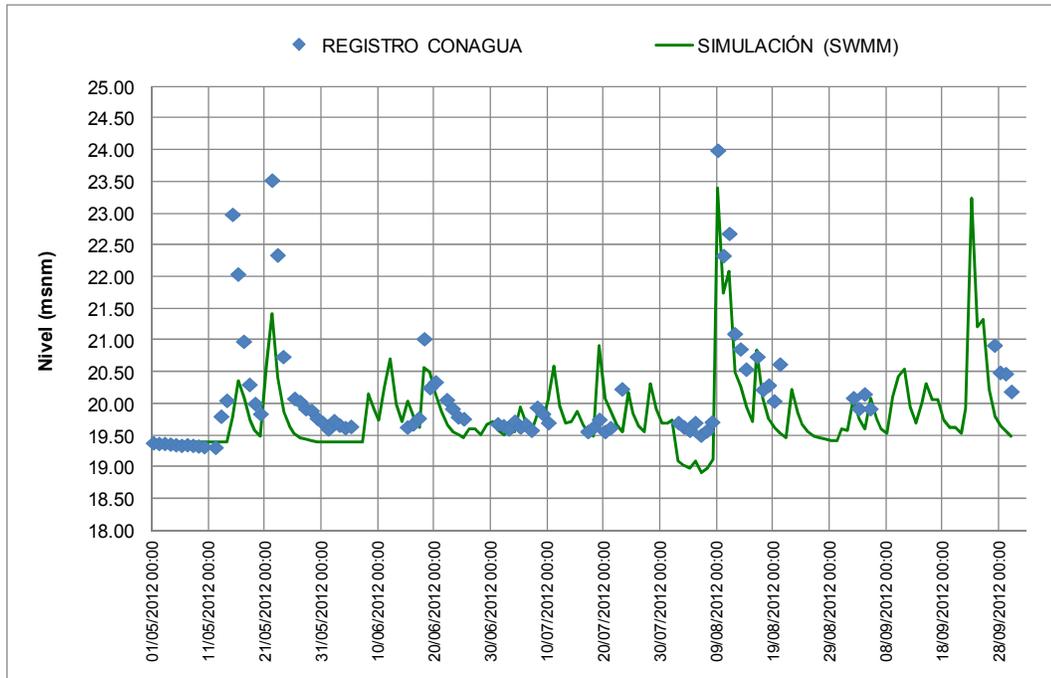
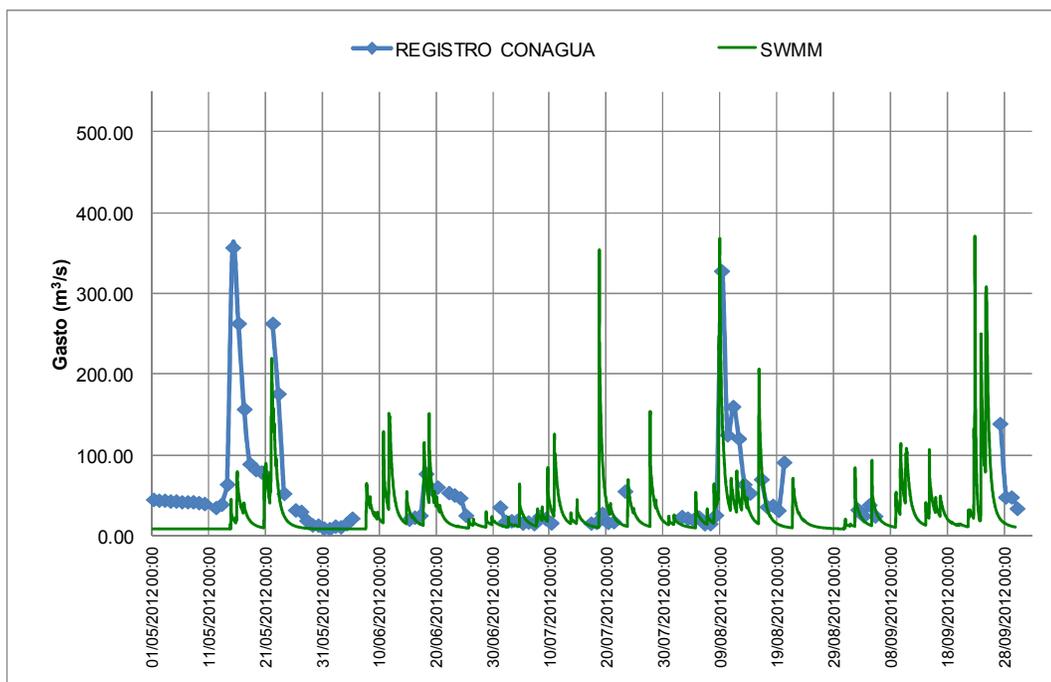


Figura 5.12 Hidrograma medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica TEAPA



**Figura 5.13** Limnigrama medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica PICHUCALCO



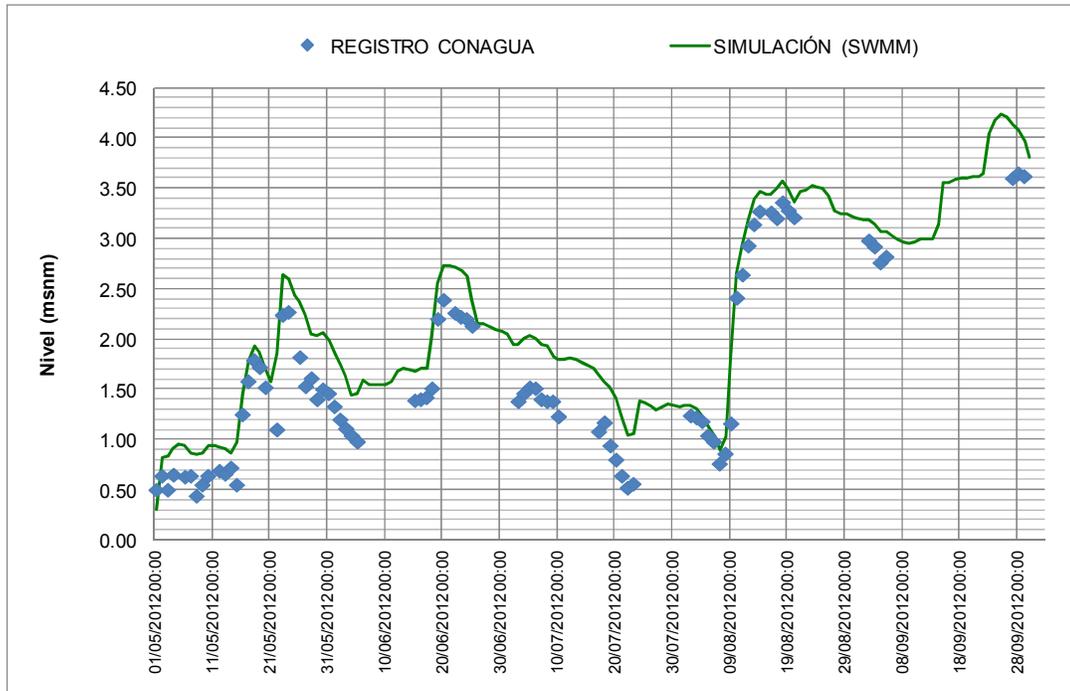
**Figura 5.14** Hidrograma medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica PICHUCALCO

En estos hidrogramas podemos observar que la subcuenca que mayor volumen de escurrimiento generó por efecto de la precipitación que descargó el huracán Ernesto es la subcuenca de Almandro. Asimismo, en cuanto al gasto pico de mayor magnitud la subcuenca Almandro es la que representa el valor máximo.

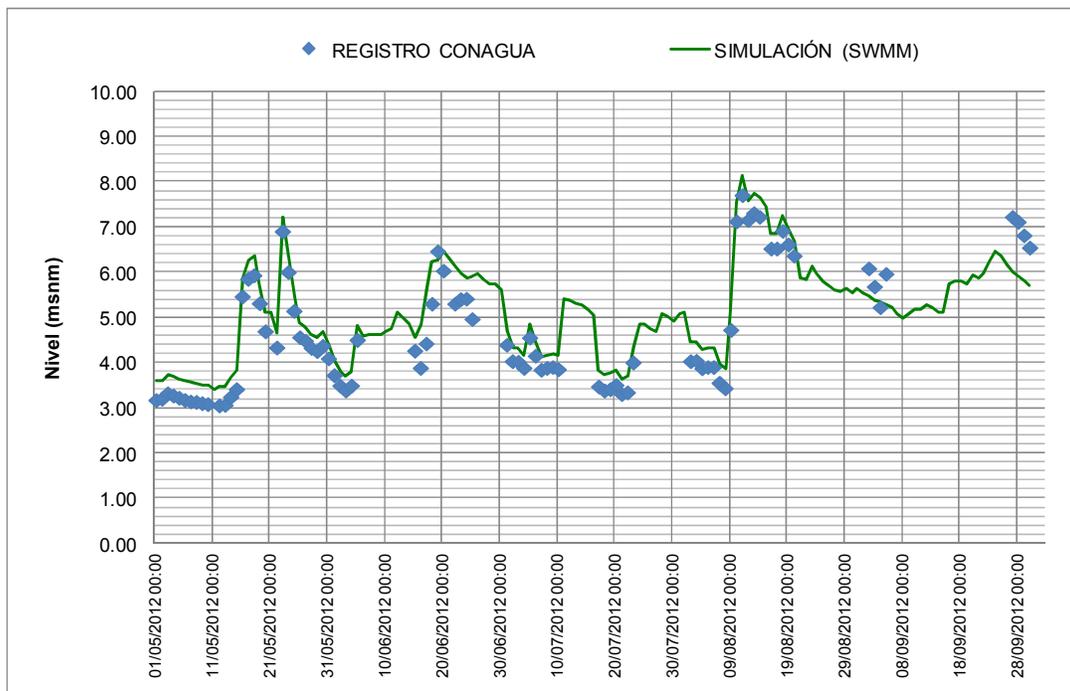
Una vez obtenidos los hidrogramas de escurrimiento con el módulo hidrológico del modelo SWMM, se ingresan como condiciones superiores de frontera en el módulo hidráulico y se procede al cálculo del tránsito de avenidas.

Cabe mencionar que el estado inicial del sistema se representa considerando que el suelo no se encuentra saturado y el nivel de las lagunas está a su mínima capacidad, esto debido a que las simulaciones se realizaron desde el mes de mayo, época en la cual aun no inicia la temporada normal de lluvias.

Mediante la aplicación del modelo se obtienen la magnitud de niveles y tirantes y su variación en el tiempo en las secciones donde se ubican las estaciones hidrométricas Porvenir y Pueblo Nuevo, (Figuras 5.15 y 5.16) ubicadas en la parte baja del sistema aguas abajo de la salida de las subcuencas donde se presentó la precipitación.



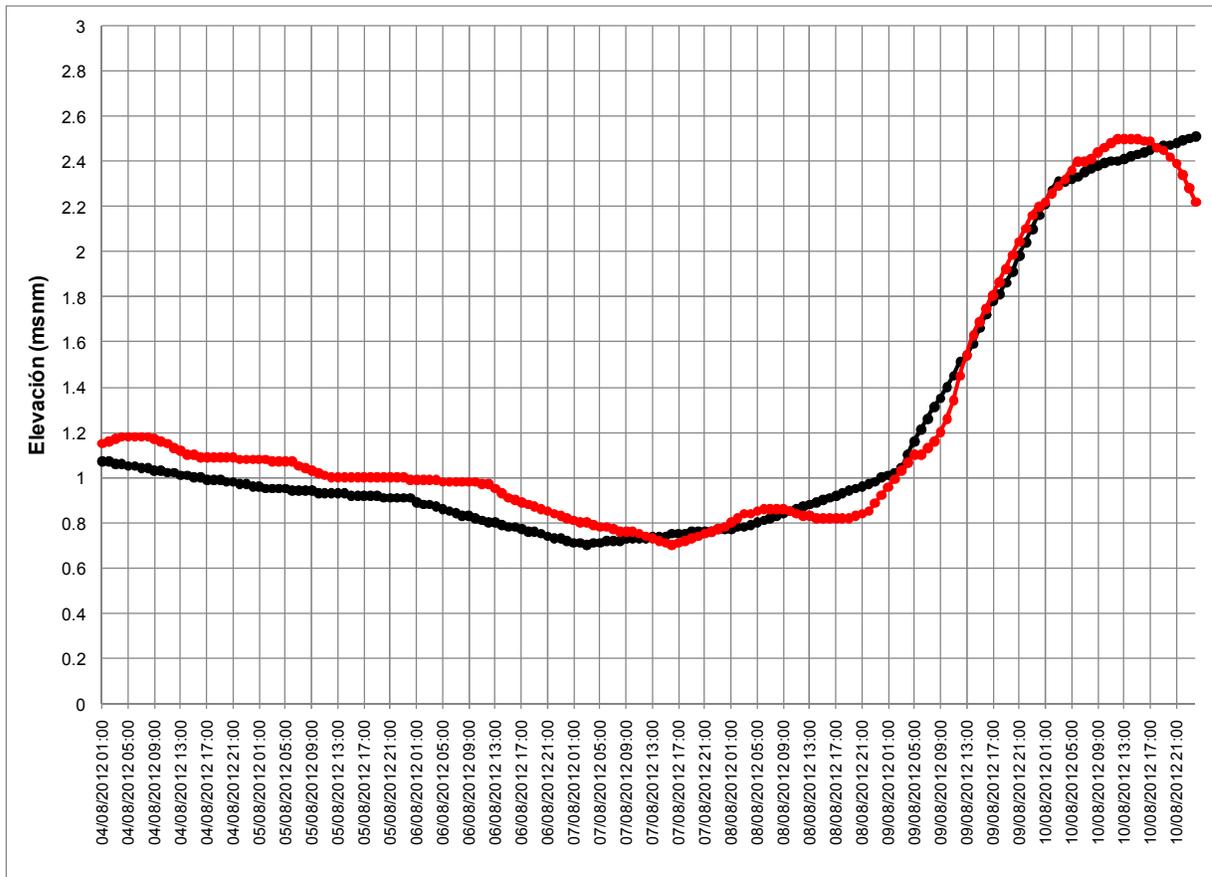
**Figura 5.15 Hidrograma medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica PORVENIR**



**Figura 5.16 Hidrograma medido vs calculado (SWMM) -Estación Hidrométrica PUEBLO NUEVO**

Como se puede observar, los picos de la avenida ocurrieron el día 09 de agosto 24 horas después de que se inicia la tormenta en las cuencas altas. Ello representa un tiempo de antelación en el pronóstico de la avenida de 12 horas considerando el tiempo de concentración y traslado de la avenida.

Al dibujar la evolución de niveles en la estación Porvenir ubicada 89 km aguas abajo de las subcuencas (Figura 5.17), y comparar el registro de los niveles alcanzados por el agua a través del tiempo contra los niveles de agua obtenidos con el modelo de simulación del funcionamiento del sistema, se observa una similitud aceptable en los valores.



**Figura 5.17 Niveles en la Estación Hidrométrica Porvenir - comparación Registro vs Simulación SWMM (intervalo 1 hrs)**

La Figura 5.18 representa la relación entre los valores pronosticados y los medidos. Como se puede observar para este caso se tiene una aproximación aceptable con diferencias menores al 10% entre ambas magnitudes.

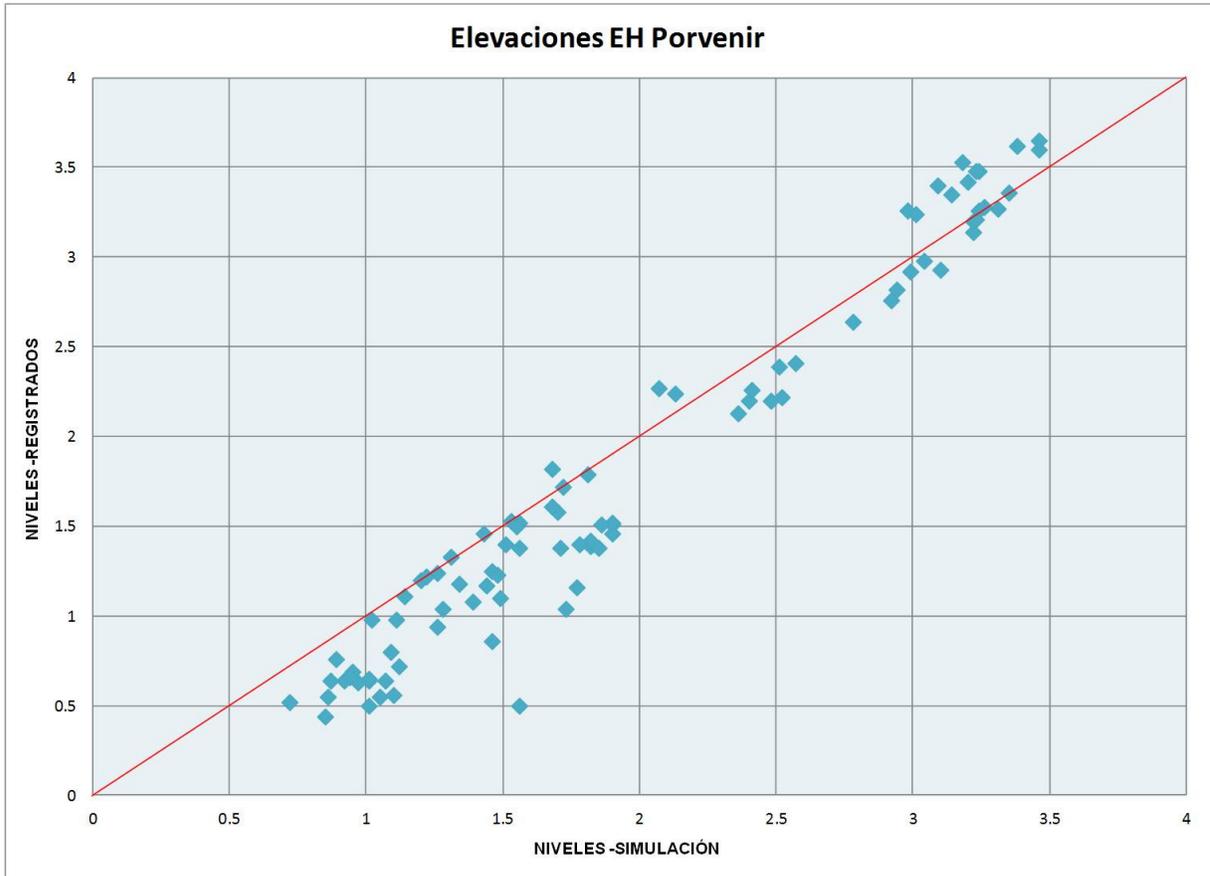


Figura 5.18 Relación entre los valores pronosticados y los medidos.

### 5.3 SISTEMA DE AVISOS

Hasta aquí, se ha realizado la parte de ingeniería y simulación del funcionamiento del sistema mediante modelos matemáticos de un evento en particular, en este caso el huracán Ernesto en el periodo del 4 al 10 de agosto de 2012. Durante este periodo se elaboró un formato de registro de la información pronosticada y la información medida por la CONAGUA. Este formato (Figura 5.19) es una propuesta que puede ser adoptada por los responsables del monitoreo climatológico para informar al área de protección civil sobre la evolución de un evento y las posibles consecuencias del escurrimiento que produce una lluvia determinada.

<b>PRONÓSTICO DE NIVELES "Sistema de los rios de la Sierra"</b>																									
PRONÓSTICO PARA LA HORA																									
	<i>día ANTERIOR</i>				<i>día ACTUAL</i>												<i>día SIGUIENTE</i>						<i>lluvia ACUMULADA (mm)</i>		
	01/10/2012				02/10/2012												03/10/2012								
HORARIO	16:00		20:00		00:00		04:00		08:00		12:00		16:00		20:00		00:00		04:00		08:00		<i>lluvia 16:00 a 19:00 hrs</i>	<i>lluvia 20:00 a 15:00 hrs</i>	
<i>Estación Hidrométrica</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>			
TAPIJULAPA	16.12		16.12		16.12		16.12		16.12	17.59	16.12		16.12		16.12		16.12		16.12	18	16.12		43.20	64.80	
PUYACATENGO	25.2		25.19		25.19		25.19		25.18	25.48	25.18		25.18		25.18		25.17		25.17	25.44	25.17		39.93	59.89	
TEAPA	34.17		34.17		34.16		34.16		34.16	34.59	34.15		34.15		34.15		34.15		34.14	34.83	34.14		92.63	138.95	
SAN JOAQUÍN (PICHUCALCO)	19.6		19.59		19.59		19.58		19.58	20.61	19.57		19.57		19.57		19.56		19.56	20.62	19.55		95.16	142.74	
PUEBLO NUEVO	4.45		4.44		4.43		4.42		4.41	6.49	4.4		4.39		4.38		4.38		4.37	6.9	4.37		<b>P</b>	<b>PRONÓSTICO</b>	
PORVENIR	2.97		2.96		2.95		2.99		3.01	3.24	3.05		3.09		3.3		3.48		3.21	3.48	3.35		<b>M</b>	<b>MEDICIÓN (BOLETIN)</b>	

**Figura 5.19 Boletín interno de Pronóstico de niveles "Sistema de los ríos de La Sierra"**

El Boletín se reporta dos veces al día, el primero con la lluvia acumulada de las 16:00 a 19:00 horas y el segundo con la lluvia acumulada de 20:00 a 15:00 horas. Los niveles obtenidos de las simulaciones se reportan en intervalos de 4 horas y son comparados con lo reportado en los Boletines que emite la CONAGUA cada 24 horas. Así mismo, se anota la lluvia acumulada con la que se realizó la simulación.

Parte del proceso de alertamiento consiste en revisar en forma continua dos aspectos que se describen a continuación:

*Retroalimentación.* En primer lugar observar y registrar las diferencias entre el nivel de agua medido en las estaciones ubicadas en la zona baja del sistema contra el pronosticado con anterioridad. Esto permitirá identificar errores para evaluar la eficacia del pronóstico y retroalimentar el procedimiento con el fin mejorar el cálculo para reducir paulatinamente el error.

*Monitoreo.* Lo segundo y más importante, observar la evolución del incremento de niveles en los ríos conforme transita la avenida para advertir oportunamente la proximidad de una condición de peligro de inundación en el sistema conociendo previamente los umbrales de prevención, alerta y emergencia que se haya pre-establecido en los puntos de control.

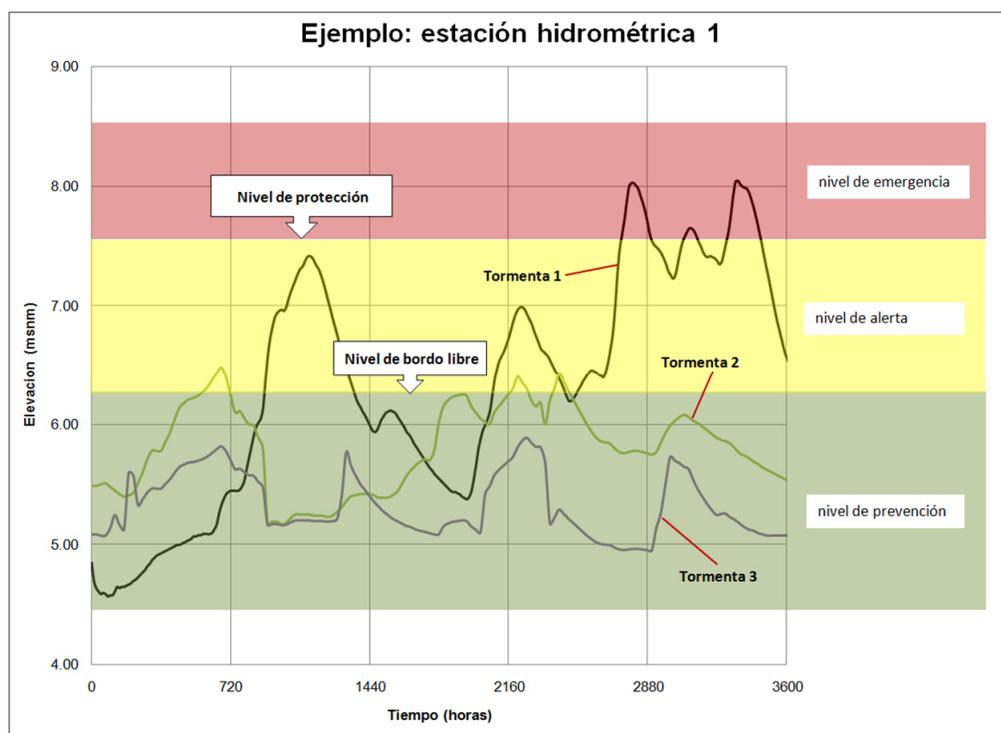
Dado que la estimación de la lluvia se realiza en tiempo real a intervalos de una hora, y el cálculo hidráulico consume sólo algunos minutos, es posible anticipar la evolución del comportamiento hidráulico de los cauces con al menos 12 horas de antelación. Éste es el tiempo que dispone el encargado de la protección civil para emitir avisos o ejecutar acciones del protocolo para gestión de riesgo por inundaciones.

En la Figura 5.20, se muestra una representación de escalas tipo semáforo en una sección transversal de un cauce donde se establecen los umbrales de prevención, alerta y emergencia. En esta Figura se presenta una propuesta general de escenarios que podrían observarse en una estación hidrométrica cualquiera del sistema de acuerdo con tres limnigramas obtenidos con el modelo lluvia-escurrimiento. En estos escenarios, la *tormenta 1* ha producido un escurrimiento con niveles de agua tales que ya es inminente que será rebasado el nivel de protección por lo que el operador debe emitir un aviso de emergencia y se deben activar los planes de atención de emergencia elaborados por protección civil de la entidad. El tiempo disponible para actuar es el tiempo de traslado de esa tormenta.

Por otro lado, la *tormenta 2* generó un escurrimiento en donde el nivel máximo del agua no ha rebasado el nivel de protección pero alcanzó el bordo libre, por lo que el operador del sistema emite un mensaje de alerta informando a los encargados de protección civil sobre un estado inminente de peligro, por lo que se requiere un monitoreo permanente ya que de acuerdo con las condiciones climatológicas o el nivel de drenado del sistema, podría alcanzarse la condición de emergencia en las próximas horas. En este estado el sistema de alerta se mantiene permanentemente en vigilancia del meteoro.

En el tercer caso, la *tormenta 3* produjo niveles que se mantuvieron siempre por abajo del desplazamiento del nivel de libre bordo; así que el operador genera un aviso de prevención y mantiene la vigilancia de la evolución de la tormenta.

En el estudio denominado Plan Hídrico Integral de Tabasco (Acciones complementarias del Plan Hídrico Integral de Tabasco, Capítulo 6, 2012)., se obtuvieron los umbrales en distintos sitios del sistema fluvial Estos valores se presentan en la Tabla 5.4.



**Figura 5.20 Umbrales de prevención, alerta y emergencia en cauces del sistema fluvial**

**Tabla 5.4 Umbrales (m) en las estaciones ubicadas en la cuenca del río de La Sierra y en la ciudad de Villahermosa**

<b>Umbral\Estación</b>	<b>Tapijulapa</b>	<b>Puyacatengo</b>	<b>Teapa</b>	<b>San Joaquín</b>	<b>Pueblo Nuevo</b>	<b>Porvenir</b>
<b>PREVENCIÓN</b>	22.45	28.29	36.73	21.78	5.91	3.68
<b>ALERTA</b>	25.80	30.22	38.33	24.30	7.79	5.38
<b>EMERGENCIA</b>	28.71	31.98	40.35	27.19	8.57	6.80

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante la prevención de los desastres se busca reducir el costo de los daños que generan las inundaciones. La experiencia indica que las inversiones enfocadas a la prevención son mucho menores que los gastos de remediación de un desastre, por lo que el costo de implantar sistemas de alerta en zonas altamente vulnerables a las inundaciones se justifica plenamente. De acuerdo con la Secretaría de Gobernación, entre 2004 y el 2010, se destinaron en México del orden de 59 mil millones de pesos para remediación a través del Fondo Nacional de Desastres Naturales (FONDEN) y poco más de 1,600 millones de pesos en recursos del Fondo Nacional de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN).
- Los sistemas de alerta son más efectivos en las cuencas donde el escurrimiento es lento, ya que se cuenta con mayor antelación para pronosticar situaciones que representan un peligro a la población, sus bienes o la infraestructura presente en la zona que se estudia.
- Con el avance de la tecnología y el desarrollo de sistemas de percepción remota, se ha revolucionado la adquisición de datos útiles en el monitoreo y pronóstico climatológico y básicos para el desarrollo de sistemas de alerta temprana.
- La precisión en la estimación de lluvia por medio de sistemas de monitoreo de fenómenos convectivos como el *Hidroestimador* descrito en este trabajo, depende de una adecuada calibración con base en información que están generando las estaciones hidrométricas y climatológicas terrestres, por ello es fundamental que el sistema de hidrometría funcione en forma eficiente y que se cuente con el mayor número de estaciones posible para cubrir adecuadamente el territorio que se desea monitorear.
- Es recomendable continuar con la calibración del modelo lluvia-escurrimiento revisando los parámetros obtenidos con el modelo matemático, en comparación con las mediciones en el sistema fluvial de un mayor número de tormentas para mejorar la representación de la respuesta hidrológica e hidráulica ante ellos determinando

mejores criterios de selección de la magnitud de los coeficientes y parámetros implícitos en el modelo. También será útil medir los parámetros de permeabilidad para tener una mejor estimación del valor medio que corresponda con al tipo de suelo.

- El tránsito de avenidas arroja resultados que demuestran la necesidad de mejorar la forma en que se modela el funcionamiento de las lagunas y como se considera la lluvia local en la parte baja del sistema. Si bien el funcionamiento de este sistema conjunto (cauces y lagunas) podría analizarse con un modelo bidimensional, esto haría los procesos de cálculo más lentos reduciendo significativamente los tiempos de respuesta de los operadores del Sistema de Alerta Temprana.
- El monitoreo minucioso de los efectos de las lluvias y el tránsito de las mismas en el sistema fluvial que provocó el huracán Ernesto, ha sido útil para poner a prueba el software SWMM, en conjunto con el sistema Hidroestimador. Se concluyó que el nivel de calibración es aceptable y que puede ser una herramienta útil en la toma de decisiones del Sistema de Protección Civil.
- La reducción de la vulnerabilidad ante las inundaciones de los habitantes en la zona de estudio puede reducirse mediante la operación de un Sistema de Alerta Temprana; pero otras acciones tales como la mejor planeación del uso del suelo representan también acciones necesarias en la reducción del riesgo.

## BIBLIOGRAFÍA

CAPELLA, V. A.;(2008) **Modelación de los escurrimientos y niveles provocados por el evento de 2007 y de los correspondientes a las soluciones propuestas en los ríos y lagunas alrededor de Villahermosa**. Instituto de Ingeniería, UNAM. México.

CENAPRED; (1974), **Riesgos Hidrometeorológicos-Región Hidrológica No. 30** SARH.

CEPREDENAC. (1999). SATs. En J. C. León, **Sistemas de Alerta Temprana para emergencias de inundaciones en centroamérica** (pág. 9). Panamá: CEPREDENAC.

CHANG, H. H. (1988) **Fluvial Processes in River Engineering**. John Wiley & Sons.

CHOW, V. T. (1985). **Hidráulica de canales abiertos**. Edita. Diana. México.

CONAGUA. (2011). Plan de emergencia de inundación. **Manual para el control de inundaciones** (pág. 180). México: SEMARNAT.

DIARIO OFICIAL. (2010). **Acuerdo por el que se emiten las reglas generales del Fondo de Desastres Naturales**. México: SHCP.

DIARIO OFICIAL. (2010). **Acuerdo por el que se establecen las reglas de operación del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales**. México: Poder Ejecutivo.

ECHAVEZ, A. G; (1964), **Un método de simulación en computadora electrónica para determinar almacenamientos óptimos de sistemas de riego**. Tesis Profesional, México.

EMA. (2004). Emergency risk management applications guide - Manual 5. En E. M. Australia, **Australian Emergency Manuals Series** (pág. 56). Australia: Emergency Management Australia.

ESCAJADILLO, C. J; (2010) **Proyecto de hidráulica fluvial, protección de infraestructura vial por emergencia - Aplicación a un caso práctico**. Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos de Norteamérica, Distrito de Nueva York.

FUENTES, M. O, DE LUNA, C. F; (2009) **Revisión hidráulica integral, mediante simulación matemática, de las obras principales propuestas en el PHIT** Instituto de Ingeniería, UNAM. México.

FUENTES, M. O. A., ÁVILA L. A. A., DOMÍNGUEZ M.R., CARRILLO S. J.J., DE LUNA C. F., MENDOZA F. J. E., (Octubre 2006), **Hidrogramas de trenes de tormentas empleados en el análisis de Inundaciones por desbordamiento de ríos**, XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

FUENTES, M. O. A., MENDOZA F. J. E., CARRILLO S. J.J., DOMÍNGUEZ M.R., AVILA L. A. A., CRUZ G. J. A, (Octubre 2006), **Análisis de factores de simultaneidad de eventos aplicados a gastos medios máximos diarios**, XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

FUENTES, M. O; (1988) **Introducción a los métodos numéricos aplicados a la hidráulica**. IMTA.

FUENTES, ÓSCAR Y SALAS, MARCO (1996), **Escurrimientos en ríos y volúmenes de inundación por desbordamiento**. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

GÓMEZ, M; (2007) **Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM 5.0**. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.

GTZ. (2002) **Gestión de riesgo, concepto de trabajo**. Eschborn, Alemania.

GTZ. (2004) **Manual El análisis de riesgo – una base para la gestión de riesgo de desastres naturales**. Eschborn, Alemania.

IMTA. (2008). **Informe de las inundaciones de 2007 en el estado de Tabasco. Diagnóstico preeliminar.** México: Senado de la República. Comisión de Asuntos Hidráulicos.

LÓPEZ, A. R; (2005) **Tabasco, baja calidad e inundaciones.** AGUA, Edición Especial. La Jornada. México.

LÓPEZ-JIMÉNEZ, P. A.; (2009) **Environmental hydraulics : theoretical, experimental and computational solutions.** International Workshop on Environmental Hydraulics. Valencia, España.

MARGALEF, R. (1983) **Limnología.** Edita. Omega, Barcelona

MANSILLA, E. (1996). **Prevención y atención de desastres en México.** México: IIE-UNAM.

MARENGO, M. H. (2012). Desastres naturales por inundaciones en el sureste mexicano. **V Congreso Nacional de la Academia de Ingeniería** (pág. 6). México: UNAM.

OMM / UNESCO. (1974). **Glosario hidrológico internacional.** Suiza.

OVERTON, E.D, MEADOWS, E. M; (1976) **Stormwater modeling** Academic. New York.

ROSSMAN, A. L; (2010) **User's manual-Storm Water Management Model Version. 5.0** Water Supply and Water Resources Division. US EPA.

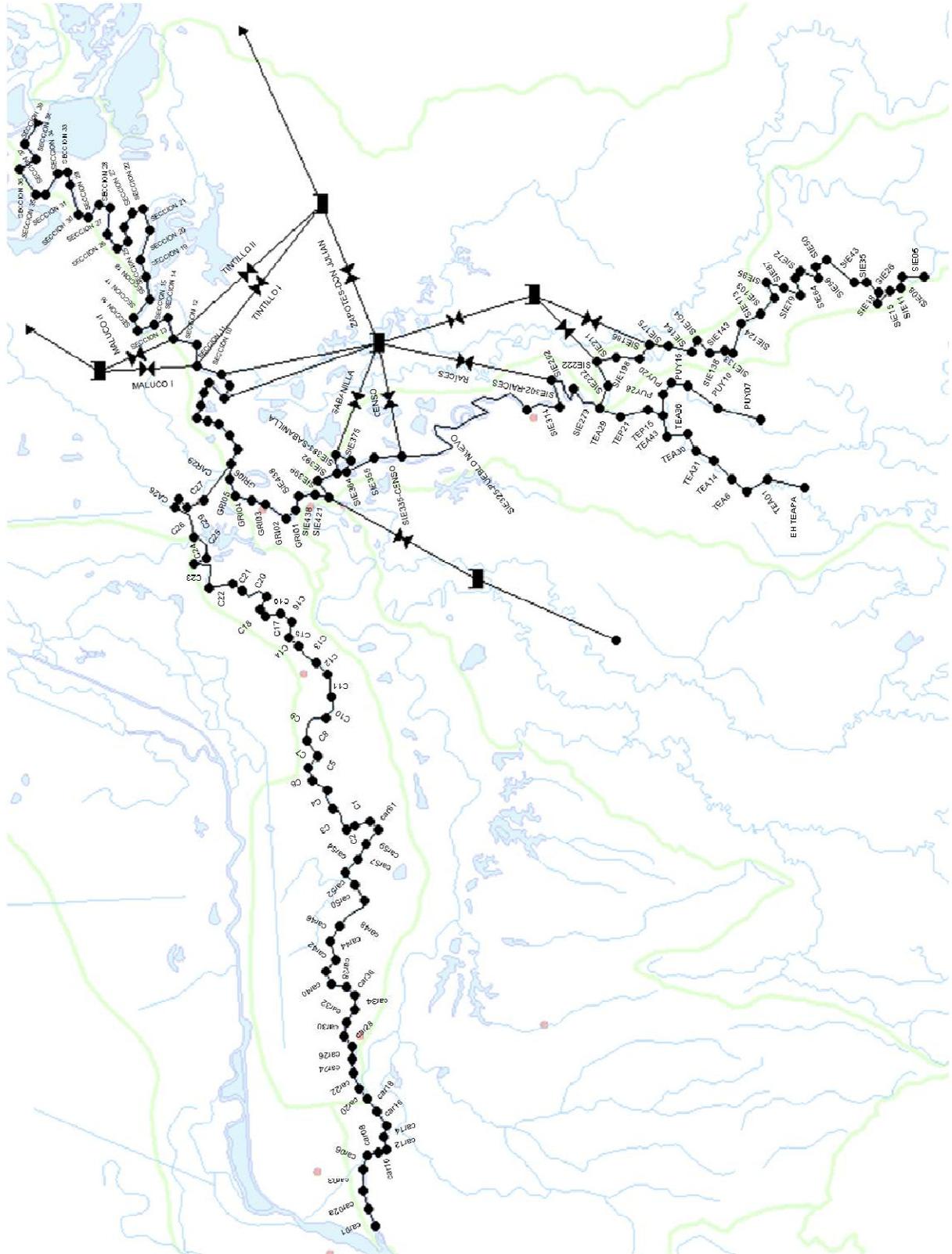
SAINZ DE LOS TERREROS, M.; D. GARCÍA DE JALÓN & M. MAYO (1991): **Canalización y dragado de cauces: Sus efectos y técnicas para la restauración del río y sus riberas.** Edita: Diputación Foral de Alava. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente: 93 páginas y fotos. Vitoria.

SEGOB, CEPAL, CENAPRED; (2008) **Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4.** México.

SINGH, V.P; (1995) ***Computer models of watershed hydrology***. Water Resources, Highlands Ranch, Colorado.

UCL, U. C. (1988). ***EM-DAT***. Recuperado el 14 de Febrero de 2012, de The International Disaster Database: <http://www.emdat.be/>

ANEXO A



## SECCIONES TRANSVERSALES UTILIZADAS EN EL SWMM v5.0 PARA MODELAR EL RÍO CARRIZAL

CAR01	
0	17.172
3.795	19.702
6.795	19.692
10.59	17.172
152.977	17
226.827	14.91
326.051	13.035
341.896	13.333
378.188	12.5
457.977	12
475.781	15
492.092	16.005
688.382	16.882
692.537	19.642
695.537	19.652
699.692	16.882

CAR03	
0	17.66232
0.72	18.14232
3.72	18.13232
4.44	17.66232
160.2264	17.12788
186.67	16.005
201.7694	14.04605
250.4341	13.09779
271.7991	13.57192
320.4637	13.09779
328.7723	12.031
380.9979	15.94256
485.4489	17.83908
485.8239	18.07908
488.8239	18.08908
489.1989	17.83908

CAR02a	
0	18.50552
1.035	19.19552
4.035	19.18552
5.07	18.50552
107.3697	17.93538
188.8237	13.00149
284.9661	13.00149
373.0967	17.00194
441.1976	17.00194
494.6101	15.00171
573.3934	13.13483
604.1056	18.06873
686.8949	18.06873
688.5149	19.13873
691.5149	19.14873
693.1349	18.06873

CAR06	
0	16.06109
2.43	17.68109
5.43	17.67109
7.86	16.06109
16.9778	14
32.7858	12.3866
73.1419	12.7422
93.1578	12.999
124.1804	12.031
137.1708	13.998
165.7235	14.75724
175.219	16.89082
193.0232	16.89082
194.1332	17.62082
197.1332	17.63082
198.2432	16.89082

CAR08	
0	16.89082
0.48	17.21082
3.48	17.20082
3.96	16.89082
20.372	15
37.1944	11.67541
63.802	12
111.622	14.48
163.0104	12.3866
174.272	14.44
185.5624	17.00935
208.752	17.01
231.8532	17.12788

CAR12	
0	16.52
160.1788	16.06109
185.1046	13.69045
211.73	11.84
248.0126	10.84568
265.8168	9.4233
281.247	9.66036
285.66	11.5
291.76	14.32
299.0512	16.06109
299.6362	16.44109
302.6362	16.45109
303.2212	16.06109

CAR10	
0	15.77958
1.935	17.06958
4.935	17.05958
6.87	15.77958
78.0867	15.77958
95.8908	12.81628
137.4338	11.77912
162.6564	12.81628
293.0142	13
351.0837	13.11261
362.9531	16.07591
454.9413	16.07591
456.3513	17.00591
459.3513	17.01591
460.7783	16.0713993
656.6942	15.92

CAR14	
0	14.95
2.22	16.43
5.22	16.42
7.44	14.95
71.97	14.77
171.0327	14.63871
194.7716	13.57192
205.4541	11.08275
241.0624	10.49009
270.78	11.04
298.0357	12.14954
334.14	14.01
343.1395	16.06109
343.6195	16.37109
346.6195	16.38109
347.0995	16.06109

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

CAR16	
0	15.13506
0.855	15.70506
3.855	15.69506
4.71	15.13506
91.4253	14.53
168.9533	14.46832
185.9553	13.28
201.0008	9.40107
223.7011	11.4013
268.2153	11.33
306.4904	11.13461
342.5438	14.33497
389.0053	15.06
389.9053	15.65
392.9053	15.66
393.8053	15.06

CAR18	
0	14.06827
1.74	15.22827
4.74	15.21827
6.48	14.06827
42.5334	12.20139
71.9103	12.20139
106.6284	10.60121
146.1779	10.79
178.7352	10.86791
224.1358	13.93493
295.5579	14
357.667	14.06827
385.7085	16.0685

CAR20	
0	13.79223
1.92	15.07223
4.92	15.06223
6.84	13.79223
170.564	13.40153
226.6471	12.60144
246.6768	10.06782
306.7658	10.60121
373.5314	10.46786
404.2436	8.20094
422.53	10.56
433.6204	13.66823
592.5225	13.93493
594.1575	15.01493
597.1575	15.02493
598.7925	13.93493

CAR22	
0	15.23137
2.3738	13.69045
29.6736	12.97926
43.9169	9.7789
108.9414	9.834
178.0415	11.08275
200.5934	10.96422
214.5034	13.026
225.5192	13.33486
414.7368	13.503
416.4618	14.643
419.4618	14.653
421.1868	13.503

CAR24	
0	14.33611
20.0296	13.00263
104.1543	12.86928
132.0347	11.029
177.5964	9.40222
200.2967	10.33566
259.2037	10
308.4569	9.00217
357.8635	7.93538
380.5638	11.93584
384.2688	14.39584
387.2688	14.40584
390.9738	11.93584

CAR28	
0	13.07692
1.41	14.01692
4.41	14.00692
5.82	13.07692
22.1441	10.019
45.7607	8.17664
70.8663	8.74644
85.7013	7.94872
107.3834	9.54416
169.0061	10.11396
175.7311	10.941
216.9349	11.93732
235.1935	13.9886

CAR26	
0	13.9886
0.435	14.2786
3.435	14.2686
3.87	13.9886
24.8604	11.009
33.5402	6.5812
87.1748	9.31624
121.4096	9.4302
140.8094	11.93732
177.3874	12.244
270.4014	11.022
292.5838	10.22792
309.7013	12.50712
312.2813	14.21712
315.2813	14.22712
317.8613	12.50712

CAR30	
0	13.93607
37.8131	12.845
82.5841	11.027
105.4897	9.00217
177.5965	8.20208
194.7751	9
245.6974	9.13552
267.0624	11.80249
304.4511	11.93584
313.7983	14.46946

CAR32	
0	13.00263
0.87	13.58263
3.87	13.57263
4.74	13.00263
139.6064	11.2691
174.7394	9.315
198.3602	7.53534
229.0723	8.06873
290.4967	8.06873
295.8379	9.40222
334.2404	9.903
367.9447	12.73593
379.9625	13.00263
380.7575	13.52263
383.7575	13.53263
384.5525	13.00263

CAR36	
0	12.73593
0.66	13.17593
3.66	13.16593
4.32	12.73593
72.4209	11.53579
87.2445	10.516
107.139	5.40176
116.7295	6.711
155.2103	8.06873
256.6939	8.33543
272.7177	12.06919
292.3265	13.022
320.7889	14.06942

CAR34	
0	12.06919
2.115	13.47919
5.115	13.46919
7.23	12.06919
28.1772	10
92.69	6.0685
103.5882	8.225
136.7552	9.00217
174.144	7.53534
203.0112	8.997
230.2271	9.53557
248.9214	11.13575
401.1469	11.80249
403.5919	13.42249
406.5919	13.43249
409.0369	11.80249

CAR38	
0	11.93584
1.665	13.04584
4.665	13.03584
6.33	11.93584
13.4284	11.006
57.6654	9
61.2114	9.882
73.0956	8.60213
129.1787	8.06873
155.8849	5.80181
222.7954	7.387
252.0274	9.80226
334.8167	13.00263

CAR40	
0	12.037
1.05	12.737
4.05	12.727
5.1	12.037
13.9506	11.03944
25.691	11.502
67.363	10.09119
83.059	7.656
97.0366	4.63871
145.7013	7.48348
219.2918	8.78733
223.628	10
252.5262	11.6321
254.1162	12.6821
257.1162	12.6921
258.7062	11.6321

CAR44	
0	12
0.645	12.43
3.645	12.42
4.29	12
112.65	9.82
131.83	4.5
171.41	7
196.3	6.5
208.67	5.34
224.01	5.69
261.23	10
312	11
318.1	12
318.67	12.37
321.67	12.38
322.24	12

CAR42	
0	13.04
23.94	13.04
55.37	11.02
80.43	8
118.55	7
238.11	6.5
268.88	8
347.78	9.02
349.97	12.47
360.32	13.13

CAR46	
0	11.99
0.405	12.26
3.405	12.25
3.81	11.99
34.83	3.85
67.27	6
102.41	7.45
132.87	7
168.63	8
177.07	10
296.91	10.91
388.41	11.08
397.19	12
397.505	12.2
400.505	12.21
400.82	12

CAR48	
0	10.99
1.53	12.01
4.53	12
6.06	10.99
28.87	10.99
31.84	10
67.4	9
99	6
184.05	6
225.77	4.5
241.61	9
283.47	11.06
354.48	12

CAR52	
0	10.016
2.64	11.776
5.64	11.766
8.28	10.016
12.335	9.017
52.292	9.017
74.333	2.391
80.471	5.841
97.131	3.5
168.536	6.5
184.702	9.017
343.126	8.013
359.515	9.996
362.11	11.716
365.11	11.726
367.705	9.996

CAR50	
0	9.999
2.76	11.839
5.76	11.829
8.52	9.999
38.76	9.58
60.73	9.631
86.447	9.825
115.932	7.877
138.066	4.89
211.267	2.608
218.553	3.267
229.226	6.729
249.286	11.027
250.426	11.777
253.426	11.787
254.566	11.027

CAR54	
0	11.002
0.96	11.642
3.96	11.632
4.92	11.002
20.987	11.002
32.744	8.998
48.271	9.957
59.227	8.998
68.856	3.5
129.277	2.973
164.785	6
200.164	8.005
224.72	10.999
225.605	11.579
228.605	11.589
229.49	10.999

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

<b>CAR57</b>	
0	11.007
0.72	11.487
3.72	11.477
4.44	11.007
15.962	10.83
38.462	8.995
55.72	5.5
62.766	2
151.723	4.5
173.414	8.995
334.323	10.001
340.168	10.929
355.462	11.007
356.107	11.427
359.107	11.437
359.752	11.007

<b>CAR61</b>	
0	10.003
1.89	11.263
4.89	11.253
6.78	10.003
8.295	9.009
75.933	7.001
90.147	4.355
105.954	2
124.49	2
192.029	3.681
214.127	8
234.424	10.009
314.247	11.003
314.562	11.203
317.562	11.213
317.877	11.003

<b>CAR59</b>	
0	10.001
2.085	11.391
5.085	11.381
7.17	10.001
75.62	9.261
220.837	8.995
290.236	8.001
308.865	4.5
341.021	2.083
356.287	0.5
375.244	1.5
386.713	8.001
402.893	10
404.903	11.33
407.903	11.34
409.913	10

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C1	
0	10.682
6.345	10.592
15.835	9.027
27.602	8.906
40.546	9.497
43.393	7.997
47.458	7.672
50.766	7.113
52.28	5.113
56.667	1.913
61	0.713
66.667	1.213
76.667	0.913
86.667	1.113
96.667	0.713
106.667	1.513
111	1.713
114	3.213
116.667	3.213
126.667	3.313
136.667	3.413
146.667	3.013
156.667	2.513
161.5	2.713
166.667	3.813
167	4.813
168	5.813
168.667	6.313
169.667	7.113
171.162	8.713
184.1	8.12
210.896	9.994
236.449	10.299
249.482	10.921
255.6	10.5

C2	
0	11.194
5.693	11.25
9.465	9.212
29.322	8.289
49.592	8.461
57.212	8.525
69.444	8.758
77.063	8.481
104.016	7.106
135.263	7.479
136.345	6.999
139.845	4.4
143.7	3.65
147.555	3.4
151.411	3.2
155.266	3
159.121	2.8
162.976	2.7
166.832	2.6
170.687	2.5
174.542	2.5
178.397	2.4
182.253	2.4
186.108	2.3
189.963	2.3
193.818	2.2
197.674	1.8
201.529	1.2
205.384	1.3
209.239	1.1
213.095	0.7
216.95	0.2
220.805	0.1
224.66	-0.2
228.516	-0.7
232.371	0.1
236.226	1
240.081	2
243.937	4
247.792	5
251.647	5.3
252.147	6.999
254.751	9.27
267.503	9.321
282.227	9.256
308.803	10.15
315.123	10.18

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C3	
0	10.428
13.526	8.676
73.575	8.919
152.935	8.933
182.521	8.904
187.33	6.988
189.638	4.69
191.638	4.7
197.639	3.69
203.64	3.19
209.64	1.79
215.64	0.39
221.64	0.09
227.64	0.49
233.64	-0.01
239.64	0.39
245.64	1.29
251.64	1.59
254	1.29
257.64	2.29
263.64	2.79
269.65	3.29
275.65	3.29
281.65	3.39
287.65	2.59
293.65	5.89
299.65	6.988
300.648	8.323
306.282	7.144
311.62	6.88
359.659	8.219
369.291	9.214
375.51	8.792
411.928	9.032
454.88	8.692
460.105	9.495
516.403	9.087
562.691	9.75
587.261	9.899
592.201	10.038
599.61	10.103

C4	
0	8.99
5.87	8.85
13.25	8.807
62.726	8.123
134.089	8.167
194.374	7.616
199.422	8.876
206.728	6.824
209.75	4.024
219.943	3.124
230.135	2.924
240.328	2.624
250.52	1.624
260.713	0.824
270.905	0.724
281.098	-0.376
286	0.624
291.29	0.524
293	0.024
301.483	0.024
305	-0.374
311.675	-0.076
321.868	3.524
332.06	5.524
333.059	8.824
335.026	8.872
341.176	8.998
375.463	8.823
390.671	9.614
392.044	9.683
399.255	9.656

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C5	
0	9.6
13.05	9.445
201.071	7.5
272.901	7.991
340.884	8.348
411.981	8.776
434.023	8.976
437.516	8.995
443.043	9.155
447.629	6.796
449.629	4.196
456.646	1.396
463.663	0.196
470.679	-0.004
477.696	0.796
484.713	0.896
491.73	0.996
496	0.696
498.747	1.196
505.764	1.296
507	1.096
512.78	1.596
519.797	1.996
526.814	2.096
533.831	2.096
540.848	1.996
547.864	1.796
554.881	3.696
561.898	5.896
562.312	6.796
563.505	7.383
577.369	7.273
602.574	8.505
649.089	10.151
651.478	10.15
657.831	10.026

C6	
0	7.94
81.717	8.257
90.204	9.391
96.974	9.215
98.274	8.788
101.472	6.852
103.472	4.252
110.203	5.25
116.934	1.55
123.666	0.15
128	0.75
130.397	0.25
137.128	1.05
143.859	1.35
150.591	1.45
157.322	1.45
164.053	2.55
170.784	2.5
177.515	2.5
184.247	2.25
190.978	2.25
197.709	2.45
204.44	2.45
211.172	2.85
217.903	3.55
224.634	6.15
227.634	6.852
230.597	8.563
247.699	8.059
272.567	8.066
293.584	7.857
314.708	6.954
324.013	7.68
331.017	9.922
332.081	9.956
339.27	9.903

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C7	
0	8.858
6.245	8.92
13.391	8.646
56.391	8.839
80.815	9.133
93.1	8.39
97.654	6.8
100.654	3.5
109.915	1.6
119.177	0
121	-0.8
128.438	-0.2
137.699	0.3
146.96	0.6
156.222	1.2
165.483	1.6
174.744	2.45
184.005	2.4
193.267	1.8
202.528	2.8
211.789	3.8
212.789	6.8
213.843	7.242
218.493	6.545
238.812	7.226
259.903	7.978
275.412	7.964
279.29	9.678
285.515	9.856
286.612	9.773

C8	
0	8.719
15.352	9.162
21.78	9.14
82.48	8.531
149.98	7.737
179.422	7.928
220.752	8.326
226.733	7.838
229.476	6.95
233	6.111
238.572	6.901
239.711	7.125
241.368	6.911
243.368	4.711
251.414	2.7
259.461	3.11
267.507	2.41
270	2.21
275.554	2.11
283.6	1.91
291.647	1.11
299.693	0.11
307.739	-0.79
315.786	-0.589
323.832	0.711
331.879	3.011
339.925	5.411
340.925	6.912
341.394	8.696
350.035	8.817
373.771	8.747
404.852	9.29
411.604	9.637

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C9	
0	8.347
9.687	8.411
29.176	8.237
59.445	8.346
86.549	8.526
94.815	6.706
98.315	2.106
105.814	1.406
113.314	0.406
120.813	0.906
128.313	1.306
135.812	1.306
143.312	0.706
146	1.006
150.811	0.706
158.311	0.606
165.81	0.606
173.31	-0.094
180.809	-0.694
188.309	2.208
195.808	3.806
197.808	6.706
200.342	7.048
203.935	8.141
231.18	7.597
243.939	6.832
256.37	8.161
267.872	8.645
295.611	7.632
303.313	8.896
309.886	8.815
313.446	8.455

C10	
0	8.504
7.651	8.739
49.28	8.481
128.748	8.118
188.132	8.057
225.492	8.258
248.254	8.412
250.195	8.753
253.979	8.319
258.505	6.763
261.005	4.263
269.725	4.263
278.444	3.063
287.164	2.563
295.884	2.063
304.603	1.863
313.323	1.563
322.043	1.363
330.762	1.063
339.482	0.363
348.202	-0.937
350	-1.437
356.921	2.863
365.641	4.263
367.141	6.763
368.542	6.996
384.641	7.328
408.509	7.75
430.926	8.482
431.845	8.53
438.088	8.557

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C11	
0	8.083
7.808	8.142
18.815	7.618
25.818	8.553
34.172	7.75
43.32	8.574
46.634	8.051
48.914	6.964
50.914	3.564
60.424	2.964
69.934	-0.336
79.443	-1.636
88.953	-0.336
93	-1.036
98.463	-0.336
107.963	0.364
117.482	0.764
126.992	1.264
136.502	4.964
138.002	6.964
139.974	7.799
159.292	6.669
183.748	6.629
196.425	7.334
227.447	8.005
250.371	8.686
257.205	8.661

C12	
0	8.34
6.809	8.291
24.367	7.961
47.227	7.983
65.428	7.141
78.601	7.207
86.4	8.036
89.694	6.986
94.694	4.786
102.217	3.786
109.74	0.486
117.269	-0.314
124.787	-0.414
132.31	-0.714
139.833	-0.814
147.357	-0.814
154.88	-0.614
162.403	-0.314
169.926	-0.014
177.45	0.386
184.973	2.486
192.496	5.586
193.496	6.986
194.452	7.445
199.388	7.761
223.151	8
232.913	8.671
242.68	9.239
249.136	8.978
251.885	8.526

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C13	
0	7.265
6.811	7.246
23.048	7.3709
23.287	8.39
25.287	8.38
25.537	7.39
42.838	7.121
121.912	5.916
155.149	6.914
162.197	6.654
164.276	6.362
165.275	4.362
171.629	0.862
181.981	-0.338
192.334	0.062
202.687	-0.138
213.04	-0.638
223.392	-1.038
233.745	-1.138
244.098	-1.238
254.45	2.362
264.803	5.562
266.303	6.362
267.336	7.12
301.264	7.641
317.695	8.03
326.628	8.673
326.753	9.163
328.753	9.173
328.901	8.605
333.113	8.479

C14	
0	9.493
8.874	9.716
44.755	6.506
114.551	8.026
170.198	7.449
196.255	7.341
201.408	6.386
202.4	4.887
204	3.09
207.408	5.39
215.398	4.89
223.387	1.99
231.377	0.79
239.366	-0.11
247.356	-0.71
250	-0.51
255.345	-0.91
257	-1.41
263.335	-1.31
271.325	-1.61
275	-1.71
279.314	-1.61
287.303	-0.61
295.293	1.89
303.283	4.89
304.283	6.386
309.405	7.735
309.655	8.725
311.655	8.735
311.919	7.7206
319.743	7.31

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C15	
0	6.955
3.011	7.425
6.187	7.158
10.092	8.127
14.069	8.1399
14.305	9.148
16.305	9.138
16.555	8.148
19.845	6.41
21.345	4.91
29.497	3.81
37.649	0.21
45.802	-2.39
53.954	-2.39
62.106	-5.99
70.259	-4.39
78.411	-1.09
86.564	2.66
95.882	6.41
100.004	6.756
104.483	6.41
118.83	6.41
120.303	6.732
130.596	6.715
164.012	6.75
217.702	6.94
237.169	7.267
243.407	7.43
243.657	8.42
245.657	8.43
245.907	7.43

C16	
0	8.162
4.335	8.2369
4.58	9.28
6.58	9.27
6.83	8.28
8.046	8.078
35.817	7.207
62.287	7.047
72.352	6.307
77.321	7.383
83.878	6.354
85.878	4.854
91.417	3.854
97.456	2.854
103.495	2.054
109.534	0.954
115.573	0.354
121.612	-1.044
127.652	-4.346
133.691	-5.046
139.73	-4.346
145.769	-2.746
151.808	-1.746
157.847	1.854
163.866	5.454
165.886	6.354
169.625	7.671
176.173	7.919
176.423	8.909
178.423	8.919
178.689	7.8963
187.887	6.794
195.906	6.725

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C17	
0	7
15.336	6.484
17.336	6.286
72.499	6.375
80.775	7.534
93.983	6.172
103.052	7.4081
103.369	8.758
105.369	8.748
105.619	7.758
105.889	6.135
106.889	4.435
114.222	1.835
116.8	-0.265
118.8	-0.165
121.755	-0.665
129.288	-3.165
132.8	-4.565
136.821	-2.765
139.8	-2.465
144.354	-2.565
151.887	-2.565
159.42	-1.365
166.953	1.335
174.486	3.135
180.219	5.335
181.719	6.135
183.168	6.76
193.467	7.336
202.516	7.021
211.923	8.365
212.173	9.355
214.173	9.365
214.423	8.365

C18	
0	7.855
0.25	8.855
2.25	8.845
2.5	7.855
9.239	7.851
13.827	6.47
16.713	6.364
66.487	6.06
92.987	6.788
95.902	5.991
104.162	5.987
106.162	3.387
114.152	0.487
122.143	-2.413
130.133	-2.313
138.123	-2.213
146.114	-1.913
151.5	-1.513
152.5	-1.613
154.104	-1.313
155.5	-1.413
162.094	-0.813
163.5	-1.313
170.085	1.187
174.5	1.987
175.5	3.787
178.075	4.987
180.075	5.717
184.197	7.567
184.947	7.417
193.704	7.583
195.929	7.572
204.704	7.638
204.954	8.628
206.954	8.638
207.216	7.6319
242.841	7.546

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C19	
0	6.439
21.599	6.629
27.801	7.443
32.423	7.5067
32.666	8.541
34.666	8.531
34.916	7.541
42.593	7.19
47.818	6.635
47.941	5.903
50.441	3.403
57.987	2.603
65.534	0.703
73.081	-1.597
80.628	-2.597
88.175	-2.897
95.721	-2.797
103.268	-2.397
110.815	-1.897
118.362	-1.297
125.909	1.903
133.456	4.634
151.457	5.414
161.241	5.903
162.818	6.311
169.524	7.729
169.774	8.719
171.774	8.729
172.09	7.5171
185.814	6.793
196.501	6.777

C20	
0	6.884
8.81	6.693
18.585	6.693
22.774	6.803
23.322	6.8894
23.652	8.296
25.652	8.286
25.902	7.296
28.674	6.93
29.248	5.9
33.248	3.4
38.572	3.5
43.896	1.1
49.219	0.1
54.543	-0.4
59.867	-1.7
65.191	-1.9
70.514	-2.3
75.838	-1.9
81.162	-1.8
86.486	-1.7
91.809	-2
97.133	-1.6
102.457	-1.7
107.781	-1.6
113.104	-2.2
118.428	-0.8
123.752	4.7
126.752	5.9
128.162	6.785
129.764	5.855
157.256	5.89
162.892	7.21
167.658	8.56
167.908	9.55
169.908	9.56
170.181	8.5124
172.589	8.467

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C21	
0	7.338
3.936	7.8257
4.189	8.904
6.189	8.894
6.439	7.904
13.892	7.878
15.617	7.671
27.86	6.802
47.254	6.664
49.813	5.937
51	5.307
53.813	5.937
56.72	6.394
58.58	5.937
60.58	4.34
67.261	2.94
73.941	0.54
77	0.44
80.622	-0.06
87.302	-0.36
93.983	-0.36
100.663	-0.56
107.344	-0.16
114.025	-0.36
120.705	-0.86
127.386	-0.96
134.066	-2.16
140.747	-0.56
147.427	1.14
154.108	4.44
158.108	5.937
159.789	6.707
167.975	7.175
168.225	8.165
170.225	8.175
170.488	7.1651
342.122	6.568

C22	
0	7.651
6.343	7.9547
6.606	9.075
8.606	9.065
8.856	8.075
13.529	3.548
19.45	6.226
32.316	5.751
49.781	6.22
64.716	6.406
68.234	5.681
72	5.207
78.301	5.681
79.221	5.755
80.121	5.681
81.621	2.881
88.107	2.481
94.593	1.081
101.078	-1.819
104	-1.719
107.564	-1.919
113	-2.719
114.05	-2.319
120.536	-2.819
122	-2.819
124	-2.519
127.021	-2.319
133.507	-2.619
139.993	-2.519
146.479	-1.719
152.964	0.281
159.45	4.281
160.451	5.681
163.286	6.522
173.707	6.931
178.038	7.762
178.288	8.752
180.288	8.762
180.563	7.706
183.898	7.632

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C23	
0	7.246
4.632	7.274
4.87	8.289
6.87	8.279
7.12	7.289
14.069	5.743
31.308	6.025
34.381	5.62
48.017	6.13
81.132	5.879
92.336	6.471
97.98	5.734
100.537	6.498
103.736	6.632
108.028	5.953
108.756	5.414
110.256	3.414
116.424	1.514
122.593	-0.186
128.761	-1.086
134.93	-1.286
141.099	-2.286
147.267	-3.086
153.436	-3.386
159.604	-3.986
165.773	-4.786
166	-3.786
171.942	-4.286
178.11	-4.786
184.279	-2.586
190.448	4.161
191.448	5.414
194.814	6.036
201.415	6.464
204.666	7.74
204.916	8.73
206.916	8.74
207.185	7.7056
209.5	7.674

C24	
0	6.596
6.469	6.884
13.103	6.8942
13.338	7.898
15.338	7.888
15.588	6.898
21.393	6.078
25.51	5.2
28.602	3.281
30.51	0.5
35.51	-0.3
40.891	-1
46.272	-2
51.652	-2.5
57.033	-2.3
62.414	-2.2
67.795	-2.1
73.175	-2.1
78.556	-1.9
83.937	-1.5
89.318	-1.3
94.699	-1.9
100.079	-1.5
105.46	-1
110.841	-1.22
116.222	-1.22
121.602	-1.4
126.983	-0.3
132.364	3.4
133.364	5.182
149.668	6.822
176.297	7.015
183.397	7.064
183.647	8.054
185.647	8.064
185.897	7.064

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C25	
0	6.407
6.25	6.335
21.245	6.4799
21.485	7.504
23.485	7.494
23.735	6.504
37.791	5.253
44.618	5.796
51.801	5.88
53.34	5.075
55.84	1.575
60	2.475
63.107	1.837
70.374	-0.925
77.64	-3.025
84.907	-3.525
88	-3.725
92.174	-2.825
95	-3.125
99.441	-2.425
102	-2.825
106.707	-2.325
110	-1.925
113.974	-1.825
117	-1.425
121.241	-1.525
126	-1.325
128.508	-1.325
135.774	1.375
138	1.775
139.5	1.775
143.041	4.275
145.041	5.075
151.805	6.067
173.257	5.864
211.794	6.299
212.044	7.289
214.044	7.299
214.311	6.2741
247.924	5.941

C26	
0	6.897
2.74	6.9017
2.976	7.906
4.976	7.896
5.226	6.906
20.565	6.624
38.389	5.961
46.964	4.937
58.003	5.365
63.933	5.191
75.009	4.91
79.009	2.51
85.859	2.11
92.709	0.51
99.56	-1.69
106.406	-2.39
113.26	-2.49
118	-3.29
120.11	-2.99
122	-2.99
123	-2.69
126.961	-2.99
131	-3.59
133.811	-3.59
137	-1.49
140.661	0.11
143.661	0.21
147.511	0.11
150	1.21
154.361	1.61
156	3.21
161.212	3.41
168.062	3.81
170.062	4.91
171.609	5.91
185.343	5.928
185.593	6.918
187.593	6.928
187.869	5.87
229.758	5.37

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

CA26	
0	6.897
2.74	6.9017
2.976	7.906
4.976	7.896
5.226	6.906
20.565	6.624
38.389	5.961
46.964	4.937
58.003	5.365
63.933	5.191
75.009	4.91
79.009	2.51
85.859	2.11
92.709	0.51
99.56	-1.69
106.406	-2.39
113.26	-2.49
118	-3.29
120.11	-2.99
122	-2.99
123	-2.69
126.961	-2.99
131	-3.59
133.811	-3.59
137	-1.49
140.661	0.11
143.661	0.21
147.511	0.11
150	1.21
154.361	1.61
156	3.21
161.212	3.41
168.062	3.81
170.062	4.91
171.609	5.91
185.343	5.928
185.593	6.918
187.593	6.928
187.869	5.87
229.758	5.37

C27	
0	6.985
2.94	7.0229
3.182	8.055
5.182	8.045
5.432	7.055
10.044	5.866
20.982	5.124
75.206	4.699
83.693	5.927
96.257	5.099
108.422	5.78
112.942	5.686
114.097	4.882
116.097	1.182
121.58	0.782
127.065	-0.518
130	-1.118
132.548	-1.118
135	-1.318
138.032	-1.318
143.516	-1.118
149	-1.718
151	-2.318
154.484	-2.018
160	-1.618
161	-1.818
163	-2.518
165.451	-2.618
170.935	-3.018
176.419	-3.418
181.903	-3.318
184	-3.218
187.387	-2.418
192.871	-2.168
194.371	4.882
195.221	5.939
198.507	6.479
225.432	5.49
265.873	5.49
321.335	5.481
333.408	6.569
339.51	6.989
339.76	7.979
341.76	7.989
342.01	6.989

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

C29	
0	5.04
96.285	5.752
137.31	5.767
143.298	5.981
144.002	6.0244
144.273	7.18
146.273	7.17
146.523	6.18
147.494	6.048
149.117	4.401
152.117	1.601
157.848	-2.799
163.579	-5.399
167	-5.699
169.31	-5.399
171	-5.099
175.041	-6.299
178	-6.399
180.773	-5.999
186.504	-4.699
192.235	-4.099
197.966	-2.899
203.697	0.801
209.428	3.401
210.428	4.401
211.522	5.377
223.178	4.303
231.37	4.856
251.515	5.408
298.435	5.165
348.863	5.827
360.611	6.788
360.861	7.778
362.861	7.788
363.143	6.7069
368.822	6.525

CAR29	
0	6.229
4.079	6.2402
4.315	7.247
6.315	7.237
6.565	6.247
13.84	5.7
29.524	5.837
32.322	5.886
33.659	4.207
36.659	1.007
42.506	1.51
48.353	-0.493
54.201	-1.89
60.048	-2.993
65.895	-3.993
71.743	-4.193
77.59	-3.743
83.838	-3.193
89.285	-2.993
95.132	-2.393
100.98	-3.193
106.827	1.207
112.675	3.507
113.675	4.207
114.8	4.645
134.328	4.585
142.744	5.504
164.391	4.46
183.322	4.669
187.479	5.824
193.803	5.925
194.053	6.915
196.053	6.925
196.303	5.925

## SECCIONES TRANSVERSALES UTILIZADAS EN EL SWMM v5.0 PARA MODELAR EL RÍO GRIJALVA

GRI07	
0	8.51
2	7.99
2.489	6.044
46.868	5.632
48.897	1.803
60.027	3.297
71.156	3.597
115.67	1.287
137.934	2.403
149.064	3.153
154.695	4.52
170.437	5.085
170.9158	6.99
172.9158	8.5

SECCION6	
0	10
1	5
72.82	1
102.05	-2.74
104.99	-3.5
163.26	-4
172.26	-4.5
189.67	-4.59
229.59	-5
252.18	-5
270.94	-4.5
272.76	-3.11
276.11	2.5
313.21	5
314.21	10

GRI08	
0	8.52
2	7.99
2.44475	6.221
163.67375	5.664
189.58375	-1.421
253.46175	-2.359
292.44	4.789
303.144	2.339
310.24275	1.411
318.98275	5.71
555.32175	6.326
564.70575	8.506

SECCION7	
0	10
1	4.5
1.55	4.47
40.61	2.5
41.83	-1.76
45.44	-7.83
51.68	-9.1
68.16	-9.66
75.35	-10.5
84.24	-10.5
126.86	-4.5
146	-3
157.07	0.5
165.6	1.5
184.72	2.5
207.97	3.5
248.28	4.87
249	10

SECCION8	
73	10
74.27	4.5
120.73	2.5
123.64	0.23
142.19	-2.77
147.15	-3.5
186.15	-5.21
230.45	-6
248.8	-7
258.88	-8
267.18	-9
273.74	-10
288.22	1
334.94	4
335	10

SECCION10	
230	10
231.16	4
295.48	1
296.49	0.43
299.66	-9
324.16	-9.5
352.51	-9.5
357.86	-9
387.83	-6.2
388.71	-5
396.83	-3.47
404.6	2
448.25	4
449	10

SECCION9	
133	10
134.65	2
156.29	-8
181.05	-10.28
224.12	-6
229.5	-5.5
231.74	-4.5
236.37	3.5
237	10

SECCION11	
226	10
227.13	4
295.48	1
296.49	0.43
299.66	-9
324.16	-9.5
352.51	-9.5
387.83	-6.2
388.71	-5
396.83	-3.47
404.6	2
448.25	4
449	10

SECCION12	
67	10
68.92	4
104.19	2.5
110.39	-3.31
122.45	-3.5
181.03	-5.5
190.74	-5.5
208.18	-6
232.03	-8
239.3	-8
239.82	-3.77
244.39	-3.41
250.91	2
252	10

SECCION14	
55	10
56.81	1.5
68.8	-11.44
69.29	-11.5
73.39	-11.5
90.77	-11
99.85	-10.5
105.4	-10
106.12	-10
122.84	-9
125.22	-8.5
134.45	-5
148.98	1
150	10

SECCION13	
51	10
52.14	4.5
90.68	2.5
97.02	-2.08
127.16	-6.5
154.35	-7.5
162.33	-7.5
178.69	-8
196.28	-8
200.1	-7.5
201.11	-2.66
208.54	-1.82
212.79	1.01
212.87	1.03
224.52	2
259.94	3.5
261	10

SECCION15	
100	10
101.44	3
117.47	2
125.79	0.95
132.21	-4
138.7	-5
152.23	-6
203.65	-9.47
216.08	-8.5
222.83	-7.5
226.21	-7
232.62	-3.19
254.45	1.23
256	10

SECCION16	
58	10
59.76	2.5
64	-1.33
65.16	-8
68.49	-8
107.29	-6
139.91	-5
158.16	-4.5
178.51	-4
195.45	-4
221.87	-3.5
223.82	-2.82
228.8	-0.66
240.78	3
242	10

SECCION19	
58	10
59.04	2
68.05	-3.77
75.77	-4.5
92.47	-5
122.84	-6.5
139.04	-7.5
158.13	-8
172.93	-8.5
180.68	-2.24
181	10

SECCIÓN17	
164	10
185.95	2.5
190.3	-8.87
193.46	-11
206.19	-12.9
212.05	-12.74
215.19	-12.72
237.42	-12.5
274.77	-8
296.32	-5.5
303.17	3
313	10

SECCION20	
91	10
92.15	2
94.84	-0.93
102	-2.97
111.12	-3.46
113.2	-6.5
123.53	-6.5
165.29	-7
172.61	-7
180.62	-1.26
187.81	0.6
189	10

SECCION18	
139	10
140.64	1.72
148.48	-4.5
159.95	-5
176.15	-5.24
229.26	-5.5
255.8	-6
263.13	-6.3
282.36	-1.34
285.16	2
286	10

SECCION21	
136	10
137.12	1.5
138.74	-0.8
146.38	-6.5
197.97	-6
238.74	-4.5
271.18	-3.5
295.38	1
296	10

SECCION22	
93	10
94.59	2.5
98.15	1.2
120.05	-0.93
131.02	-3.77
132.36	-5.5
162.87	-5.98
166.08	-5.5
189.58	-5.5
244.31	-5
266.07	-4.5
276.79	2.5
277	10

SECCION25	
128	10
129.81	3
158.5	2
173.2	0.9
176.63	0.09
187.25	-0.33
189.5	-1.55
195.3	-4
209.8	-4.5
220.08	-5
239.31	-6.5
272.04	-8.5
282.74	-9
295.13	-1.89
298.43	2
300	10

SECCION23	
108	10
109	3
138.27	2
159.47	1.5
162.23	-0.12
178.98	-4.5
204.14	-5.5
223.01	-6
233.63	-6.5
244.33	-7.5
249.05	-8
268.53	-8
269.33	-8.5
274.79	-4.47
284.52	2
312.51	3
313	10

SECCION26	
52	10
53.93	1.5
77.8	-7.5
91.03	-8.5
96.35	-8.97
109.92	-8.5
153.36	-4.5
162.02	-4
172.7	-1.26
182.87	0.82
195.83	2
221.84	3
222	10

SECCION24	
167	10
168.87	1.5
169.55	-1.26
181.36	-3.5
254.34	-9
267.63	-9.5
277.28	-9.18
279.71	-7.27
296.35	2
297	10

SECCION27	
116	10
117.79	2.5
119.6	-0.17
134.86	-7
136.34	-8
157.02	-8
184.34	-7.5
205.47	-6.5
215.37	-5.5
222.39	-4.5
223	10

SECCION28	
36	10
37.99	1.5
44.17	-6.5
56.58	-6.5
60.37	-7
73.15	-7
87.86	-6.5
116.4	-6
123.49	-6
145.44	-5
153.81	-4.5
165.63	2
166	10

SECCION29	
62	10
63.39	1.59
78.97	-3.48
102.38	-4.04
152.62	-4.5
160.21	-5
180.46	-7.5
188.45	-8
191.59	-8.5
194.74	-9
201.02	-10
217.2	-11.77
218.83	-9.71
222.43	-9.11
246.95	2
247	10

SECCION30	
106	10
107.3	2
113.35	-4
126.83	-6
144.44	-8
166.46	-10
172.7	-10.5
180.84	-10.5
186.71	-10
195.7	-9.5
199.22	-9
200.93	-1.87
202.28	1.5
203	10

SECCION31	
56	10
57.92	2.13
64.89	-1.61
91.3	-9.5
95.01	-10
107.67	-12
111.24	-12.5
118.8	-12.5
126.68	-11
138.4	-9
156.26	-6.5
168.89	-5
177.31	-4
191.87	2.5
193	10

SECCION32	
68	10
69.64	1
94.83	-1.58
125.17	-5
135.24	-5
155.92	-5.5
157.22	-5.5
177.66	-6
202.74	-6.5
212.56	-2
222.04	1.5
223	10

SECCION33	
35	10
36.69	2
46.58	-1.51
56.39	-3.38
60.61	-4.84
96.77	-5.5
133.01	-5.5
168.48	-6
184.94	-6.5
202.01	-1.16
203.57	0.68
204	10

SECCION34	
123	10
124.81	1.5
133.11	-3.5
152.78	-4.5
167.88	-5.5
173.18	-6
181.26	-7
191.9	-8.5
199.07	-9.5
203.04	-10
223.37	-7.69
229.34	-6.08
240.77	2
241.77	10

SECCION35	
35	10
36.07	1.5
50.45	-8
55.69	-10.5
56.45	-10.86
57.94	-10.5
69.12	-8
86.86	-6
95.48	-5.5
139.12	-4.5
161.32	-4
171.66	1.5
172	10

SECCION36	
20	10
21.93	1.5
30.1	-5
56.61	-6
70.4	-6.5
71.71	-6.5
89.02	-6
127.51	-5.5
145.99	-0.66
154.59	1
155	10

SECCION37	
108	10
109.12	1.5
109.25	-3.59
112.87	-5.5
157.5	-5.5
174.81	-6
177.81	-6
207.61	-7
221.81	-5.27
244.78	1.5
245	10

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
PARA LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO

---

SECCION38	
0	10
23.74	2
27.02	0.01
32.21	-1.4
46.35	-2.64
51.09	-7.21
59.04	-6.5
87.04	-6
106	-5.5
141.85	-4.5
188.18	-3.5
201.33	-1.86
208.86	1.5
298.11	10

SECCION39	
0	10
1	2
39.77	-3.64
40.32	-4
47.94	-4.5
86.68	-7
129.19	-10.13
134.18	-10.5
139.22	-10.5
144.63	-6.18
146.8	1.5
166.1	10

CONDUIT	FORMA	PROFUNDIDAD	BASE	PEND. IZQ	PEND. DER
C15	TRAPEZOIDAL	15	50	2.5	5
C16	TRAPEZOIDAL	15	50	2.5	5
C17	TRAPEZOIDAL	15	50	2.5	5
C18	TRAPEZOIDAL	15	50	2.5	5
C19	TRAPEZOIDAL	15	50	2.5	5

## SECCIONES TRANSVERSALES UTILIZADAS EN EL SWMM v5.0 PARA MODELAR LOS RÍOS DE LA SIERRA

EH TEAPA	
0	35.5205
30.998	34.2805
49.147	20.3545
56.543	19.9685
80.099	19.7035
84.955	19.4025
99.089	25.5905
105.314	28.6495
116.681	35.9985
136.744	41.4035

TEA14	
0	20.659
53.742	19.809
75.259	15.941
105.6	13.142
108.993	12.929
111.666	12.896
133.611	21.507
135.685	21.705
165.258	21.968
166.258	21.978

TEA01	
0	29.342
18.709	22.742
50.056	21.772
67.137	18.405
84.229	20.256
96.073	21.516
108.037	22.71
111.277	23.541
123.072	30.534
171.689	31.599

TEA21	
0	19.42
5.298	19.43
37.841	19.567
52.577	18.658
56.063	18.572
87.916	11.536
147.719	19.89
154.49	19.946
154.49	19.946
169.541	19.989

TEA6	
0	23.015
46.381	22.158
53.996	18.307
55.896	17.038
66.463	16.306
71.955	15.835
101.037	17.141
112.687	21.66
120.079	22.662
146.514	22.563

TEA30	
0	15.855
63.014	16.663
67.045	16.819
72.505	16.762
94.693	10.156
97.678	10.094
98.545	10.097
128.072	11.358
143.826	17.072
166.992	17.13

<b>TEA36</b>	
0	12.364
0.946	12.301
1.757	12.167
36.897	8.026
42.759	7.994
46.341	8.04
63.341	13.758
64.024	13.931
64.322	13.97
93.49	13.978

<b>TEA43</b>	
0	11.83
92.182	12.934
97.796	13.032
98.922	12.964
120.097	7.132
121.532	6.914
141.117	5.865
142.651	5.932
161.198	12.332
190.802	11.895

<b>PUY07</b>	
0	39.9442
66.244	40.3832
81.234	38.8162
89.33	32.3412
100.099	28.5122
103.125	28.4782
120.18	29.6682
127.503	30.3982
137.528	34.8622
207.511	36.8572

<b>PUY15</b>	
0	15.3388
91.372	15.6823
118.543	15.3128
123.542	13.6888
132.768	8.8728
137.707	10.1728
147.35	11.3728
151.792	15.5368
166.473	15.9148
225.705	15.9358

<b>PUY10</b>	
0	21.6287
76.957	23.0458
85.302	17.7908
94.326	15.7908
99.894	15.6908
110.839	17.7908
126.282	18.3728
136.943	20.897
148.125	24.688
228.162	24.585

<b>PUY20</b>	
0	11.5698
69.842	12.6648
74.854	12.1968
83.54	9.2788
88.016	5.4788
101.444	7.1288
107.485	10.1518
114.12	12.0358
128.899	12.5628
180.569	11.9478

<b>PUY28</b>	
0	8.3102
33.524	8.8422
42.634	8.5302
49.503	3.9502
54.135	3.7502
58.767	3.1002
69.731	8.8342
165.626	8.6642
168.361	9.1752
176.826	8.8592

<b>SIE11</b>	
0	26.04
39.53	25.96
45.51	22.0985
59.6	13.1257
68.01	7.77
82.06	7.77
93.01	7.77
93.2	7.8044
115.19	11.7844
115.51	11.8423
125.96	12.57
126.49	12.8
144.74	18.85
161.02	25.15

<b>SIE05</b>	
0	26.23
28.6	21.33
30.02	21.31
64.67	11.48
87.97	11
117.85	8.24
128.07	11.42
170.35	24.45
176.39	24.48
211.37	27.3

<b>SIE15</b>	
0	24.86
29.81	23.93
30.53	23.58
52.84	13.13
52.895	13.1191
63.46	11.4338
75.395	9.53
100.395	9.53
119.95	13.9558
122.895	14.6223
127.27	16.75
140.11	21.11
142.98	21.12
175.79	23.75

<b>SIE08</b>	
0	28.14
51.6	21
58.42	14.84
78.91	9.87
89.35	8.7
99.17	6.45
109.04	11.15
145.32	27.41
150.17	27.48

<b>SIE18</b>	
0	22.03
25.65	20.12
45.9	12.93
56.8	10.2
58.52	10.2728
81.02	8.7
106.02	8.7
124.61	13.1361
128.52	14.0691
155.33	20.92
166.05	20.96
174.63	20.98
184.83	20.93
187.04	22.92

<b>SIE26</b>	
0	24.62
7.07	22.04
37.1	12.9186
45.26	11.4757
59.6	8.94
62.87	8.94
84.6	8.94
87.35	9.3782
107.1	12.5252
117.23	13.21
125.18	16.02
131.85	18.36
144.2	21.05

<b>SIE35</b>	
0	22.87
14.14	22.69
27.485	15.8706
35.94	12.9656
45.03	9.8424
49.985	8.14
54.96	8.14
74.985	8.14
86.63	11.4961
97.485	14.6246
100.99	15.64
105.55	17.03
111.31	18.84
124.97	19.66

<b>SIE43</b>	
0	20.05
18.28	19.95
66.55	9.04
76.225	8.9716
76.45	8.9566
84.58	8.414
98.725	7.47
123.725	7.47
140.23	14.6288
140.98	14.9541
146.225	17.2291
152.1	19.55
154.67	19.64
222.45	19.69

<b>SIE50</b>	
0	18.7
33.88	18.66
34.04	18.6068
56.54	5.16
57.36	5.16
81.54	5.16
88.21	6.1674
95.88	7.3258
103.23	8.436
104.04	8.5583
137.14	17.75
137.63	18.9
138.08	19.02

<b>SIE56</b>	
0	19.87
34.955	9.3638
39.06	8.8304
55.95	6.6356
57.455	6.44
65.03	6.44
80.22	6.44
82.455	6.44
104.955	14.2033
115.75	16.88
116.49	17.25
122.06	18.68
139.91	18.87

<b>SIE64</b>	
0	18.11
27.87	18.08
43.03	8.97
67.015	7.6178
89.515	4.73
91.63	4.73
99.96	4.73
114.515	4.73
126	12.3628
131.94	16.3104
136.08	17.0618
137.015	17.6832
149.79	18
204.03	18.2

<b>SIE72</b>	
0	18.92
25.5	10.0309
26.65	9.7615
48	4.76
73	4.76
75.97	5.8028
83	8.2712
95.5	12.6601
98.59	14.22
107.76	15.16
117.67	16.26
121	17.55

<b>SIE79</b>	
0	18.7
0.74	18.3
28.21	6.46
49.035	7.0167
71.535	4.96
88.06	4.96
96.535	4.96
104.48	9.072
107.8	10.7903
113.42	13.699
117.98	16.0591
119.035	16.6051
168.07	16.84

<b>SIE87</b>	
0	17.09
39.91	17.08
58.66	8.84
64.975	8.5693
87.475	5.31
106.01	5.31
112.475	5.31
132.84	8.9627
134.975	9.3456
141.6	13.49
143.73	14.53
149.11	15.19
150.18	15.23
199.95	15.48

<b>SIE95</b>	
0	16.87
18.61	5.63
27.98	5.7623
39.85	4.9012
50.48	4.13
70.23	4.13
75.48	4.13
97.98	11.2019
116.71	13.66
121.59	14.62
124.82	15.25
125.96	15.48

<b>SIE103</b>	
0	15.62
15.14	13.56
22.47	12.99
54.46	8.09
95.98	2.59
102.73	5.98
129.44	8.06
136.64	14.85
138.96	15.14
233.8	15.24

<b>SIE113</b>	
0	16.18
26.1	9.45
32.41	5.15
55.195	5.4286
68.39	4.3855
75.95	3.7879
77.695	3.65
102.695	3.65
105.07	4.8924
116.7	10.9762
118.79	12.0695
125.195	15.4201
180.39	15.11

<b>SIE124</b>	
0	16.7
6.34	11.19
16.06	5.97
26.71	5.8576
49.21	4
60.59	4
67.95	4
70.61	4
74.21	4
75	4.4314
76.72	5.3705
96.71	16.2856
123.42	16.36

<b>SIE138</b>	
0	15.34
29.75	14.84
50.54	9.73
68.48	5.8
76.13	5.17
79.71	5.2733
102.21	3.67
103.5	3.67
118.77	3.67
124.93	3.67
127.21	3.67
132.26	6.4229
149.71	15.9354
229.42	16.28

<b>SIE133</b>	
0	16.08
20.22	8.4
29.535	7.7947
52.035	3.76
68.54	3.76
75.96	3.76
77.035	3.76
82.91	6.6653
85.58	7.9857
91.41	10.8688
99.535	14.8868
129.07	16.22

<b>SIE143</b>	
0	16.15
17.03	11.1569
31.89	5.7895
39.53	3.03
63.77	3.03
64.53	3.03
75.87	4.8263
87.03	6.594
88.36	6.84
94.13	10.79
104.06	15.5

<b>SIE154</b>	
0	13.15
25.72	12.99
42.85	10.65
43.36	10.47
55.63	6.5327
58.89	5.4866
65.86	3.25
90.86	3.25
101.13	5.3799
107.72	6.7466
113.36	7.9163
136.04	13.18
156.72	13.38

<b>SIE164</b>	
0	12.54
30.21	10.75
34.98	7.98
35.93	7.9005
58.43	3.2
65.47	3.2
83.43	3.2
93.53	4.3747
105.93	5.8168
109.63	6.15
109.83	7.15
141.86	12.79

<b>SIE175</b>	
0	12.61
16.25	11.88
20.755	9.7977
24.67	8.6149
35.02	5.488
43.255	3
61.95	3
68.255	3
89.38	6.9966
90.755	7.2567
94.16	7.1
101.67	10.9
111.51	12.5

<b>SIE211</b>	
0	11.47
11.505	9.8488
14.17	8.867
28.17	3.7096
34.005	1.56
50.13	1.56
59.005	1.56
70.32	5.1718
75.53	6.8349
81.505	8.7422
84.15	9.81
93.01	11.44

<b>SIE186</b>	
0	12.1
11.74	8.96
16.07	6.99
17.005	6.7254
24.34	5.449
39.505	2.81
45.86	2.81
62.16	2.81
64.505	2.81
78.92	7.8048
87.005	10.6063
104.01	12.09

<b>SIE222</b>	
0	10.65
6.18	9.06
10.16	5.52
29.77	4.58
36.22	4.4103
58.72	2.24
61.7	2.24
77.5	2.24
83.71	2.24
83.72	2.24
87.61	4.0496
106.22	10.7067
142.44	11.07

<b>SIE198</b>	
0	11.84
22.76	11.8079
28.39	10.6406
45.26	1.15
48.76	1.15
53.8	1.15
61.2	1.15
70.26	1.15
73.52	2.0268
83.67	4.7567
92.76	7.2015
102.73	8.64
115.52	11.6

<b>SIE232</b>	
0	11.07
31.09	10.89
32.045	10.2481
37.13	9.0925
45.19	5.6757
54.545	1.71
55.04	1.71
61.48	1.71
79.545	1.71
91.44	2.969
102.045	4.0914
110.51	4.3
134.09	10.8

<b>SIE245</b>	
0	10.23
9.265	8.5376
17.69	5.5317
31.765	0.51
32.95	0.51
39.2	0.51
47.49	0.51
56.765	0.51
58.29	1.1196
79.265	9.5039
88.53	10.39

<b>SIE279</b>	
0	9.13
5.85	8.11
22.75	3.07
32.62	0.12
53	0.11
62.53	0.93
82.72	8.05
92.83	9.48
142.66	9.52

<b>SIE292</b>	
0	9.67
7.81	9.2
28.13	4.91
42.68	1.37
65.68	1.73
101.53	9.02
114.16	10.1

<b>SIE302-RAICES</b>	
0	8.84
34.28	3.26
82.76	1.7
104.09	4.47
126	7

<b>SIE314</b>	
0	8.88
38.06	1.31
40.11	1.28
57.14	0.78
58.44	0.05
76.11	5.85
76.43	5.93
91.29	8.73
133.44	8.34

<b>SIE325-PUEBLO NUEVO</b>	
0	10.79
19.15	6.24
40.38	0.73
56.79	-0.34
77.57	5.59
93.37	8.3
114.3	9.31

<b>SIE335-CENSO</b>	
0	7.18
50.7	7.31
56.94	7.56
62.95	2.38
89.1	-0.26
144.92	1.61
147.15	5.44
151.58	5.5
167.78	5.5
198.41	5.5

<b>SIE355</b>	
0	7.48
3.6	7.13
6.675	6.6665
29.175	2.12
50.11	2.12
54.175	2.12
63.11	1.3684
74.83	5.9441
76.675	6.6644
79.47	7.11
83.35	7.85

<b>SIE364</b>	
0	7.24
10.24	6.94
42.545	2.6483
54.35	0.0214
65.05	2.44
66.73	2.44
90.05	2.44
91.21	1.8327
95.64	0.4765
98.8	2.1237
112.545	7.2884
155.09	7.5

<b>SIE375</b>	
0	7.69
6.99	7.76
21.87	1.2892
22.71	1.3456
30.74	1.8848
44.37	2.8
69.37	2.8
91.87	5.2706
92.95	5.38
95.03	6.67
97.77	7.27
113.74	7.51

<b>SIE383-SABANILLA</b>	
0	7.49
19.31	7.24
23.59	5.8006
32.72	2.7043
46.09	1.83
62.33	1.83
71.09	1.83
79.9	0.676
82.45	1.4013
88.37	3.0852
93.59	4.57
117.18	7.27

<b>SIE392</b>	
0	7.5
38.58	7.48
46.69	6.18
52.815	4.572
54.27	4.1632
75.3	1.75
100.3	1.75
113.66	0.8522
121.57	0.3201
122.815	0.2363
141.71	7.56
175.63	7.49

<b>SIE399</b>	
0	7.06
17.03	7.32
25.56	3.2606
33.03	1.4576
48.06	2.17
63.68	2.17
73.06	2.17
94.46	4.2422
95.56	4.5718
105.28	6.09
111.92	7.3
121.12	7.28

<b>SIE421</b>	
0	8.41
16.63	8.41
42.8	6.97
44.985	5.1814
47.43	4.3999
60.3	0.2865
67.5	2.01
92.5	2.01
115	0.8886
132.35	0.85
144.17	5.2
148	8.26
159.97	7.2

<b>SIE438</b>	
0	8.35
29.09	4.82
37.39	1.6113
39.23	1.2571
55.72	1.9173
59.89	2.72
84.89	2.72
100.91	0.9019
107.39	0.1665
125.77	4.24
141.77	8.16
144.78	8.5

<b>SIE438</b>	
0	8.35
29.09	4.82
37.39	1.6113
39.23	1.2571
55.72	1.9173
59.89	2.72
84.89	2.72
100.91	0.9019
107.39	0.1665
125.77	4.24
141.77	8.16
144.78	8.5

<b>GRI01</b>	
0	7.5
2	7.49
2.325	6.2
563.14	5.749
580.114	1.4
596.68	0.3
621.5	0.6
654.6	1.9
671.225	0.5
679.508	2.2
684.615	6.073
684.623	6.08
684.978	7.49
686.978	7.5

<b>GRI02</b>	
0	7.5
2	7.49
2.5	5.5
321.525	4.872
325.426	2.79
354.143	0.61
363.415	2.71
402.004	1.41
430.7	2.21
440.274	1.31
454.982	4.683
466.735	6.365
467.0188	7.49
469.0188	7.5

<b>GRI03</b>	
0	7.5
2	7.49
2.52775	5.389
5.62575	2.457
12.47275	2.057
26.16	3.143
33.01	3.343
39.86	3.243
67.24	2.243
94.63875	0.757
102.48575	4.259
111.46175	5.246
112.02525	7.49
114.02525	7.5

<b>GRI04</b>	
0	7.25
2	7.24
2.57225	4.961
7.23225	2.623
22.41125	1.023
45.18225	0.023
60.36	0.277
75.54	0.977
102.03	2.877
105.9	2.377
123.99025	5.058
130.29525	6.138
130.57325	7.24
132.57325	7.25

GRI05	
0	7.25
2	7.24
2.469	5.374
13.702	4.444
42.656	3.556
49.394	4.056
56.132	3.556
62.871	4.256
69.609	3.056
96.593	0.054
103.301	0.644
107.72	5.285
108.2113	7.24
110.2113	7.25

GRI06	
0	7.25
2	7.24
2.3785	5.736
21.33	1.994
28.62	2.094
38.33	3.394
82.33	1.494
96.3725	2.206
111.4275	3.006
116.2035	5.038
145.4295	5.51
770.3325	7
770.395	7.24
772.395	7.25

## ANEXO B

### Lluvias del mes de mayo

La lluvia del día 14 de mayo de 2012 se muestra en la Figura B.1, 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 B.2 se puede observar que los mayores valores de lluvia se presentaron entre los estados de Chiapas y Oaxaca.

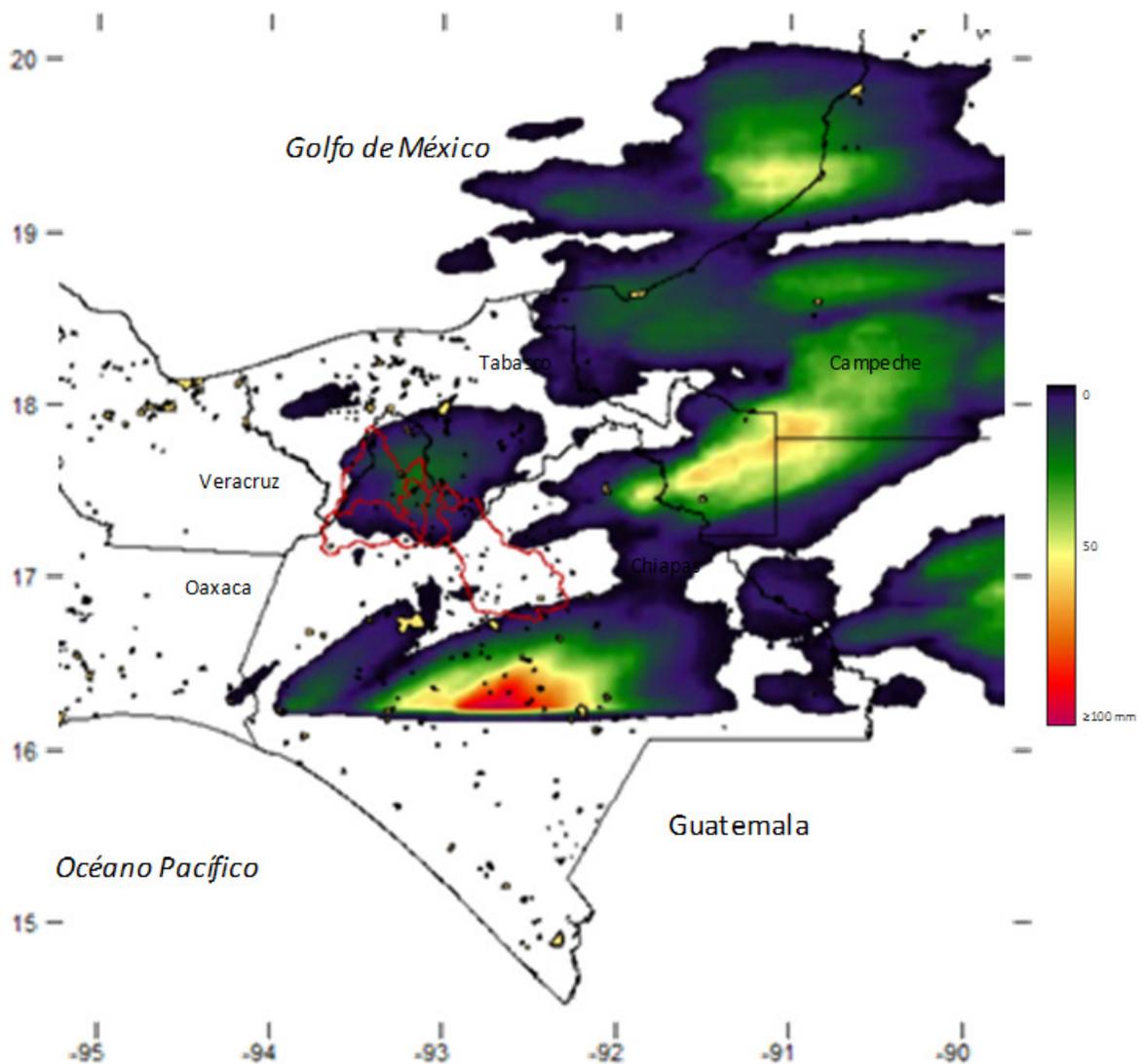
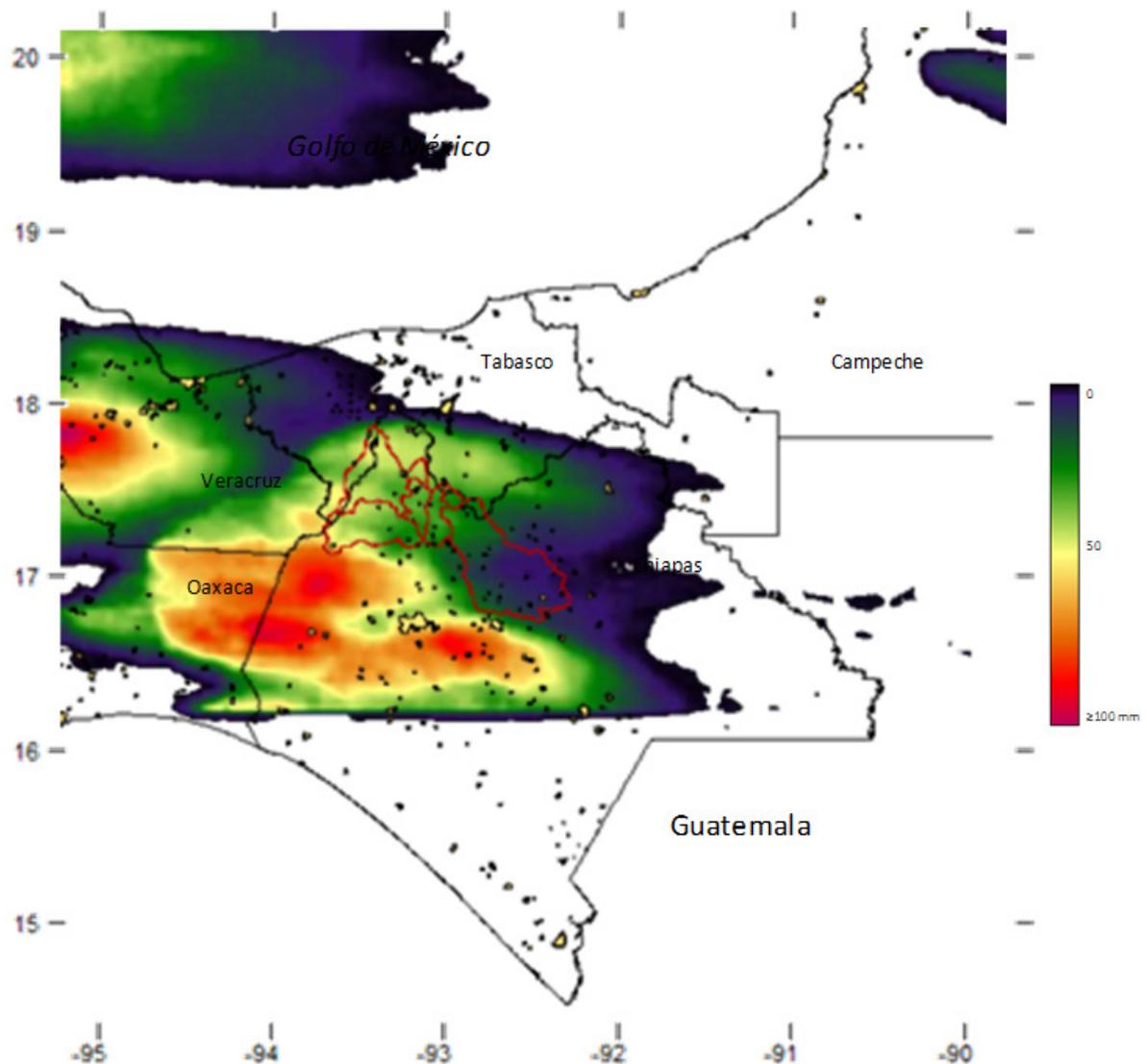


Figura B.1 Lluvia del 14 de mayo de 2012



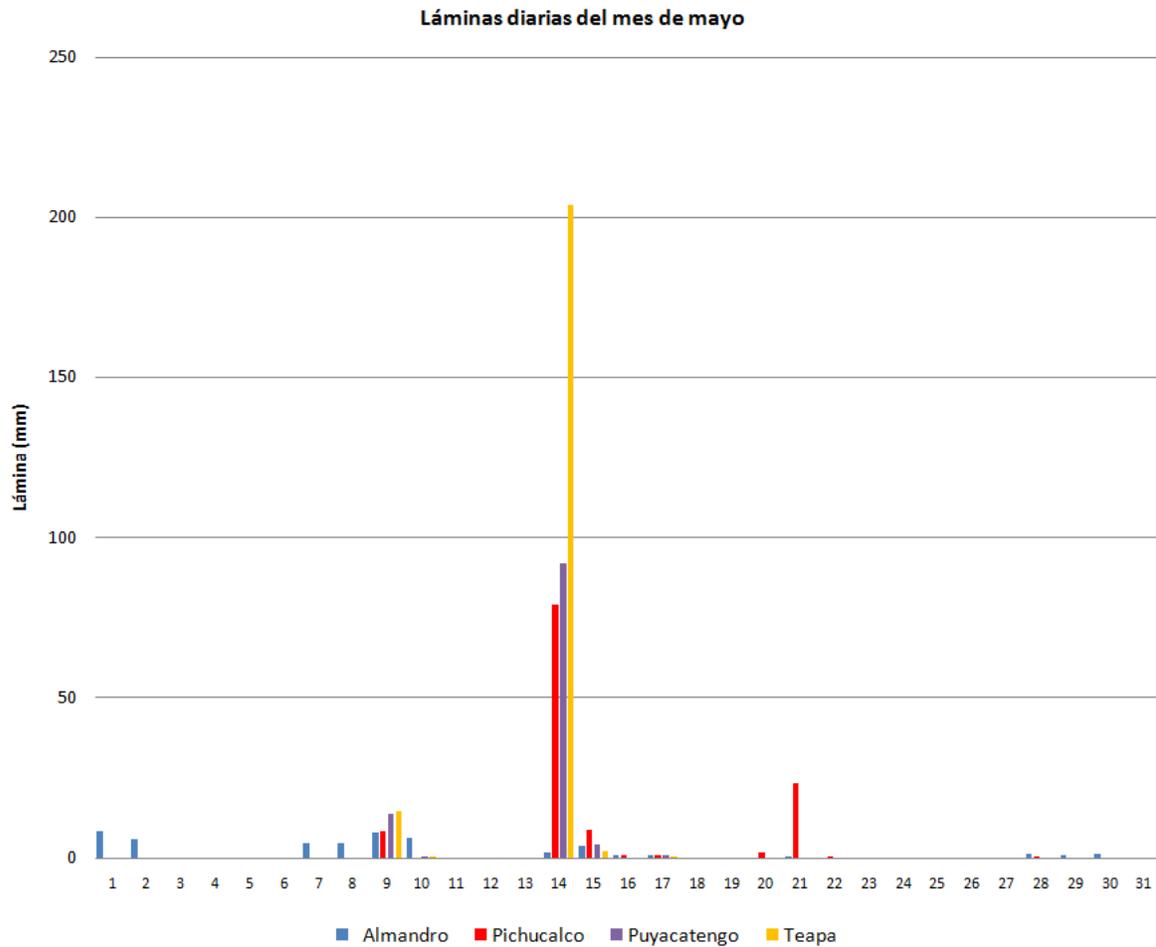
**Figura B.2 Lluvia del 9 de mayo de 2012**

Como se mencionó con anterioridad, se calcularon las láminas diarias con la información de las láminas horarias. En la tabla B.1 se puede consultar, los resultados de estos cálculos, para las cuencas Almandro, Teapa, Puyacatengo y Pichucalco.

En la Figura B.3 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 B.1 Láminas diarias (mm) del mes de mayo**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>	<b>Aljandro</b>	<b>Puyacatengo</b>	<b>Teapa</b>	<b>Pichucalco</b>
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



**Figura B.3 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 B.2

**Tabla B.2 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

**Tabla B.2 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
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 B.4 se representa la lluvia del día 19 de junio, el núcleo de ubicación del suroeste del estado de Campeche.

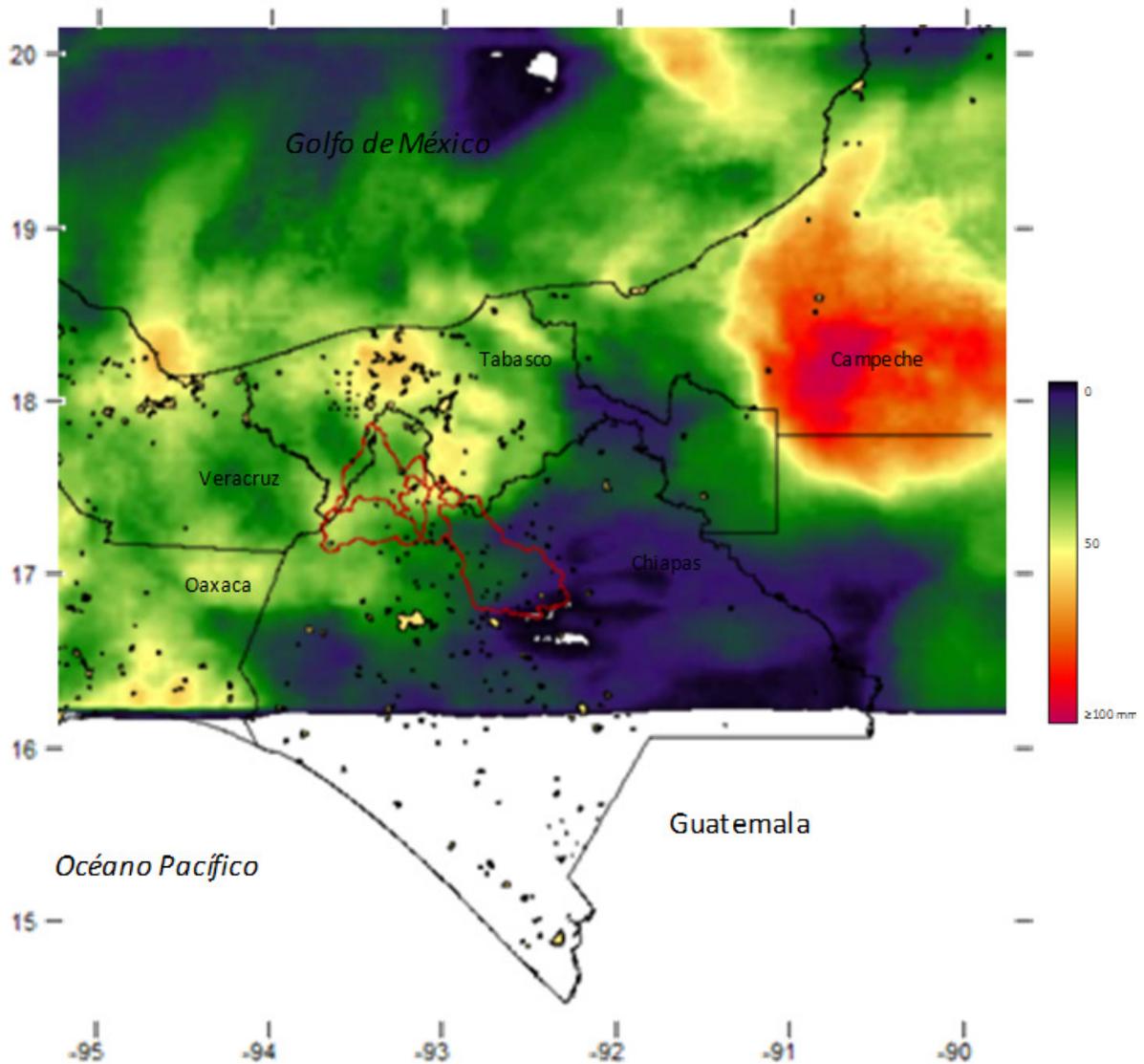


Figura B.4 Lluvia del 19 de junio de 2012

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 B.5 se presentan las lluvias correspondientes a los días 7, 8, 9, 13, 14, 15, 19, 20 y 21 de junio. En la Figura B.6, para los días 10, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 23 y 24, del mismo mes.

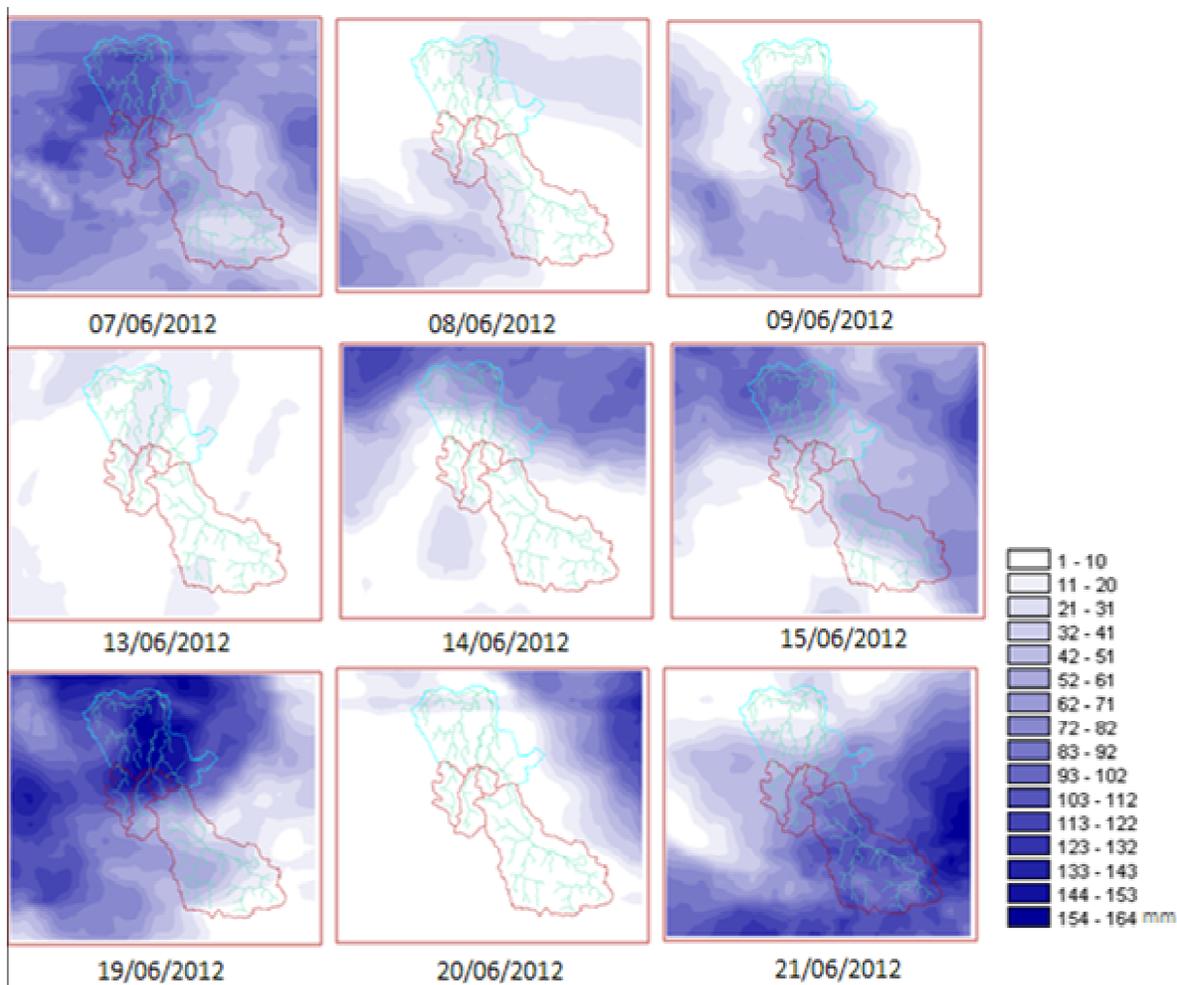
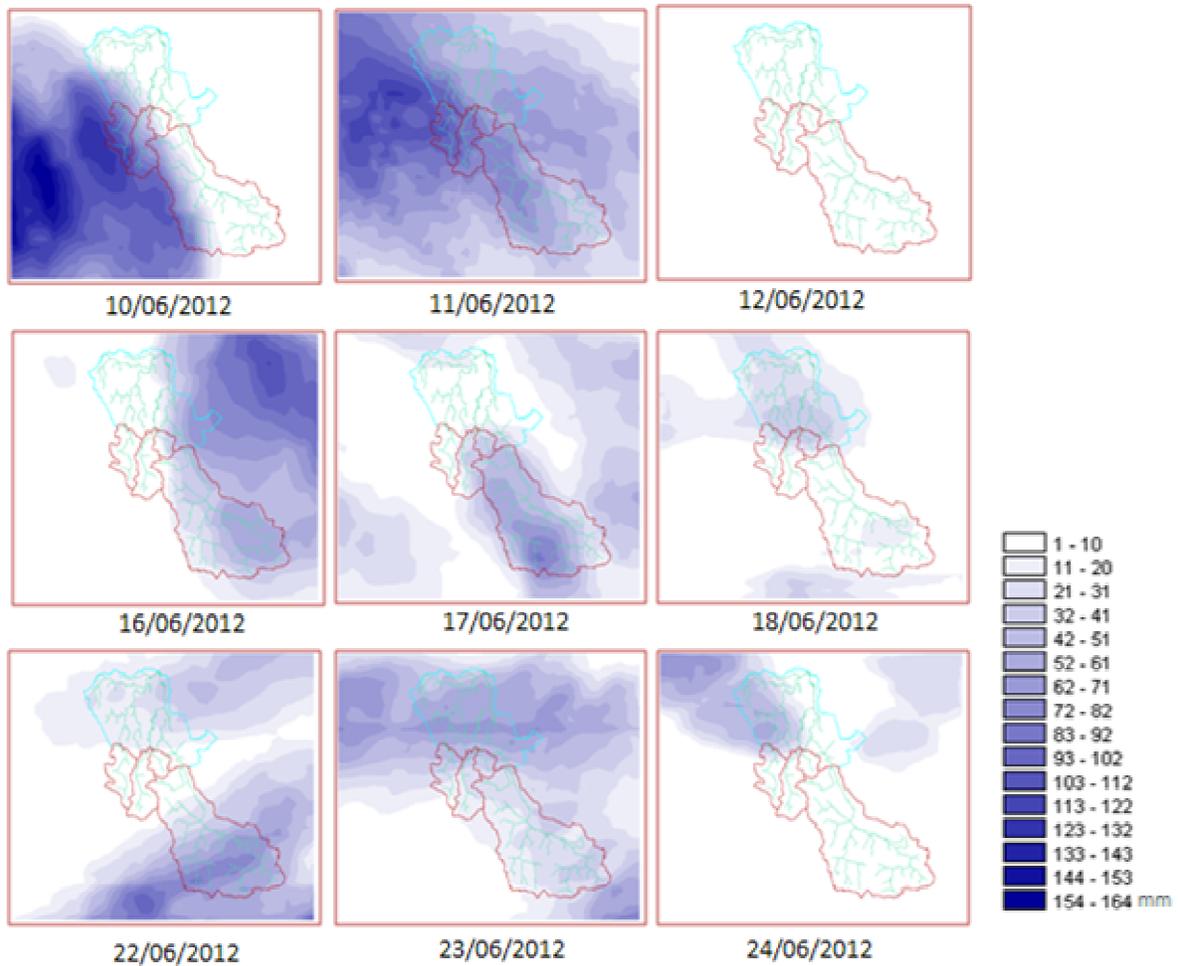


Figura B.5 Lluvias de los días 7, 8, 9, 13, 14, 15, 19, 20 y 21 de junio 2012



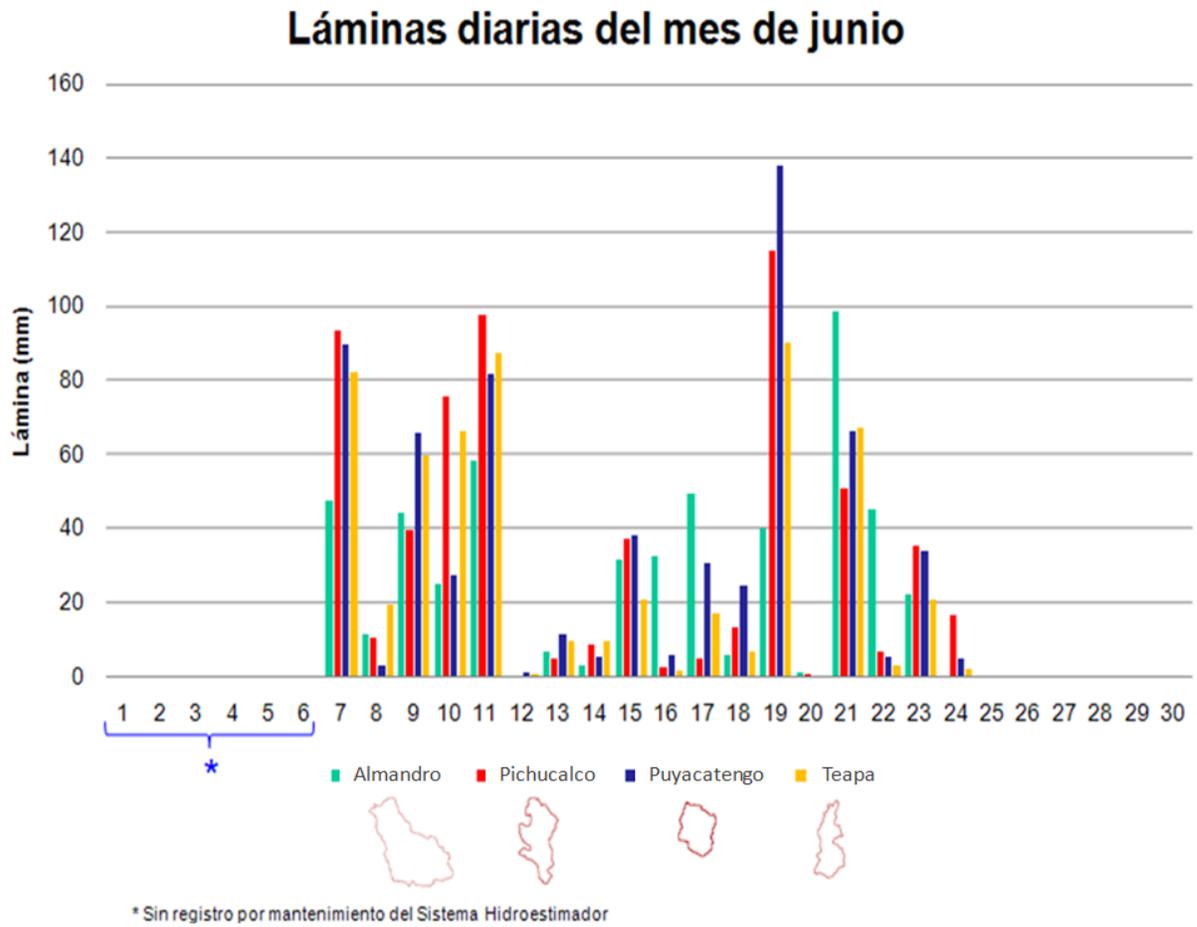
**Figura B.6 Lluvias de los días 10, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 23 y 24 de junio 2012**

Las láminas diarias calculadas con la información de las láminas horarias se presentan en la tabla B.3 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 B.3 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 B.7 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.



**Figura B.7 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 B.4 se muestran los resultados.

**Tabla B.4 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

**Tabla B.4 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
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 B.8 se muestra la lluvia ocurrida el día 27 de julio, la cual fue de magnitudes importantes en las cuencas de análisis. El núcleo se concentro en la cuenca Almandro, en el norte del estado de Chiapas, la lluvia cubrió todo el estado de Tabasco.

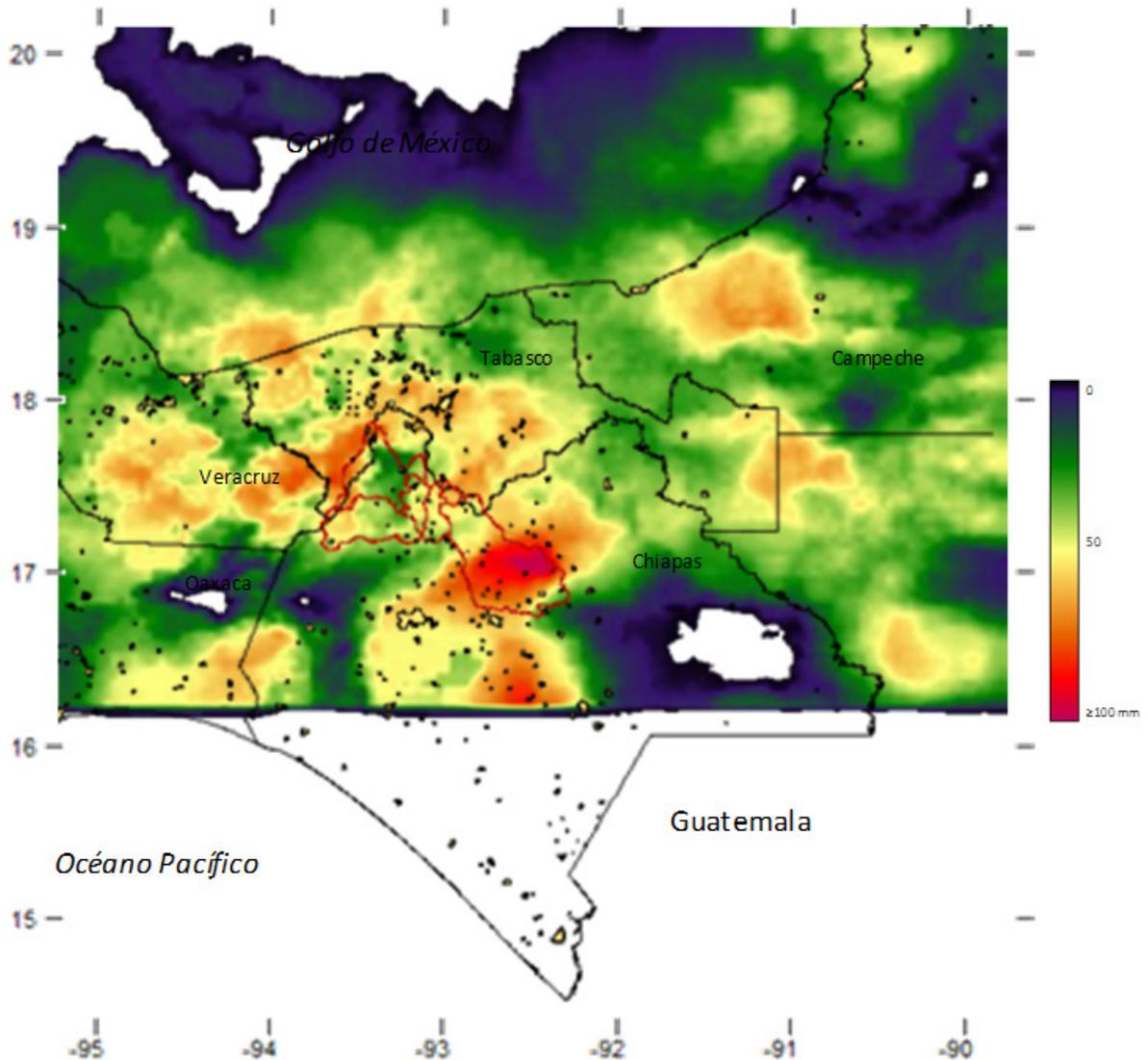
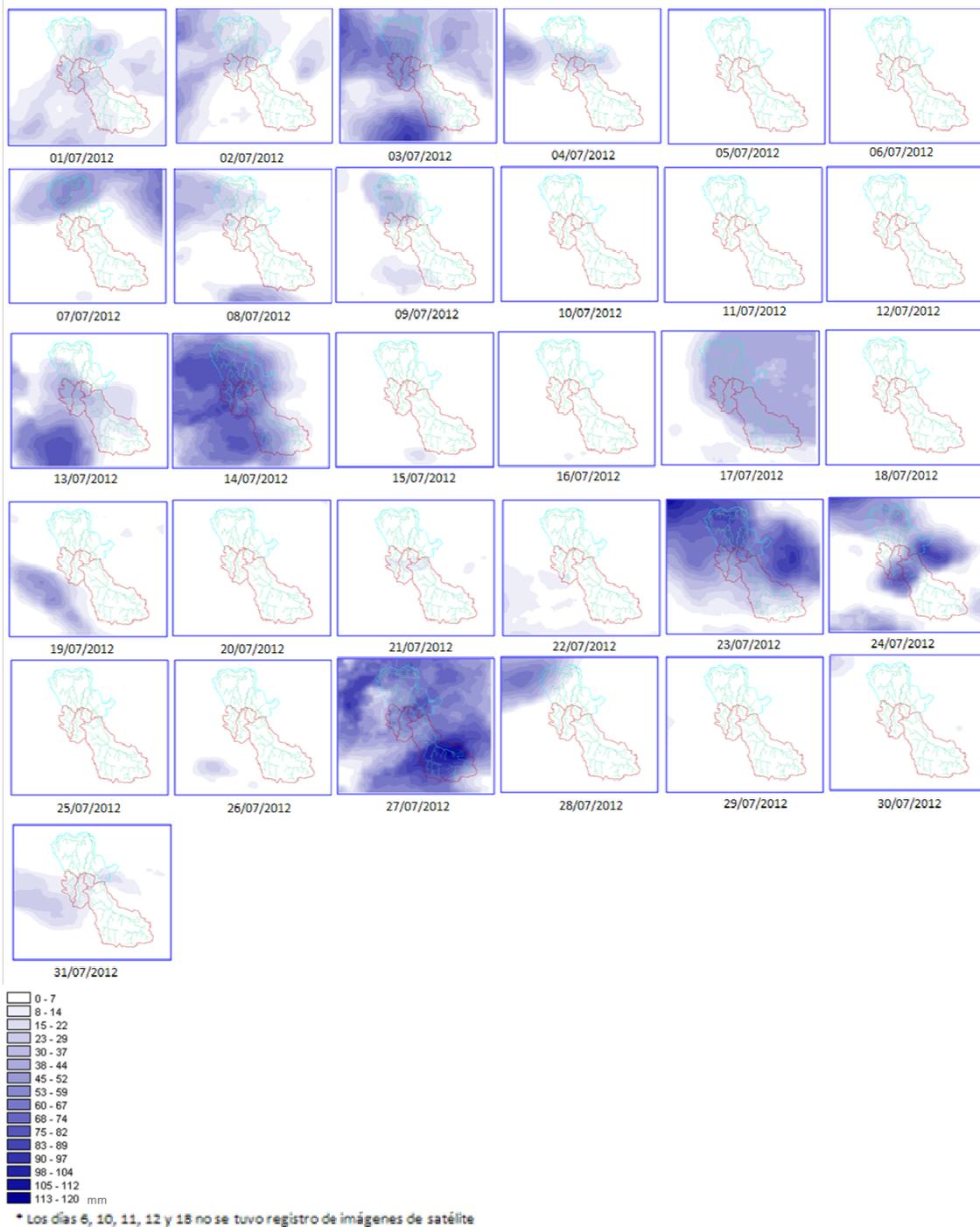


Figura B.8 Lluvia del 27 de julio de 2012

En la Figura B.9 se presentan las lluvias diarias del mes de julio, donde se observa las diferentes distribuciones lluvia en dicho mes.



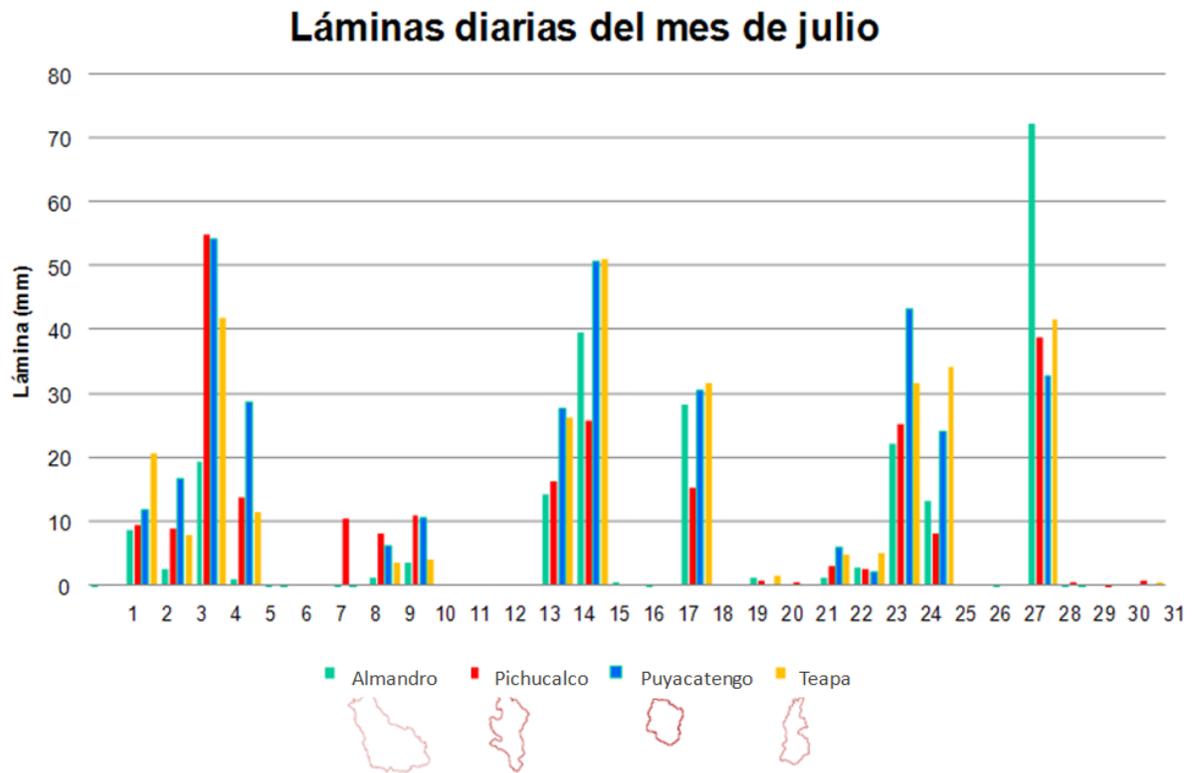
**Figura B.9 Lluvias diarias del mes de julio de 2012**

En la tabla B.5, se muestran las láminas diarias del mes de julio para las cuencas: Almandro, Pichualco, Puyacatengo y Teapa.

**Tabla B.5 Láminas diarias (mm) del mes de julio**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>	<b>Aljandro</b>	<b>Puyacatengo</b>	<b>Teapa</b>	<b>Pichucalco</b>
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 B.10 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 B..10 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 B.6), los datos se registran cada 10 minutos.

**Tabla B.6 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta julio de 2012**

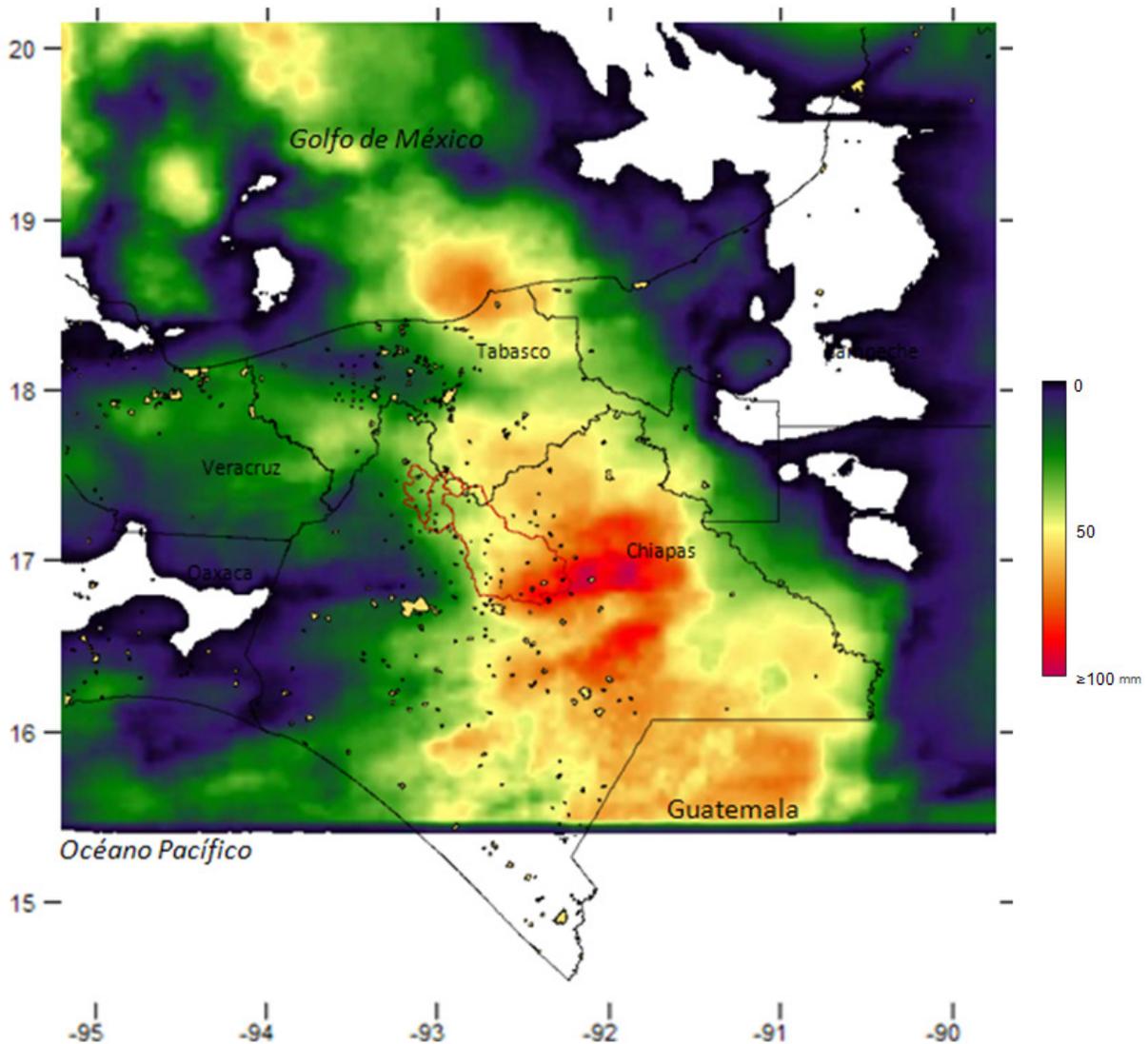
Identificador	Número total de datos	Número de datos validos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
TAB01	34512	34506	0	12.8	1818.4	0.05
TAB02	51984	51706	0	264.7	4886231.4	94.50
TAB03	55254	55229	0	369.6	9719245.3	175.98
TAB04	38574	38558	0	26.4	2330.6	0.06
TAB05	54811	54798	0	29.2	412352.5	7.52
TAB06	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

**Tabla B.6 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta julio de 2012**

Identificador	Número total de datos	Número de datos validos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
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

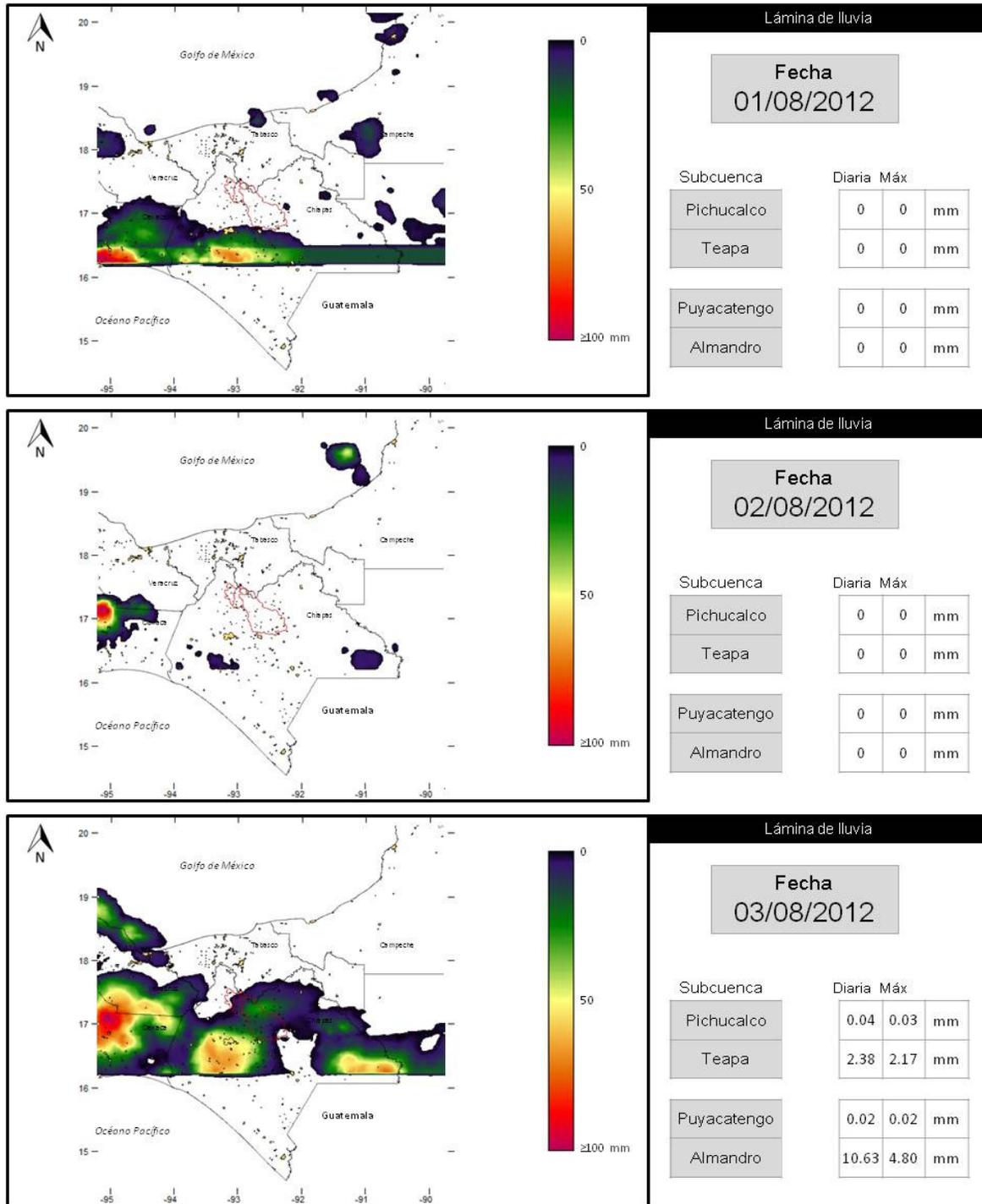
### Lluvia del mes de agosto

En la Figura B.11 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.

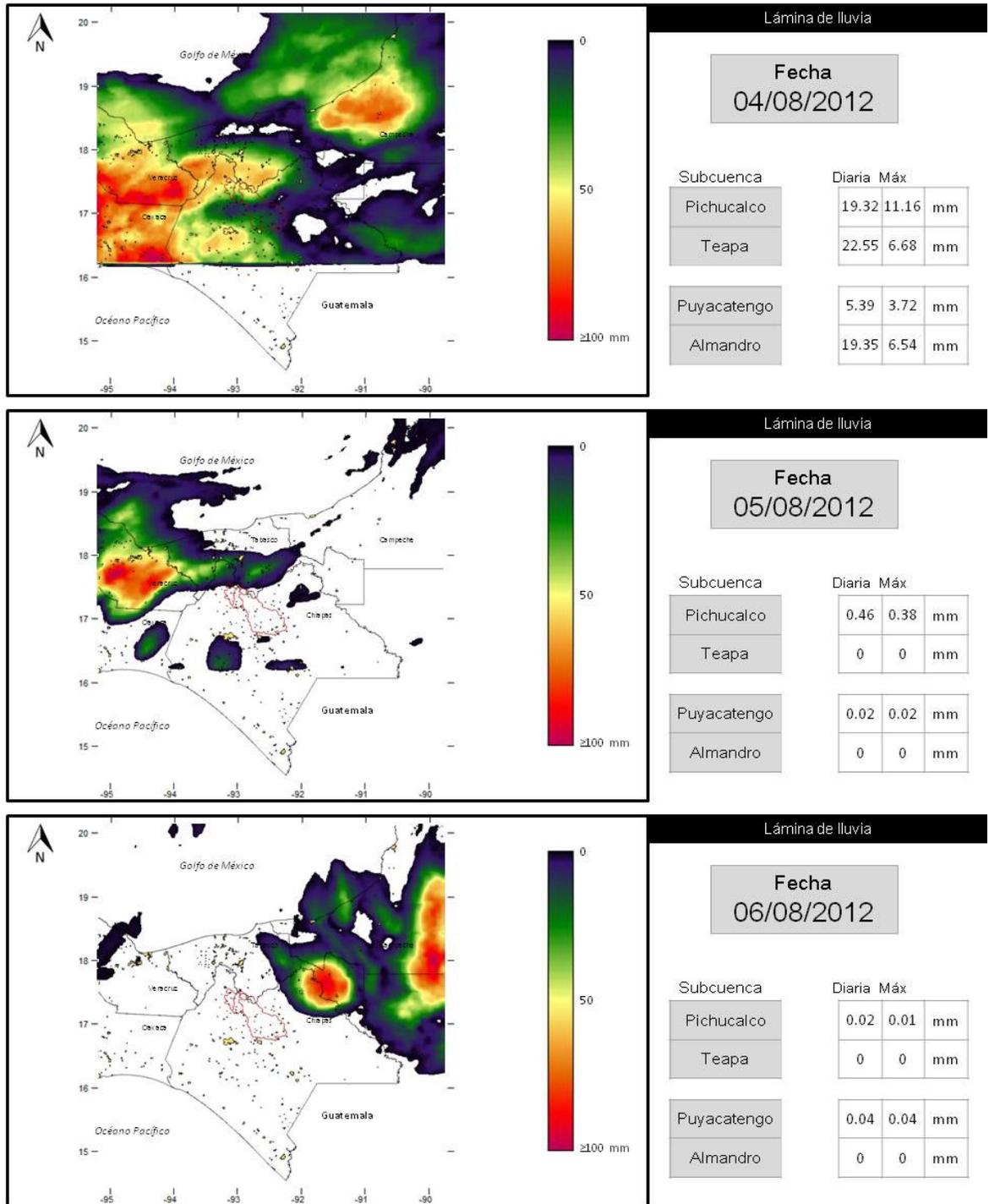


**Figura B.11 Lluvia del 8 de agosto de 2012**

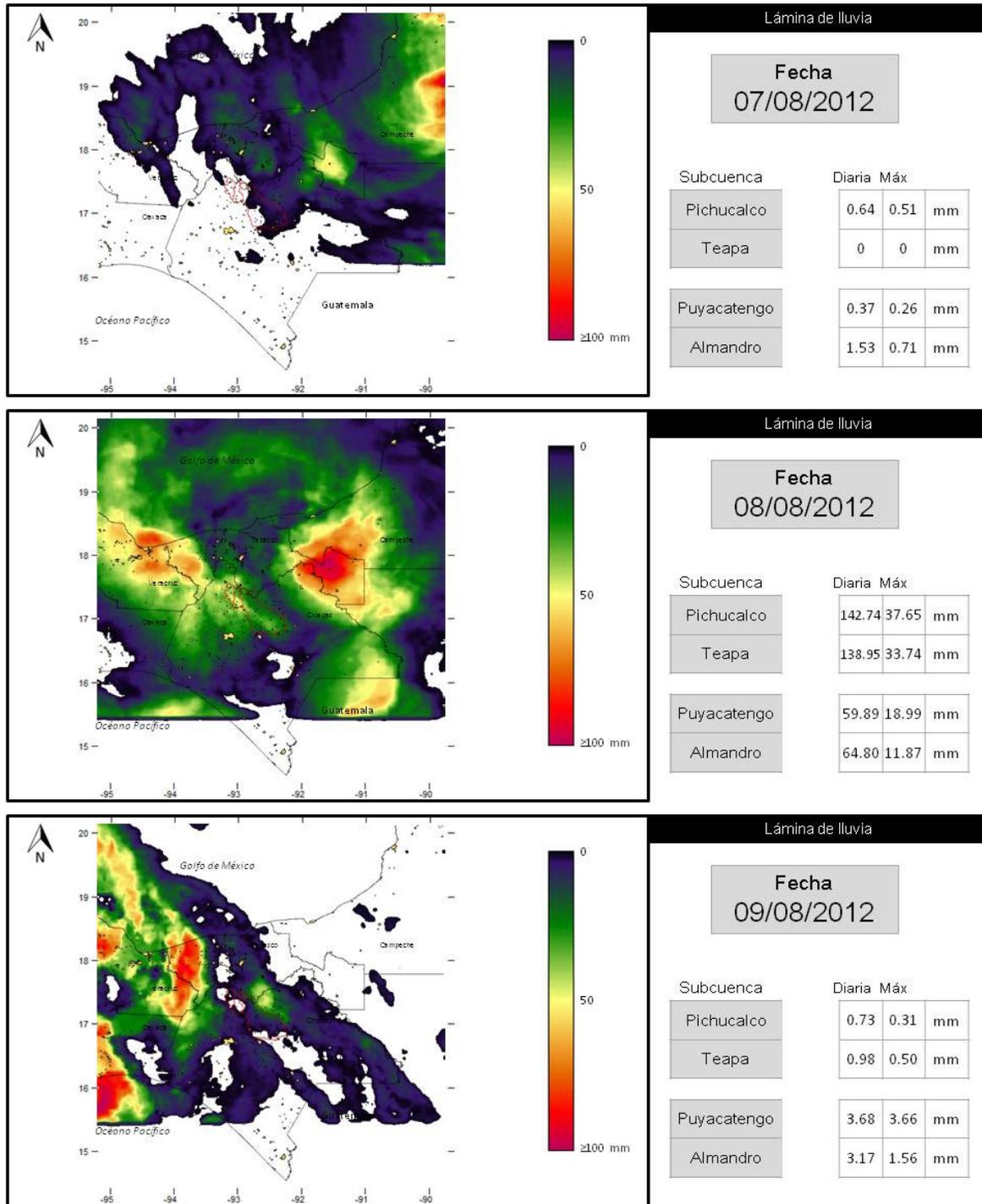
En la figura B.12 se muestran las estimaciones de la lluvia del mes de agosto, además del cálculo de las láminas diarias y máximas horarias en las cuencas analizadas. Las lluvias del 7 al 12 de agosto se deben a la presencia del huracán Ernesto.



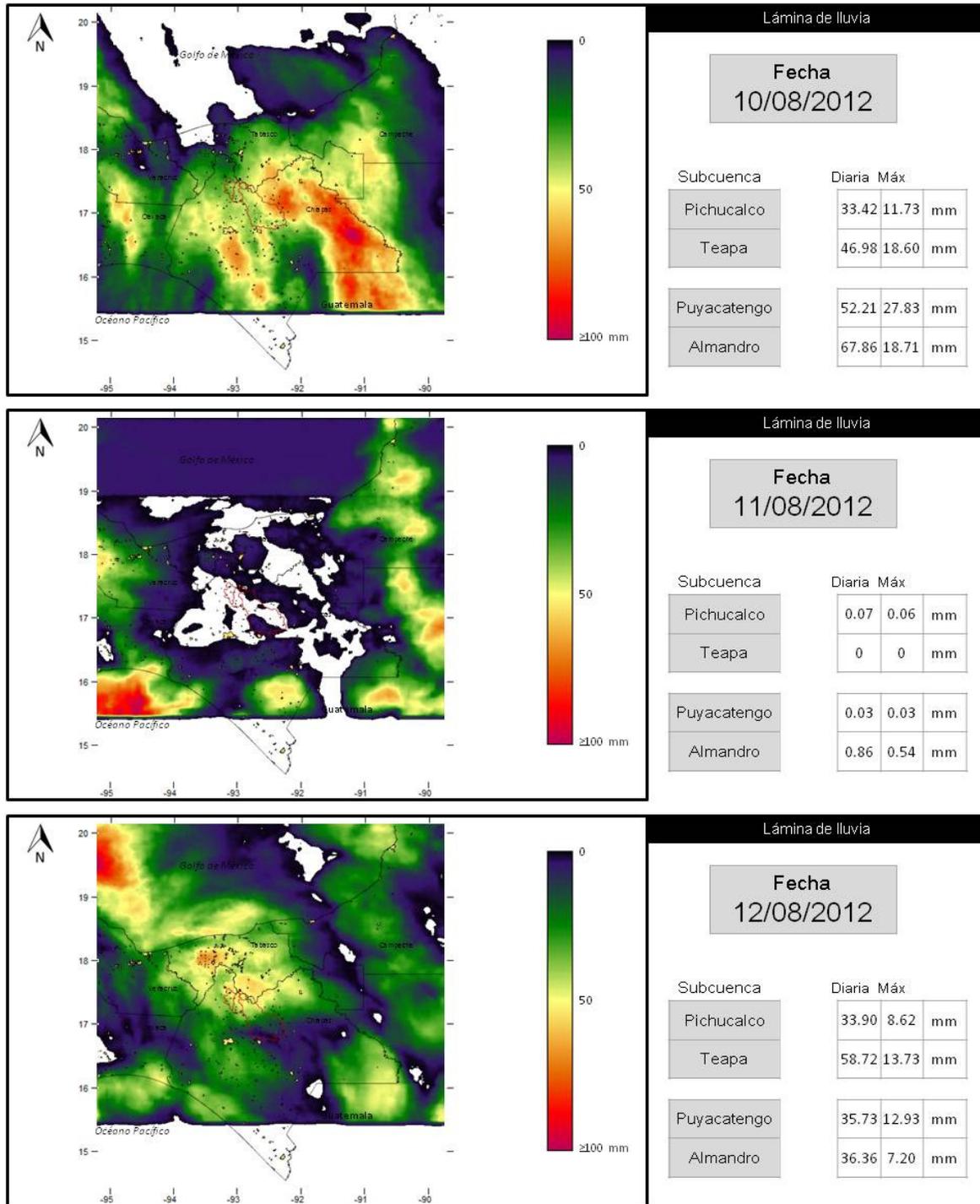
**Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria de los días 1 a 3 de agosto**



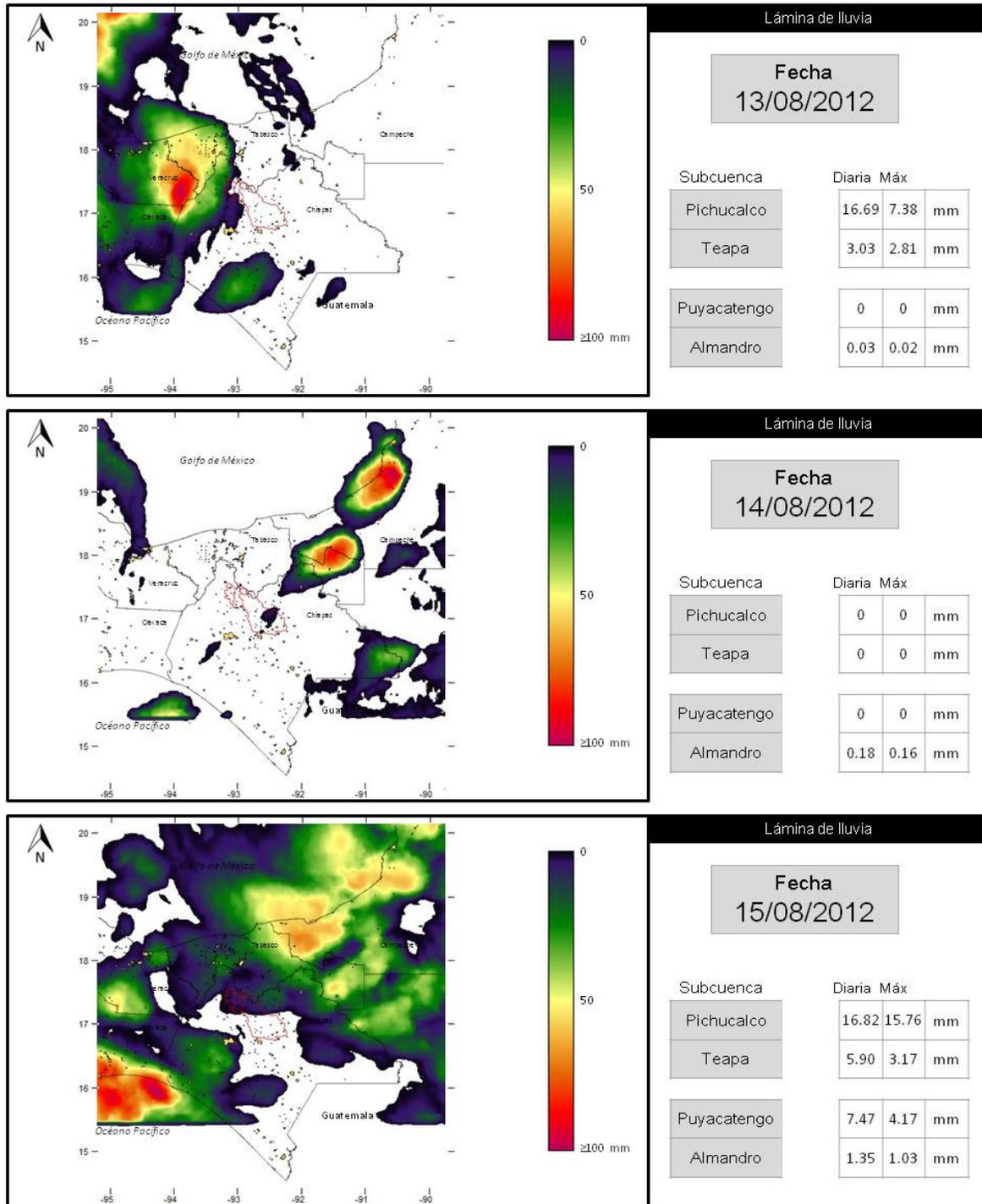
**Figura B.12** Estimación de la lluvia diaria de los días 4 a 6 de agosto



**Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria de los días 7 a 9 de agosto**



**Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria de los días 10 a 12 de agosto**



**Figura B.12** Estimación de la lluvia diaria de los días 13 a 15 de agosto

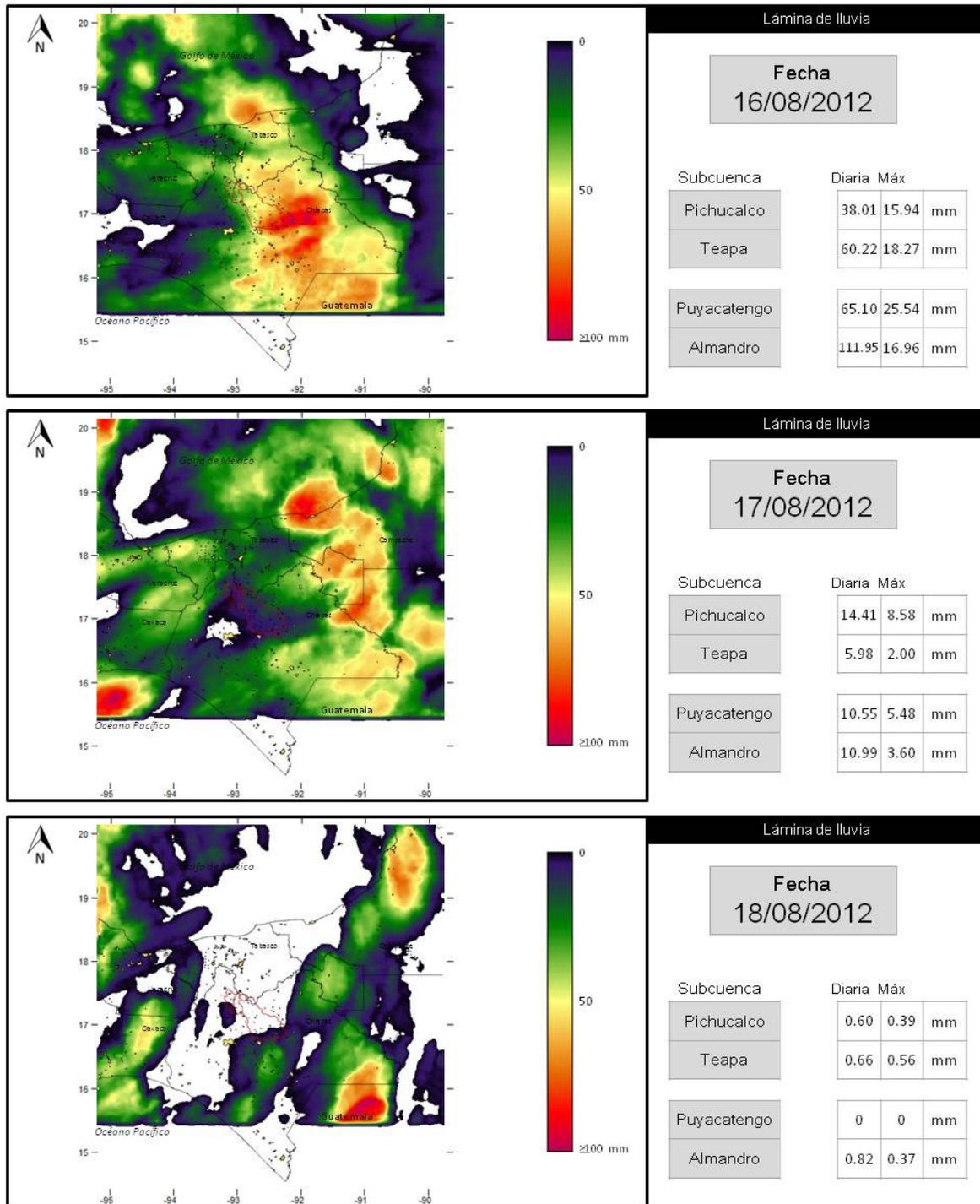
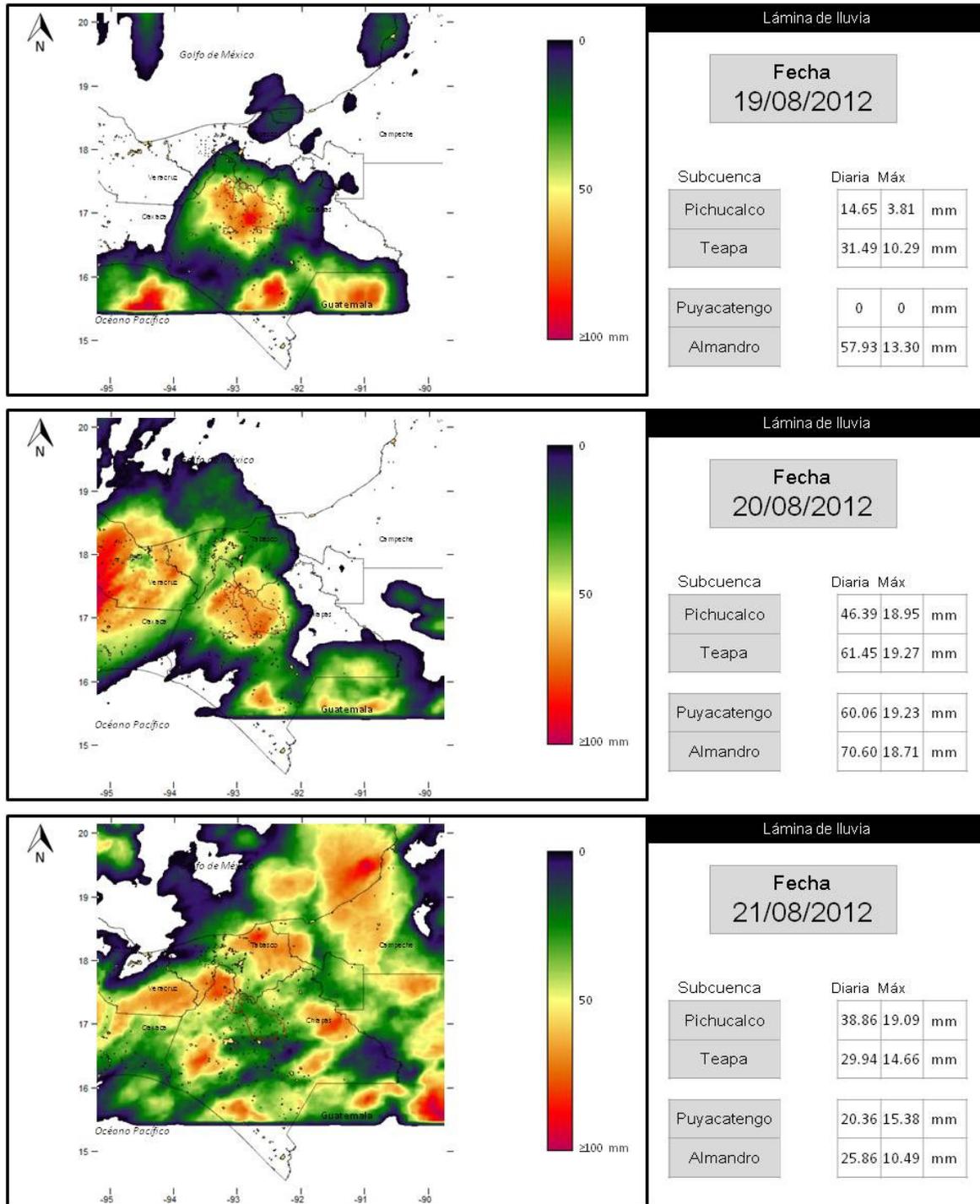


Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria de los días 16 a 18 de agosto



**Figura B.12** Estimación de la lluvia diaria de los días 19 a 21 de agosto

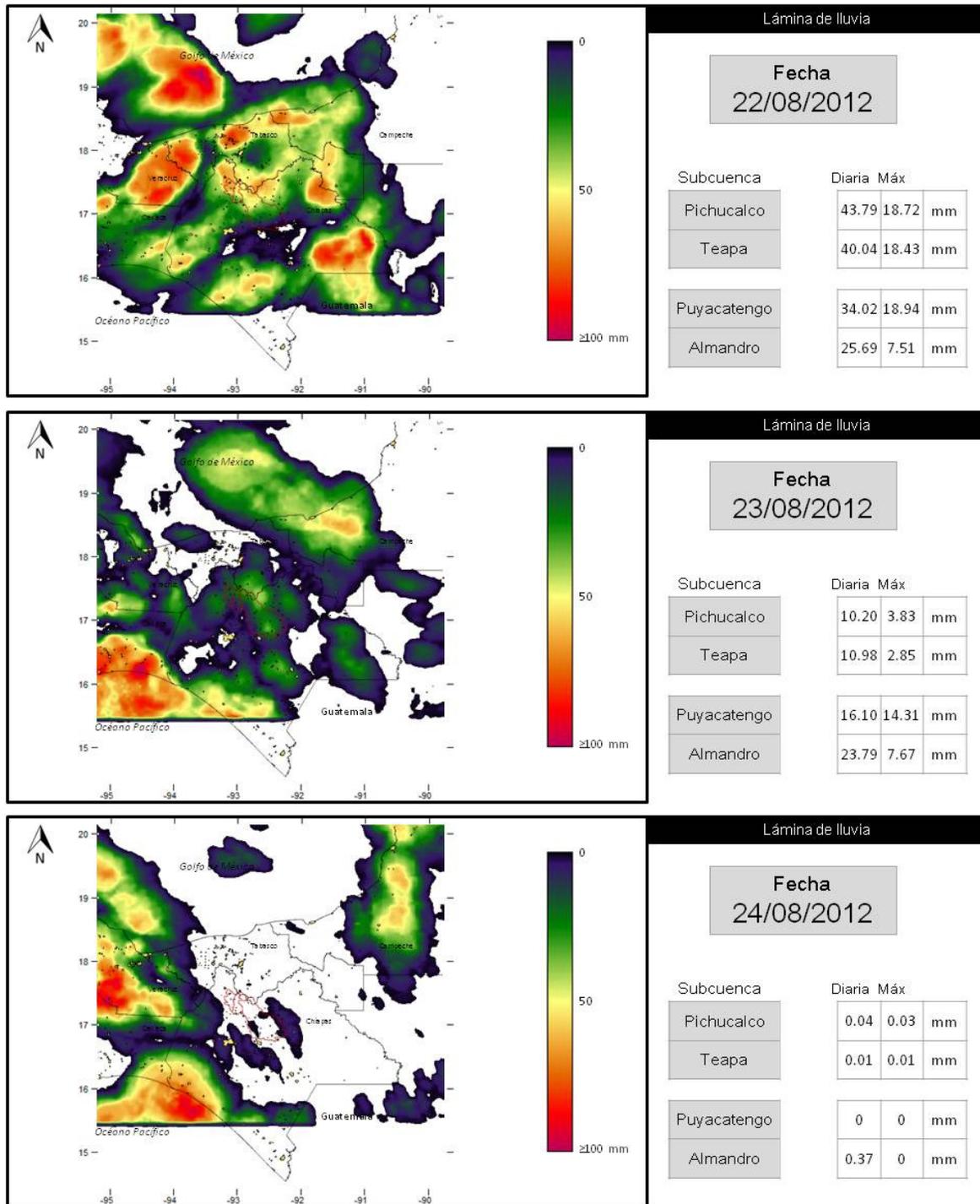
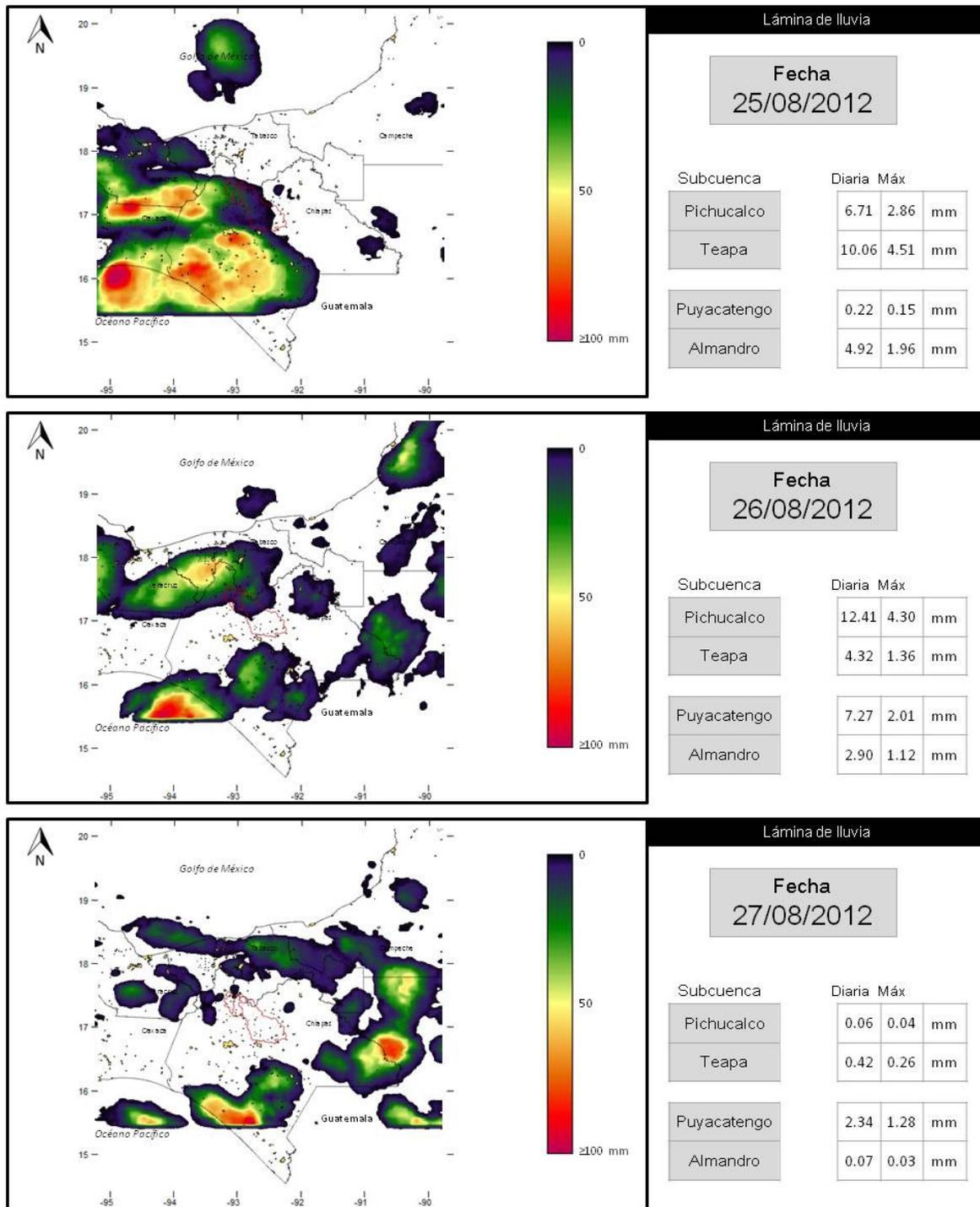


Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria de los días 22 a 24 de agosto



**Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria de los días 25 a 27 de agosto**

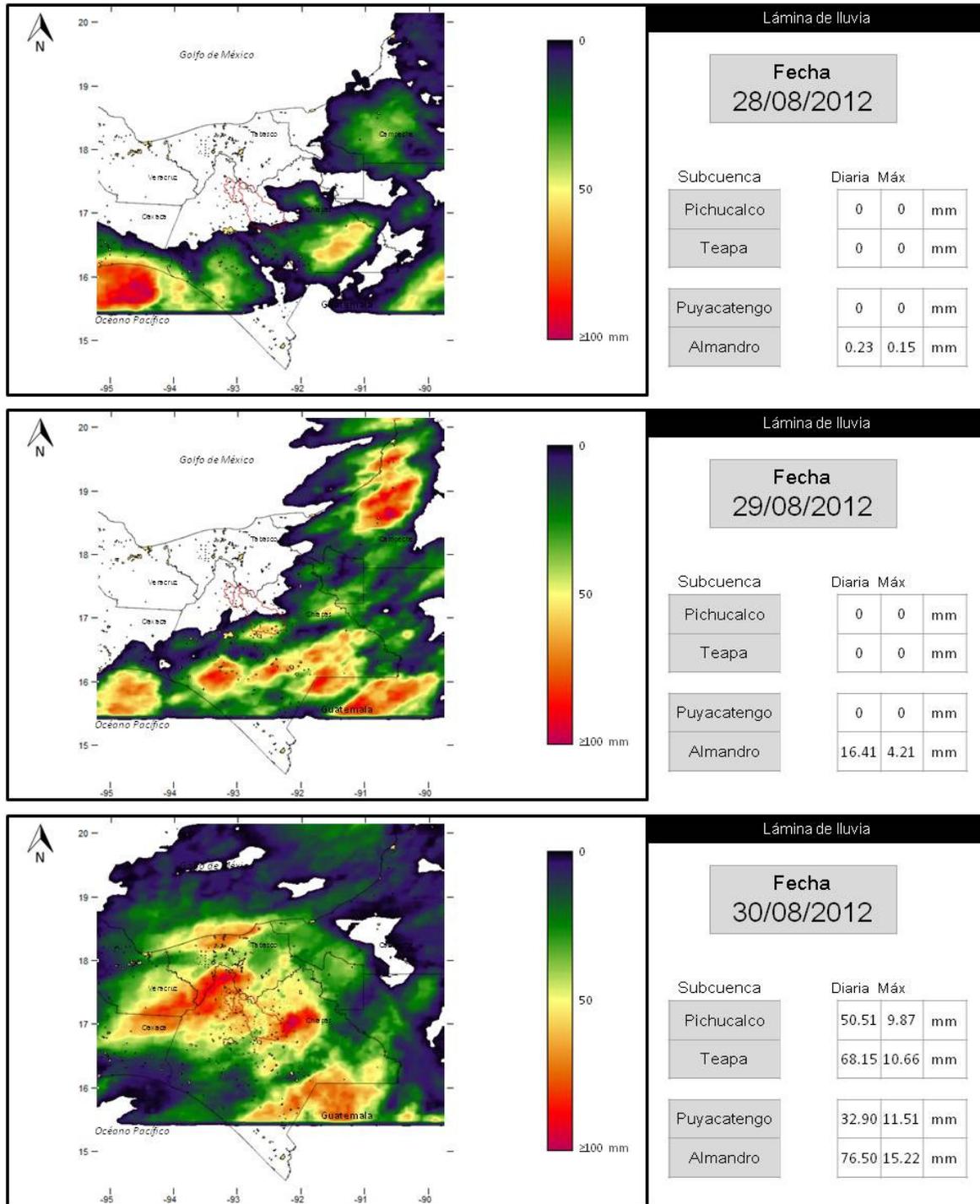
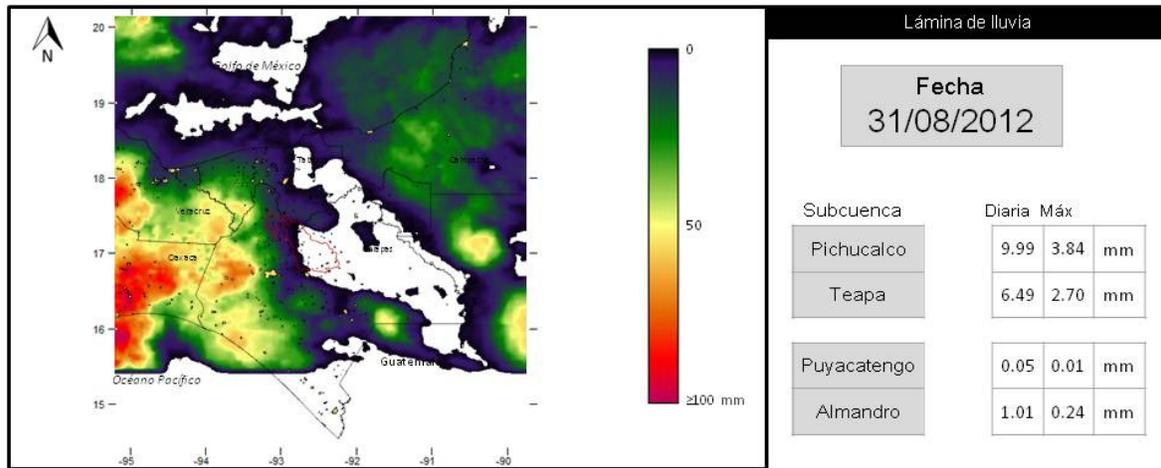


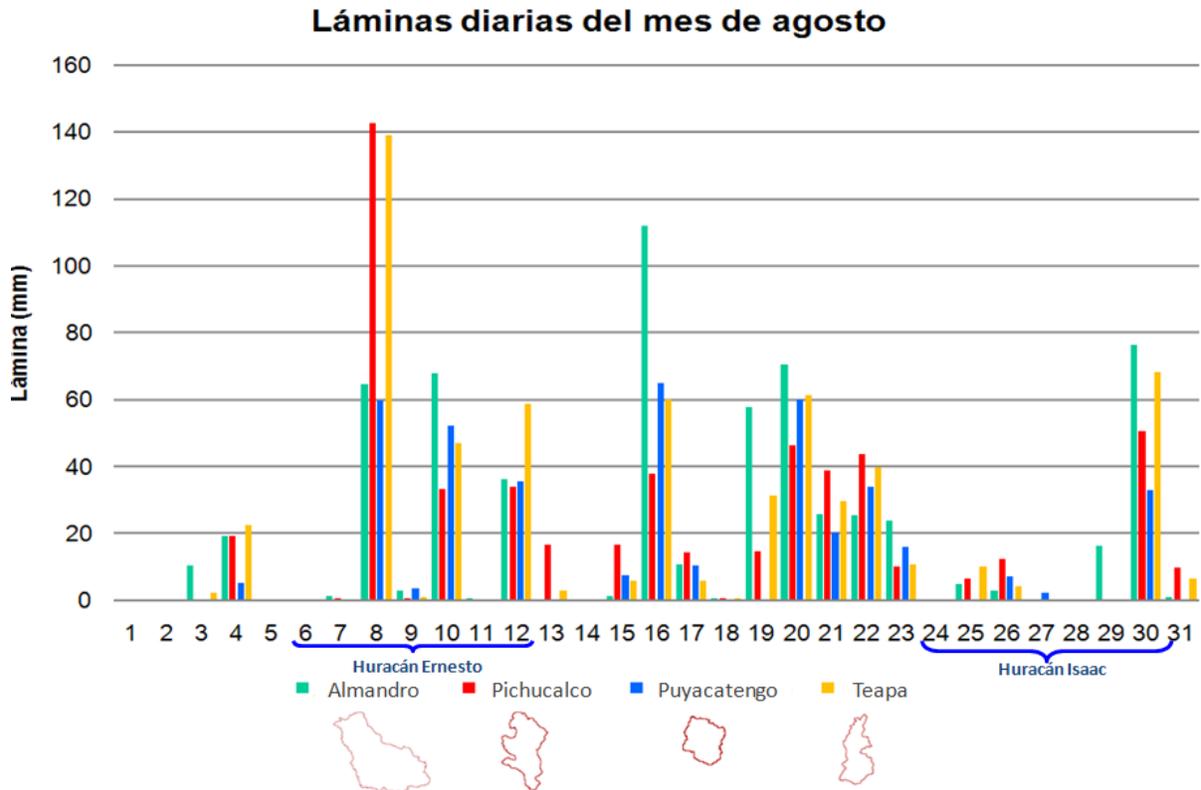
Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria de los días 28 a 30 de agosto



**Figura B.12 Estimación de la lluvia diaria del 31 de agosto**

En la Tabla B.7 se muestran las láminas diarias promedio del mes de agosto para las cuencas: Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa.

En la Figura B.13 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 B.13 Hietograma del mes de agosto de 2012**

**Tabla B.7 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 B.8 se muestra el resultado del análisis preliminar a los datos de las estaciones automáticas, hasta la información contenida en el mes de agosto.

**Tabla B.8 Resumen de la información de precipitación (mm) de las estaciones automáticas, hasta agosto de 2012**

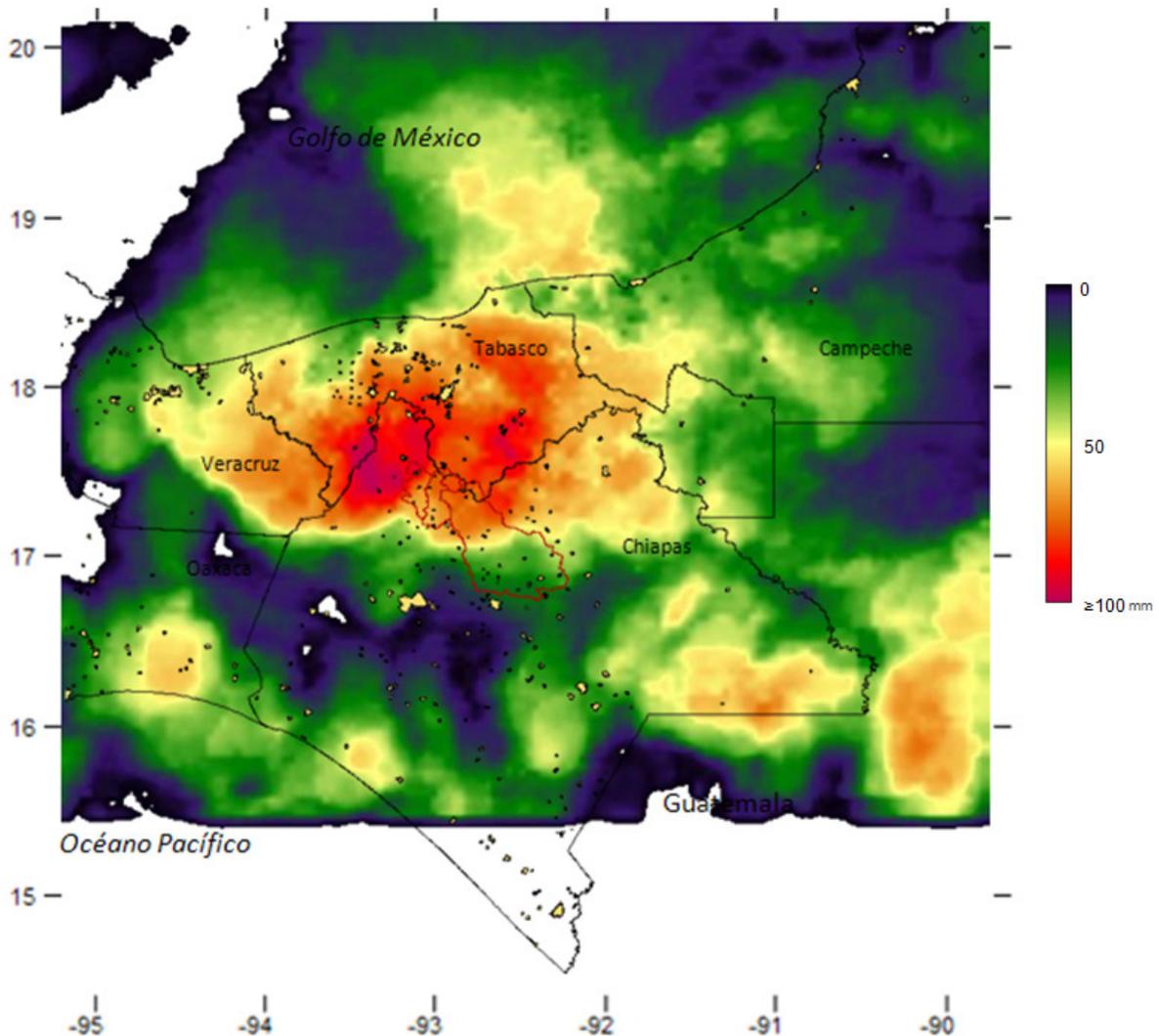
Identificador	Número total de datos	Número de datos validos	Valor mínimo	Valor máximo	Suma	Promedio
TAB01	38970	38964	0	15	2235	0
TAB02	56436	56158	0	265	4886730	87
TAB03	59706	59681	0	370	9719698	163
TAB04	43104	43081	0	26	2651	0
TAB05	58921	58905	0	29	412703	7
TAB06	59359	59355	0	20	2918	0
TAB07	9438	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

**Tabla B.8 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
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

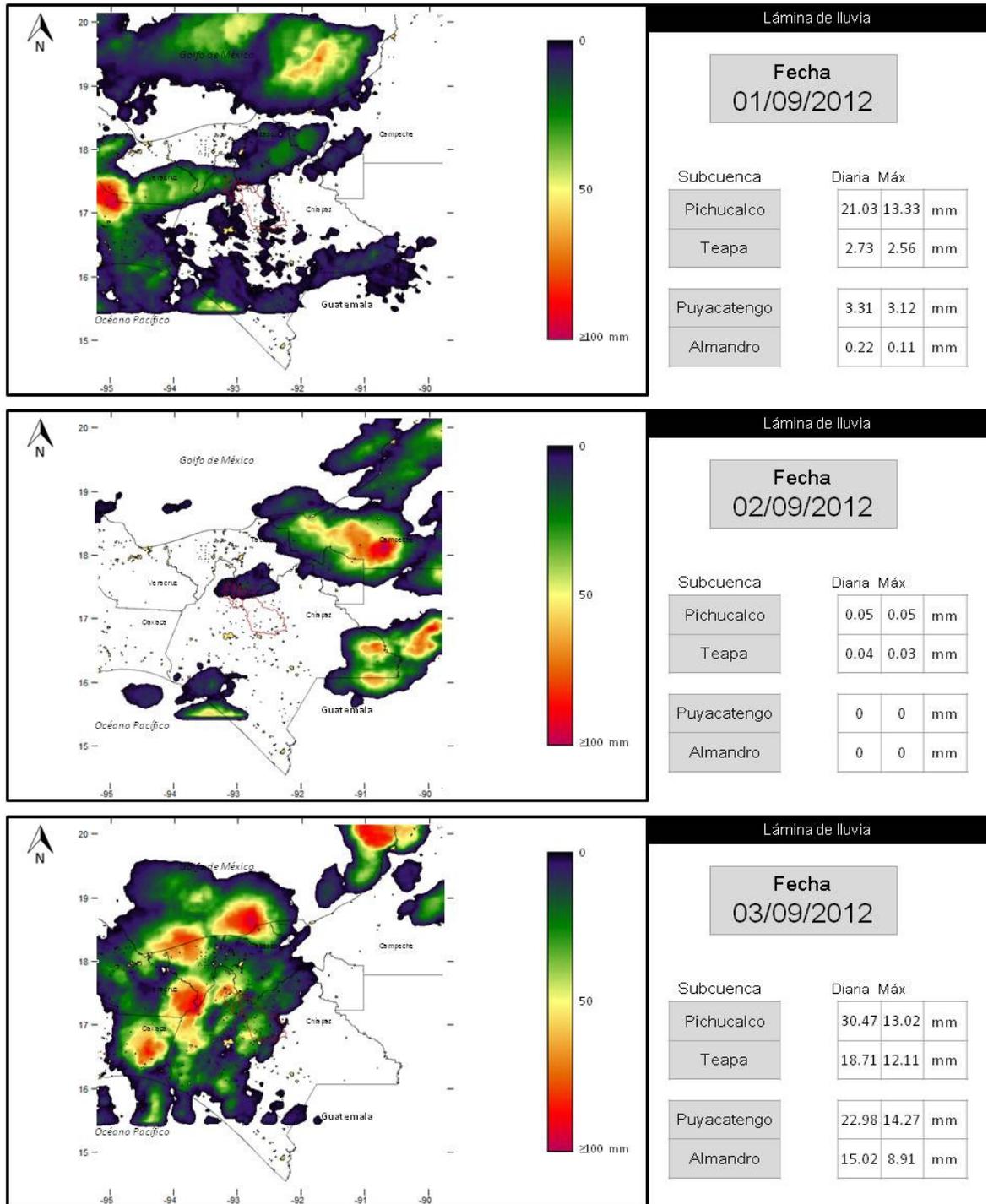
### Lluvias del mes de septiembre

En la Figura B.14 se presenta la distribución de la lluvia ocurrida el día 17 de septiembre, donde la lluvia se concentró en el territorio tabasqueño.



**Figura B.14 Lluvia del 17 de septiembre de 2012**

En las Figura B.15 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 B.15** Estimación de la lluvia diaria de los días 1 a 3 de septiembre

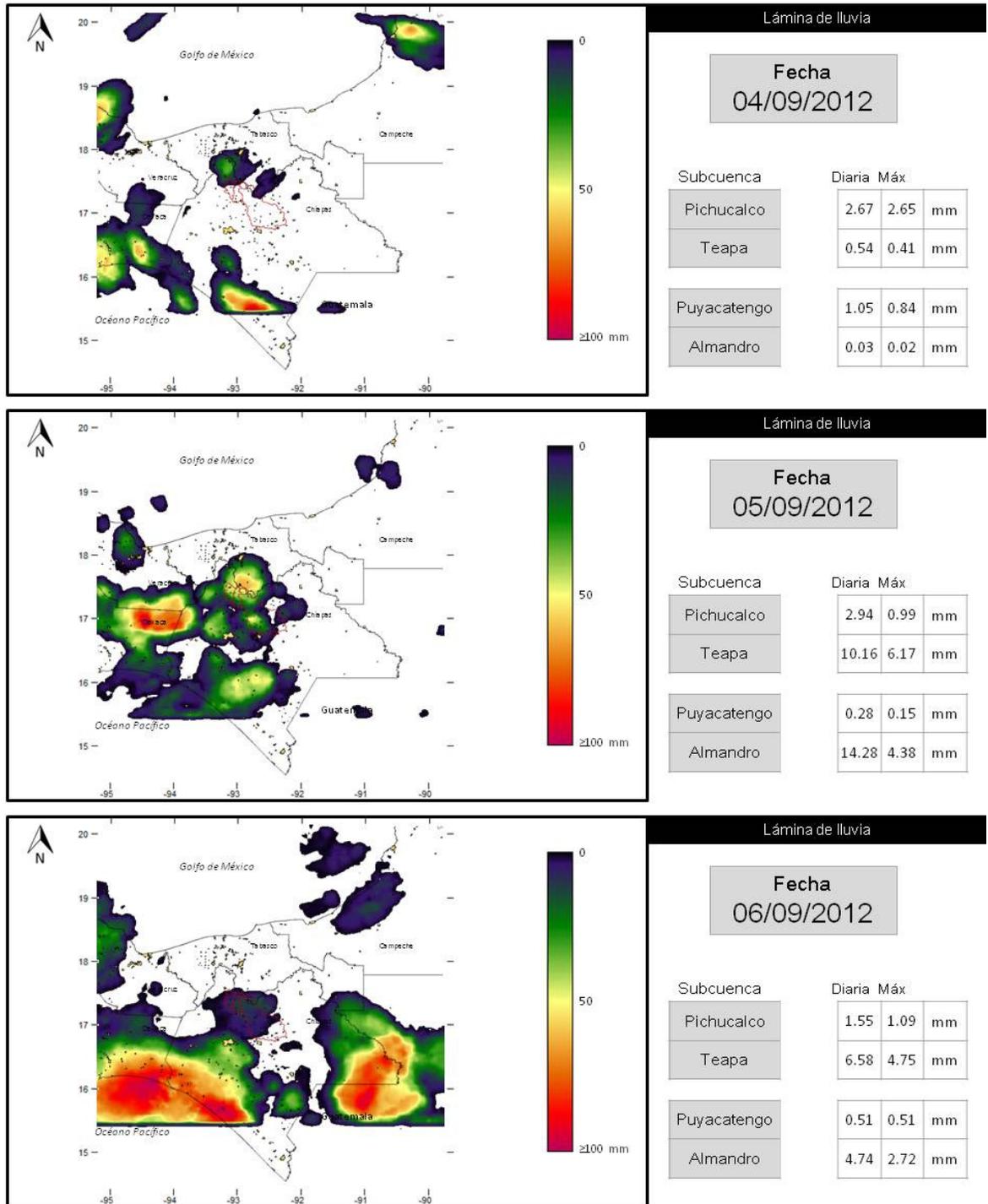


Figura B.15 Estimación de la lluvia diaria de los días 4 a 6 de septiembre

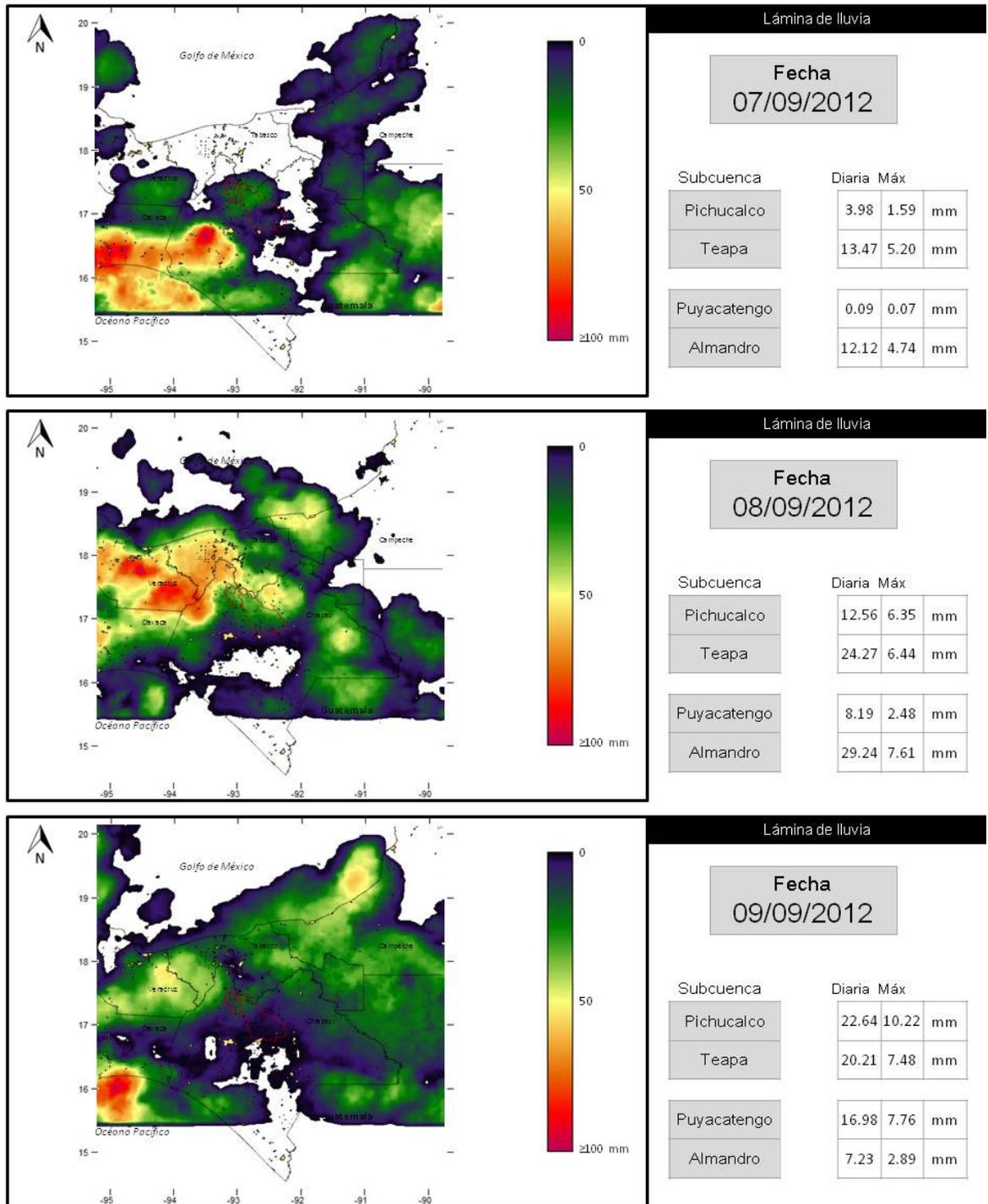


Figura B.15 Estimación de la lluvia diaria de los días 7 a 9 de septiembre

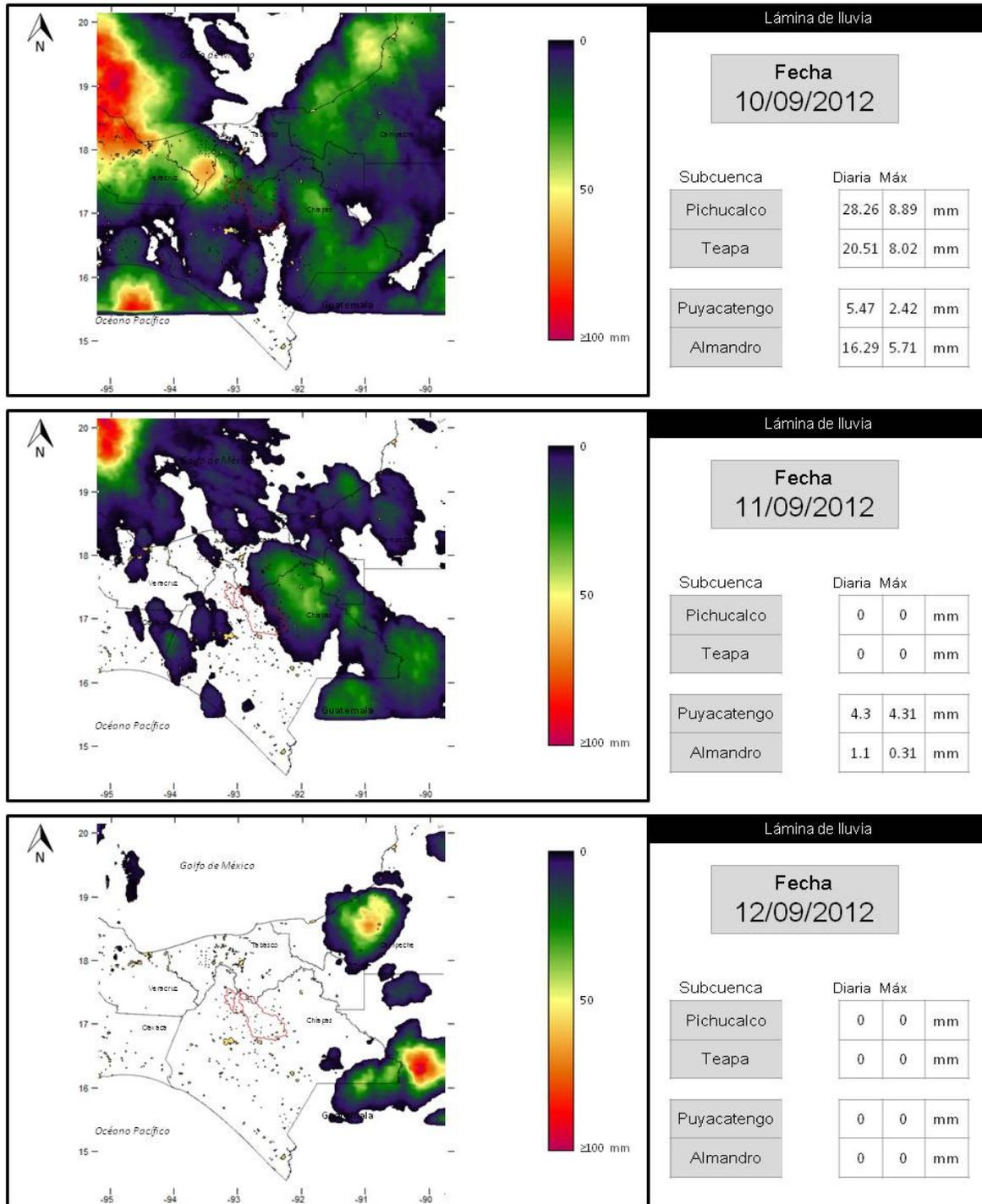
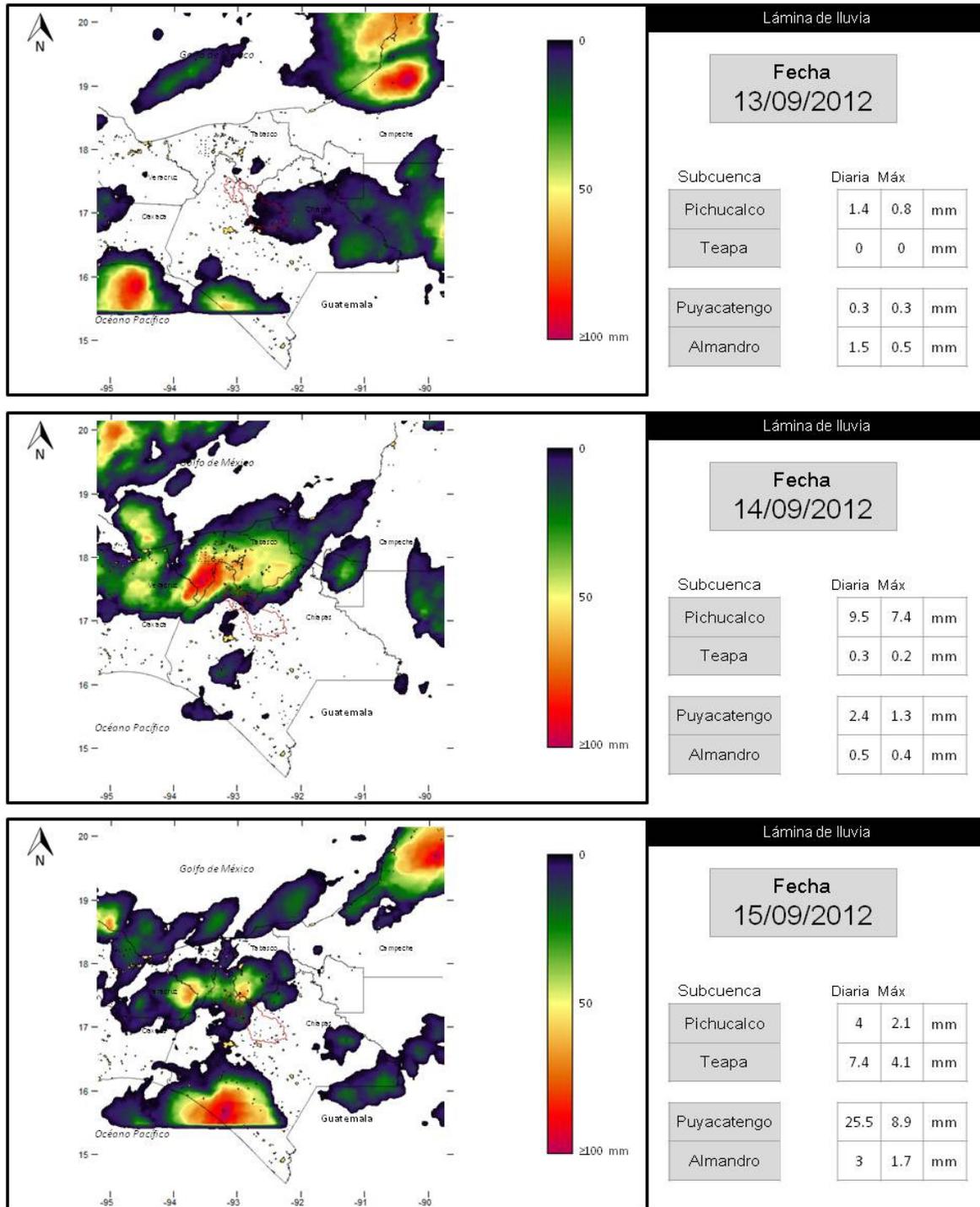
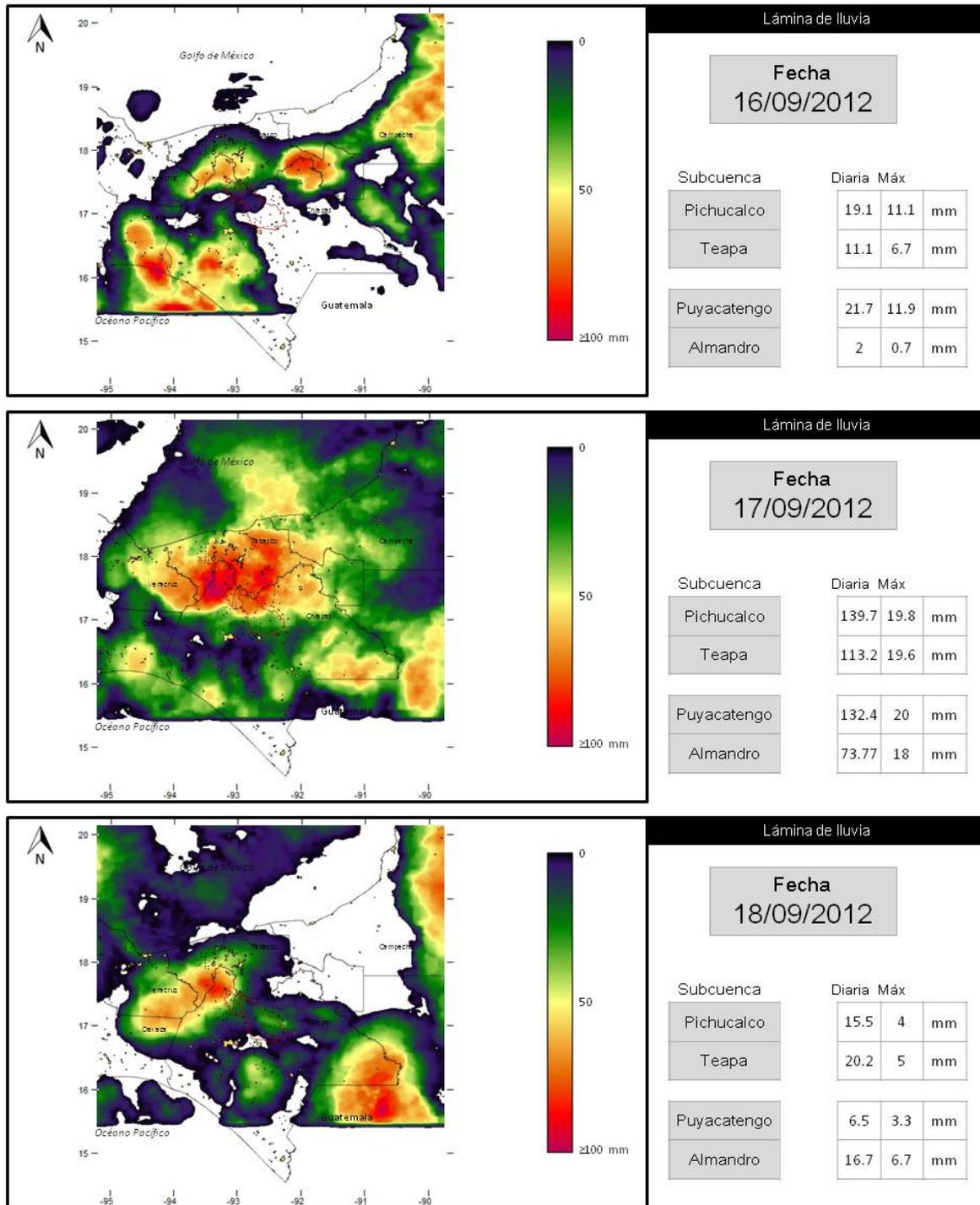


Figura B.15 Estimación de la lluvia diaria de los días 10 a 12 de septiembre



**Figura B.15 Estimación de la lluvia diaria de los días 13 a 15 de septiembre**



**Figura B.15 Estimación de la lluvia diaria de los días 16 a 18 de septiembre**

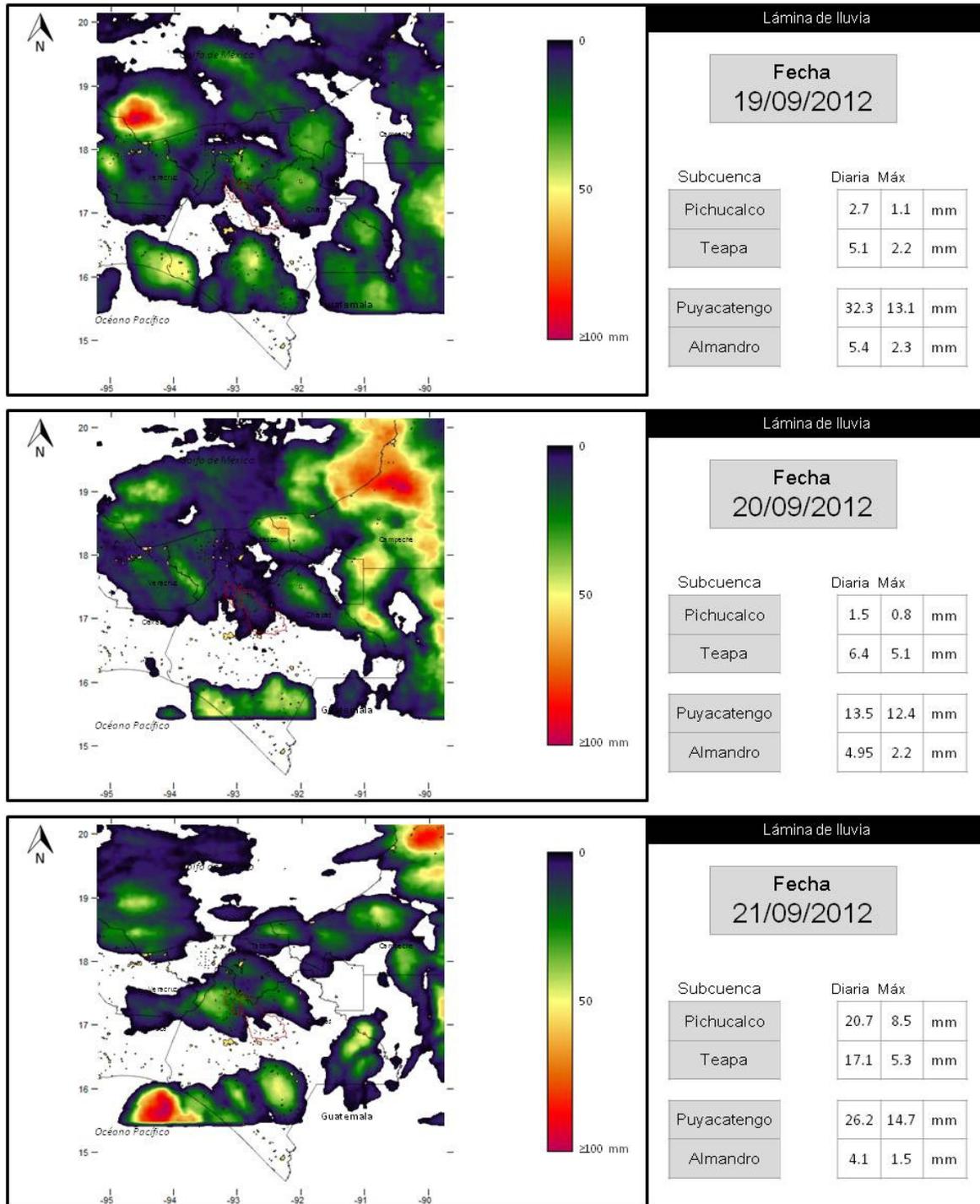
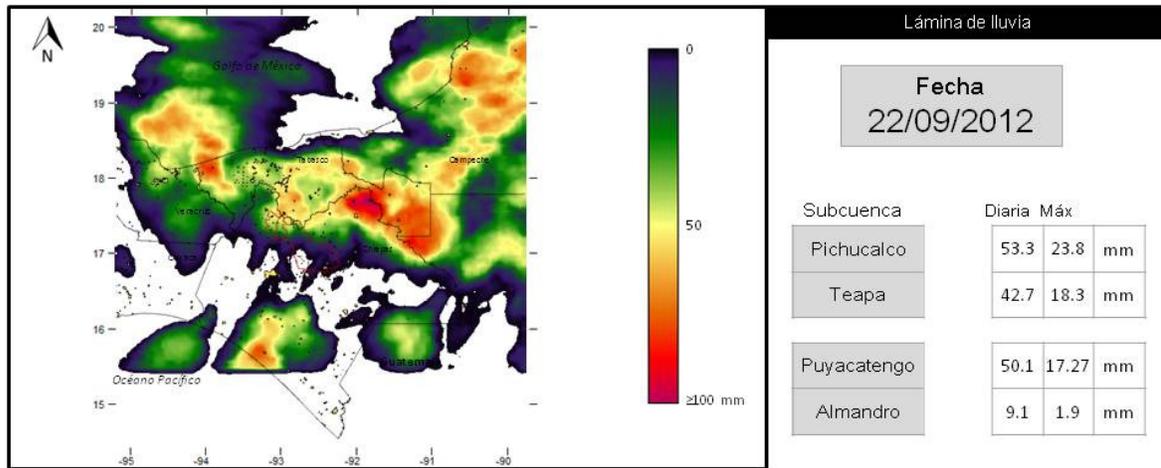
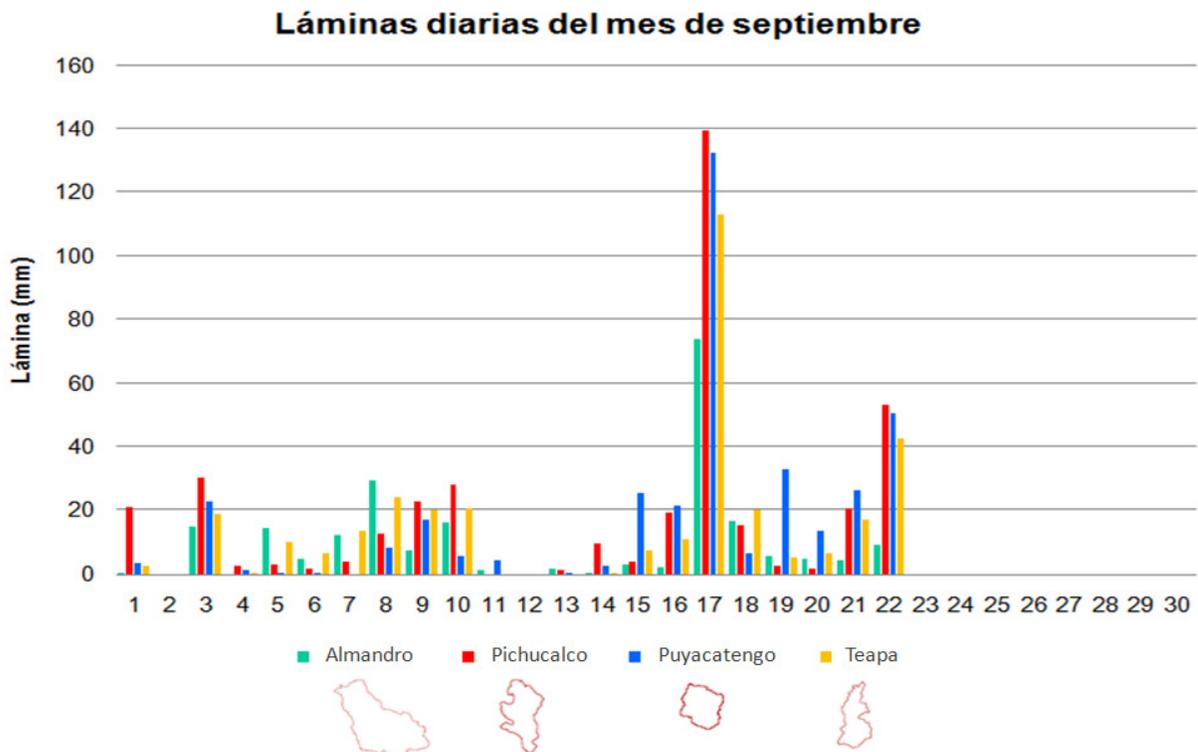


Figura B.15 Estimación de la lluvia diaria de los días 19 a 21 de septiembre



**Figura B.15 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 B.9, se muestran las láminas diarias promedio del mes de septiembre para las cuecas: Almandro, Pichucalco, Puyacatengo y Teapa. En la Figura B.16 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 B.16 Hietograma del mes de septiembre de 2012**

**Tabla B.9 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