

# **CAPÍTULO 1**

## El problema de inundaciones en Tabasco

# **1. El problema de inundaciones en Tabasco**

En este capítulo se presentan los aspectos generales necesarios para la comprensión del problema de inundaciones en el Estado de Tabasco. Entre ellos, se consideran los factores medio ambientales y antropogénicos que tienen una influencia directa en la gestación del problema de inundaciones que actualmente vive el Estado. En particular, se revisan sus condiciones geográficas, fisiográficas y climatológicas, su conformación hidrográfica, así como las diferentes alteraciones en las que el hombre ha sido determinante para el cambio de régimen en los ríos.

De tal suerte que a través de esta revisión se pueda brindar una perspectiva general e informada sobre las causas al problema de inundaciones que vive el Estado.

## **1.1 Descripción general del estado de Tabasco**

Tabasco junto con los estados de Chiapas, Campeche, Quintana Roo y Yucatán conforman la región sureste de México. Se localiza desde la planicie costera del Golfo de México hasta las montañas del norte de Chiapas. Entre los 17°15' y 18°39' latitud norte, y los 91°00' y 94°17' de longitud oeste. Limita al norte con el Golfo de México y los Estados de Campeche al este, Chiapas al sur y Veracruz al oeste, además de ser frontera con Guatemala.

El Estado se encuentra dividido en dos regiones, hacia el occidente se ubica la región del Grijalva y hacia el oriente la región Usumacinta (GET, 2010). Estas dos regiones, a su vez se encuentran subdivididas. La región del Grijalva está conformada por las subregiones Centro, Chontalpa y Sierra, mientras que la región del Usumacinta comprende las subregiones de los Ríos y Pantanos (ver Figura 1.1).

De tal manera que los 17 municipios del estado de Tabasco quedan distribuidos de acuerdo a sus subregiones, en la Figura 1.2 se observa la ubicación de los municipios. En la subregión Centro con una superficie de 2,572.84 km<sup>2</sup> concentran los municipios de Centro, Jalpa de Méndez y Nacajuca; cabe mencionar que esta representa la segunda subregión más poblada con 668, 502 habitantes que corresponden al 35.39% de la población total de la entidad. La subregión de la Chontalpa, es la más poblada, cuenta con una superficie de 7,606.09 km<sup>2</sup> y tiene 714,613 habitantes significa que el 37.82% de la población del estado, se encuentran los municipios: Huimanguillo, Cárdenas, Cunduacán, Comalcalco y Paraíso. La subregión de la Sierra, su nombre se debe a que se localiza al inicio de la Sierra Madre de Chiapas: Teapa, Jalapa y Tacotalpa.

Los municipios que integran la región del Usumacinta, en la subregión de los Ríos son: Balancán, Centla, Emiliano Zapata, Jonuta y Tenosique; la subregión de los Pantanos tiene los municipios de: Macuspana, Jonuta y Centla. La población en estas dos subregiones, en la de los Ríos es de 136, 723 habitante que es el 7.24% de la población estatal; en tanto la subregión de Pantanos es de 249,704 habitantes y representa el 13.22% de la población del estado.



Figura 1.1 División de la subregiones del estado de Tabasco (GET, 2010)



Figura 1.2 División política de los municipios que pertenecen al estado de Tabasco (GET, 2010)

### 1.1.1 Fisiografía

El Estado de Tabasco es la última provincia fisiográfica de la cuenca del territorio mexicano; que desde el punto de vista geológico se encuentra en proceso de formación. El comienzo de la formación se remonta a la era secundaria en el periodo Jurásico, cuando en el territorio que ahora ocupa Tabasco, se encontraba el océano. De tal forma, se puede decir que el territorio emergió, a partir de la formación de depósitos salinos, que bajo una fuerte acción de levantamiento tectónico dio origen a masas salinas intersticiales y domos salinos cristalizados que en la actualidad se ubican a poca profundidad, en el occidente de Tabasco y sur de Veracruz. (Velázquez, 1994)

La extensa planicie de suelos aluviales de Tabasco de la Llanura Costera del Golfo es el resultado del acarreo de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta, que durante miles de años han depositado los materiales que traen

desde las montañas de Chiapas y Guatemala. Estos aluviones presentan texturas muy variables: son limo-arcillosos en el sector central de la Chontalpa, arcilloso-arenosos en las márgenes del río Tonalá y norte de Chiapas, y arcillosos en gran parte de la zona costera de la región de los Ríos. Asimismo la graduación del material se encuentra definido conforme al curso del río; en los desbordamientos periódicos, el material aluvial más grueso y pesado se deposita junto al cauce principal (barrote del río), formando planicies fluviales; el material de aluvión más ligero acompañado por partículas finas, se transportan hacia las zonas de inundación más bajas y alejadas de los cursos de los ríos.

Actualmente la fisiografía del terreno, se caracteriza principalmente en dos porciones: la mayor parte del territorio por llanuras y una pequeña parte de sierras. En la Figura 1.3 se aprecia la fisiografía de Tabasco y Chiapas.

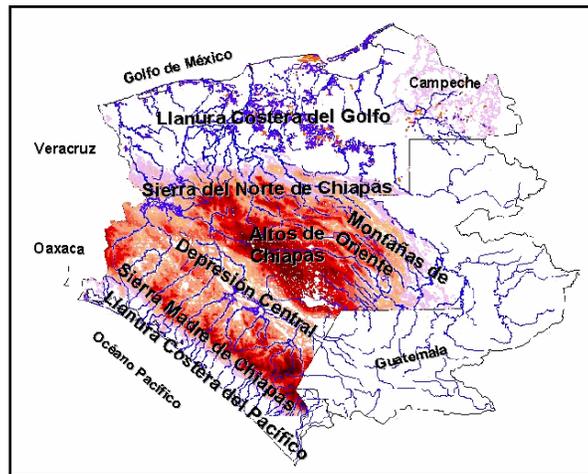


Figura 1.3 Mapa Fisiográfico de la Cuenca del Grijalva (APFM, 2006)

### ***Llanura Tabasqueña***

Considerada como la más grande llanura costera aluvial del país. Se formó a partir de los sedimentos depositados en las cuencas marinas y lacustres, a partir del final de la Era Paleozoica y el comienzo de la Era Mesozoica hasta la Era Cenozoica, específicamente en el periodo Cuaternario. Los materiales arrastrados por la red de los ríos y arroyos de toda la llanura tabasqueña, siguen formando depósitos que dan origen a las barras litorales.

Los sistemas morfogénicos que pueden identificarse en la Llanura Tabasqueña son los siguientes:

*Bordes y dunas de playa:* Son depósitos que se originan por los desbordamientos de los ríos y la acción del oleaje. De tal manera el material que los conforma es arenoso, suelto y con mineralogía mezclada. Se localizan en casi toda la línea de costa, predominando en el gran delta de los ríos Grijalva y Usumacinta, en el sistema fluvial de Mezcalapa y del río San Pedro y San Pablo; en su mayor parte en los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Paraíso y Centla. Este sistema

morfológico posee un relieve que tiene una serie de bordes o camellones alargados en dirección paralela de la costa. Gran planicie del llano costero aluvial del período reciente: Es una extensa planicie que se encuentra conformada por terrenos bajos y pantanosos; está integrada por los depósitos de los ríos en su transportación fluvial de material que proviene de las partes altas por medio de los bajos deltaicos de los ríos Grijalva, Mezcalapa y Usumacinta hasta el Golfo de México. Las lagunas y pantanos en la zona baja se generaron por las frecuentes inundaciones.

*Lomeríos o terrazas aluviales del pleistoceno:* Su formación es la más remota, y se debe a la última glaciación. El desplazamiento del mar ocasionó el surgimiento de la actual planicie costera del pleistoceno, quedando un desnivel con respecto a la planicie aluvial antigua; la erosión provocada por el agua provocó la segmentación y formación de una serie de lomeríos o terrazas de baja altura. En la antigua planicie contiene suelos rojos y amarillos, ácidos, erosionables y poco fértiles. Se ubica en los lomeríos de Cárdenas, Huimanguillo, Macuspana, Jalapa, Tacotalpa, Teapa, Emiliano Zapata, Balancán y Tenosique.

### **Sierras de Chiapas y Guatemala**

La Sierra de Chiapas y Guatemala el suroeste de Tabasco, atraviesan los municipios de Huimanguillo, Teapa, Tacotalpa, Macuspana y Tenosique. Estas cadenas montañosas fueron formadas por dos movimientos tectónicos diferentes: el de compresión, que provocó el arqueamiento o deformación de las capas rocosas más flexibles de la corteza terrestre (plegamiento), y el de distensión que causó los desniveles de terreno a causa de las fallas y fracturas en las capas rocosas. La composición de los cerros es básicamente de rocas sedimentarias, calizas, lutitas y areniscas.

Los suelos están constituidos por materiales primarios, que se caracterizan por ser fértiles pero muy erosionables por el acarreo del agua en las pendientes que se formaron por las lluvias (West et al. 1985).

#### **1.1.2 Cuencas**

Las masas de agua que constituyen al Estado Tabasco son de dos tipos: continentales y oceánicas. Las aguas oceánicas provienen del Golfo de México, su litoral tiene una extensión de 191 km. El litoral tabasqueño se caracteriza por tener una escasa profundidad, debido a los fenómenos de regresión marina y a procesos de sedimentación fluvial. Por lo que respecta a las aguas continentales, estas pueden ser de agua dulce, salada o salobre. Dentro de la llanura tabasqueña, es común encontrar la formación de meandros en el curso bajo de los ríos Mezcalapa, Usumacinta y Grijalva; las desembocaduras deltaicas del Grijalva y Usumacinta; y la formación de los sistemas lagunares como El

Carmen, Pajonal, Machona y Mecoacán. Dichas formaciones están caracterizadas dentro del sistema de cuencas hidrográficas de Tabasco.

Las cuencas del Estado se agrupan en dos principales regiones hidrológicas. La región RH29 del río Coatzacoalcos ubicada en la parte occidental y la RH30 del río Grijalva-Usumacinta en la parte oriental.

La región hidrológica de Coatzacoalcos está conformada a su vez por la Cuenca del Río Tonalá y las Lagunas del Carmen y Machona. Por otra parte, se encuentra la región hidrológica de Grijalva-Usumacinta que se integra por tres cuencas: la del Río Usumacinta, Laguna de Términos, y la mayor del estado es la del Río Grijalva-Villahermosa, tal y como se reporta en la Tabla 1.1.

La Figura 1.4 presenta la distribución geográfica de ambas regiones en el mapa del Estado de Tabasco.

<b>REGIÓN</b>	<b>CUENCA</b>	<b>% DE LA SUPERFICIE ESTATAL</b>
RH29 COATZACOALCOS	R. Tonalá y Laguna del Carmen y Machona	24.78
RH30 GRIJALVA- USUMACINTA	R. Usumacinta	29.24
	L. de Términos	4.53
	R. Grijalva-Villahermosa	41.45

Tabla 1.1 Clasificación de las Regiones y Cuencas Hidrológicas del estado de Tabasco. (INEGI, 2010)

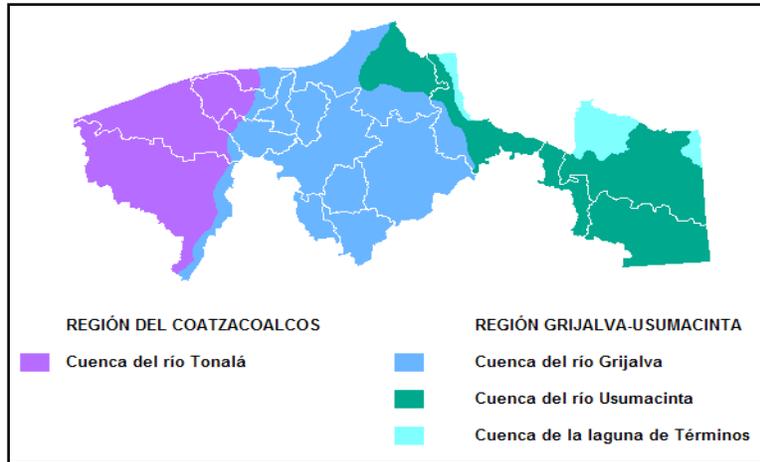


Figura 1.4 Regiones Hidrológicas del Estado de Tabasco con sus respectivas cuencas (Rosique P.J.A., 2006)

### ***Región Hidrológica Coatzacoalcos***

La cuenca del Río Tonalá y Lagunas del Carmen y Machona, se localiza entre las de los ríos Coatzacoalcos y Mezcalapa. Ubicándose a su vez, en la zona costera entre esta cuenca y la del Mezcalapa, la de algunos ríos del litoral costero, de poco volumen y escaso desarrollo, que no pertenecen a ninguna de las anteriores. Entre los ríos que la componen se encuentran:

#### *Río Tancochapa*

Esta corriente tiene su origen en los límites entre Veracruz y Chiapas, al norte de la Sierra Madre de Chiapas, en la llamada serranía de Tres Picos (prolongación del contrafuerte de la Gineta y las faldas nororientales del cerro Mono Pelado). Este río nace en el Sierra Madre de Chiapas, al inicio se conoce con el nombre de Pedregal y posteriormente como río Tancochapa, al encontrarse con el arroyo Poza Crispín localizado en la población Francisco Rueda, es justamente cuando se le denomina como río Tonalá.

#### *Río Tonalá*

Se origina a partir del río Tancochapa, y después toma el nombre de río Tonalá, desemboca en el Golfo de México a través de la Barra de Tonalá, a unos 30 kilómetros al sureste de Coatzacoalcos, Veracruz. Sus afluentes principales en territorio tabasqueño son los ríos Zanapa, Blasillo y Chicozapote. De los cuales, el primero es el más importante. Las sub cuencas intermedias que forman parte de la cuenca del Río Tonalá son las siguientes: "Lagunas del Carmen-Machona", "Río Santa Ana", "Río Cocajapa", "Río Tonalá", "Río Tancochapa Bajo" y "Río Pozacrispín".

### ***Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta***

Esta región hidrológica tiene categoría internacional, ya que se desarrolla en territorio mexicano y guatemalteco. Sus límites dentro de México quedan definidos al este por el río Suchiate, al sureste y sur por el límite político entre Chiapas y Guatemala, al noreste por el río Usumacinta, límite natural entre Chiapas y Guatemala; y al sur y este por el límite entre Tabasco y Guatemala.

La cuenca del río Grijalva es la más grande de Tabasco, de esta se derivan las subcuencas, integradas por los ríos: Grijalva, Mezcalapa, de la Sierra, Tacotalpa, Carrizal, Samaria, Chilapilla, Cunduacán, Cucuxchapa, González, Chilapa, Tabasquillo y Puxcatán. Entre los ríos que la componen se encuentran:

#### *Río Grijalva*

El origen del río Grijalva se encuentra en la región occidental del macizo montañoso de los Altos Cuchumatanes, a alturas superiores a los 2000 msnm, localizados en Guatemala. Se forma a partir de la unión de los ríos: San Miguel y San Gregorio, a la altura del poblado San Gregorio del municipio Frontera Comalapa, Chiapas dando lugar al Alto río Grijalva. Hasta la confluencia de estos ríos el área total de la cuenca es de 9,833 km<sup>2</sup> de los cuales 5,718 km<sup>2</sup> corresponden a Guatemala y 4,115 km<sup>2</sup> a México.

Seguidamente al Alto río Grijalva entronca el río Dorado, zona del colector general; aguas abajo el río cambia bruscamente de dirección, modificandola hacia el noroeste, penetrando en un recorrido de alrededor de 25 km el estrecho cañón de la Angostura, para posteriormente cambiar de dirección y retomar el rumbo noroeste. En esta zona fue construída la presa La Angostura, cuyo vaso alcanza poco más de 60,000 Ha. De la superficie y llega casi hasta el inicio del Alto río Grijalva.

En su curso, se añaden a él ciertos escurrimientos llega al “cañon del sumidero”, estrecho cantil, de paredes calcáreas verticales en una longitud de poco más de 20 km zona donde se ubica la presa Chicoasén.

Posteriormente recibe numerosas aportaciones en unos 40 km donde concurre finalmente el Alto río Grijalva, en la zona del embalse de la presa Netzahualcóyotl, mejor conocida como Malpaso. La Figura 1.5 muestra las partes del Grijalva desde su origen en Guatemala, su recorrido en Chiapas y su llegada a la planicie de Tabasco.

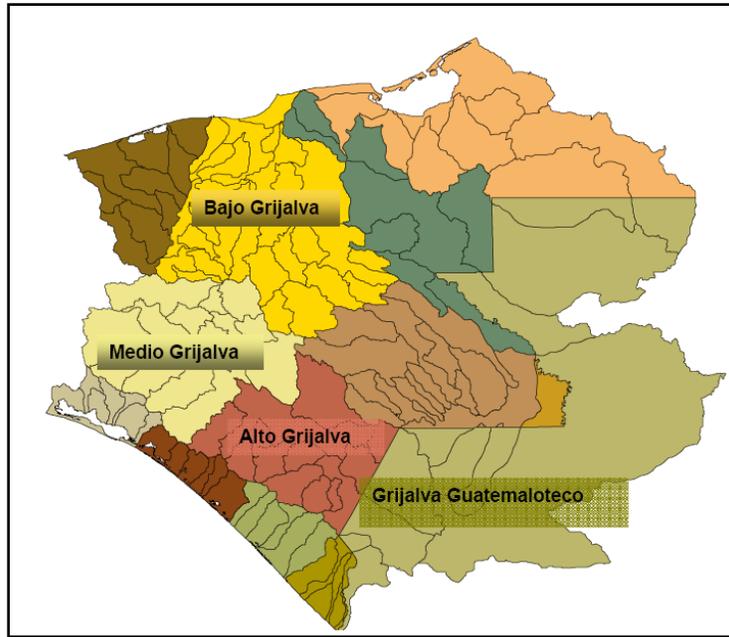


Figura 1.5 Cuenca del Grijalva (APFM, 2006)

### *Río Mezcalapa*

En el Alto río Grijalva, aguas abajo de la presa Netzahualcóyotl (Malpaso) al llegar a la planicie tabasqueña el río cambia de nombre a Mezcalapa. La dirección del escurrimiento es hacia el N-W pasando por las poblaciones de Oxtuacán y Sayula ( de la que tiene su nombre), antes de unirse al colector general, ahora cubierto por las aguas del vaso de la presa Peñitas, que se localiza aguas abajo de esta confluencia. Puede considerarse que en este lugar concluye la cuenca alta y media del río Grijalva, con lo que hasta aquí se tiene una superficie total de 36,362 km<sup>2</sup>. Siguiendo el recorrido del río Mezcalapa, éste transita a partir de este punto con pendiente relativamente pequeña recibiendo aportaciones como las del río Platanar, Amacoite, Cumuapa, la de los arroyos Espino y Chicoacan. La dirección del escurrimiento es hacia el noroeste descargando parte del volumen de agua al río Mezcalapa, aguas arriba de la cabecera municipal de Huimanguillo, Tabasco. A unos 4 km aguas abajo del municipio de Huimanguillo, Tabasco se acentúan las características divagantes del río Mezcalapa, su cauce es tiene mayor anchura, la pendiente ha disminuido, presentando grandes playones e islotes, pasando por la zona oriente de la población de Huimanguillo, serpentea en un lecho muy permeable de fondos movedizos y márgenes sin cohesión (se ha observado en los últimos años, la tendencia del río a cargarse hacia su margen izquierda, a retomar el cauce del hoy denominado río Seco)

Cabe hacer notar que cuando a la llegada de los conquistadores españoles, este tenía un rumbo general de sur a norte, atravesando los municipios de Cárdenas, Comalcalco y Paraíso para desembocar finalmente en la laguna de Mecoacán y en el Golfo de México, mediante la Barra de Dos Bocas.

De tal suerte que a la trayectoria final del río Mezcalapa se le conoce como río Seco.

Cosiderando que la altitud de la población de H. Cárdenas, Tabasco es de solo 15 msnm y el desarrollo del río Seco hacia el litoral es de 70 km aproximadamente, se advertirán las difíciles condiciones hidráulicas en las que se realizaba el escurrimiento en esa parte de su recorrido (pendiente que era de tan sólo de 0.000214). Como se indicó anteriormente, la naturaleza del suelo, y su reducida pendiente (hacia el norte y hacia la zona central del estado) han ocasionado múltiples divagaciones del río en su tramo final, corriendo por diversos cauces que él mismo ha labrado, rellenando depresiones y formando nuevos cauces. Después de que el río Mezcalapa abandonara el cauce del río Seco en el año de 1675, desvió tres ramificaciones de su cauce general, hasta alcanzar zonas aledañas a la ciudad de Villahermosa, Tabasco para de ahí cambiar de dirección hacia el norte y descargar sus aguas a través de las barras de Chiltepec y Frontera, al Golfo de México.

#### *Río de la Sierra*

Consiste en la derivación más remota que dio lugar al río Viejo Mezcalapa, que al derivar hacia al este une a los ríos Pichucalco y de la Sierra. El río de la Sierra está formado por los ríos Teapa, Puyacatengo y Tacotalpa, que su vez, se integra por los ríos Amatlán y Oxolotán. Todas estas corrientes nacen en la sierra norte de Chiapas, y fluyen hacia la llanura tabasqueña.

De tal suerte que se unen en el sur de Villahermosa, en Boca de Cruces, próximo al “Puente de la Majagua”, donde también se tienen la aportación del río Pichucalco. Una vez fusionados, cruzan por el lado oriente a la capital del estado, retomando el nombre de río Grijalva y recibiendo aguas abajo de la misma, en el sitio denominado “La Pigua” el río Nuevo o Carrizal que es otro de los brazos en los que se bifurca el río Mezcalapa y pasa al poniente de Villahermosa.

#### *Río Carrizal y Río Samaria*

La última bifurcación del río Mezcalapa, es la derivada del “rompido de Samaria” que se originó en el año de 1932, ocasionando que la mayor parte del volumen de agua que conduce este río (alrededor de 75%), pasara por el río Samaria, por supuesto, el otro 25% del caudal le corresponde al río Carrizal.

A su vez, el río Samaria empieza en el lado izquierdo de la bifurcación del Mezcalapa, transita del oeste a este, hasta llegar a la zona noroeste de Villahermosa, en lugar conocido como La Pigua, donde se desprende un brazo del río Grijalva, con dirección N-NW que toma el nombre del río Medellín.

Después continua y se convierte en el río González, ramificado en gran número de brazos como lo son los ríos Cañas, Jobillo, Mango, San Cipriano y otros

menores en una zona sumamente baja donde se forman grandes áreas lagunarias a ambas márgenes del río Gónzalez.

### *Río González*

Capta las aguas de los sistemas lagunarios ubicados al noreste de Nacajuca y de las lagunas de Julivá y Santa Anita para que finalmente, el río Gónzalez desemboca a través de la barra de Chiltepec al golfo de México.

Por lo que toca a la cuenca del Río Usumacinta, el Alto Usumacinta fluye 200 km a partir de la unión del Salinas y la Pasión: en su margen izquierda se encuentran las ruinas de Yaxchilán correspondientes a la época del clásico maya; los famosos caudales de Anaité, donde se inicia el tramo del Usumacinta medio, caracterizado porque el río corre encajonado entre abruptos cerros y colinas calcáreas con una mayor pendiente y velocidad, con flujo turbulento y torrencioso en muchos sectores y con poca secciones y gran profundidad (acantilados de hasta 200 m.), lo cual impiden la navegación. Este tramo comprende unos 70 Km. entre Anaité y boca del Cerro (a 12 Km. de Tenosique). El Bajo Usumacinta comienza en Boca del Cerro y recibe 60 km después de Tenosique al más caudaloso de los afluentes: el río San Pedro procedente del Péten Guatemalteco. Este río se desliza a lo largo de 612 km, 200 km en su cauce alto y 412 km en el bajo. El río Usumacinta significa "mono sagrado" en maya. Es el más caudaloso de los ríos mexicanos con un caudal medio anual de 1,500 m<sup>3</sup>/s.

La cuenca de Laguna de Términos tiene una extensión de 2007 km<sup>2</sup> (incluyendo los sistemas fluviolagunares asociados), recibe importantes cantidades de agua dulce que drenan de la Península de Yucatán y la cuenca del Usumacinta (Chiapas y Guatemala). Su profundidad promedio es de 4 m y se encuentra rodeada de aproximadamente 259,000 ha de mangle y popal-tular. De las 180,000 ha de tierras productivas que le rodean cerca del 90% están destinadas a la ganadería, 6% a la agricultura y 4% está destinados a zonas urbanas, principalmente en Ciudad del Carmen (Yanez-Arancibia, et al., 1994; INE, 1997).

Esta cuenca es la de menor área en Tabasco con 951.66 km<sup>2</sup>, en consecuencia su volumen de captación es mínimo. La corriente principal de la cuenca, el río Palizada, se localiza principalmente en Campeche. Dicho escurrimiento se deriva del Usumacinta al noreste de Jonuta, lugar de donde se dirige al norte hasta la población de Palizada, a partir de ésta continúa hacia el noroeste hasta su desembocadura en la Laguna de Términos.

La parte correspondiente a Tabasco presenta un patrón de drenaje paralelo, desarrollado sobre suelos aluviales, por lo que el control es básicamente litológico. Comprende porciones de dos subcuencas: "Río Chumpán" y "Río Candelaria"

### 1.1.3 Clima

La planicie tabasqueña por su ubicación en la zona tropical, su cercanía al Golfo de México, la carencia de elevaciones con relación al nivel medio del mar, da lugar a la presencia de clima cálido con influencia marítima y variaciones muy moderadas de temperatura.

El clima cálido de Tabasco se caracteriza por sus temperaturas elevadas bastante uniformes, cuya media al año es mayor de 26 °C. La marcha anual de la temperatura es del tipo Ganges, ya que la máxima se registra antes de la estación lluviosa y del solsticio de verano, en mayo, con un valor medio superior a los 29 °C, en tanto que la media más baja, mayor de 21°C se presenta en enero. Las nortes, los cuales producen mínimas extremas que van de los 12°C a los 15°C.

La humedad relativa fluctúa entre 80% y 86%, debido a esto la entidad permanece cubierta de nubes gran parte del año, lo que provoca una insolación baja. En la Tabla 1.2 se encuentra la clasificación de los climas predominantes en la llanura y la sierra de Tabasco. Asimismo en la Figura 1.6 se ubican por colores las regiones que abarca cada tipo de clima en los municipios del estado de Tabasco.

<b>CLIMAS DE LA LLANURA</b>	<b>Am</b>	Cálido- húmedo con lluvias en verano % de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la anual, precipitación del mes seco menor a 60 mm
	<b>Aw</b>	Cálido- subhúmedo con lluvias en verano, precipitación del mes más seco menor de 60 mm, % de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la anual; este clima, de acuerdo con su grado de humedad se divide en tres subtipos
<b>CLIMA DE LA SIERRA</b>	<b>Af</b>	Cálido-húmedo con lluvias todo el año, precipitación del mes más seco mayor de 60 mm, % de lluvia invernal con respecto a la anual mayor de 18

Tabla 1.2 Símbolos referentes a los tipos y subtipos climáticos del estado de Tabasco utilizando la clasificación de Wilhelm Köeoppen adaptado por M.en C Enriqueta García (1994)

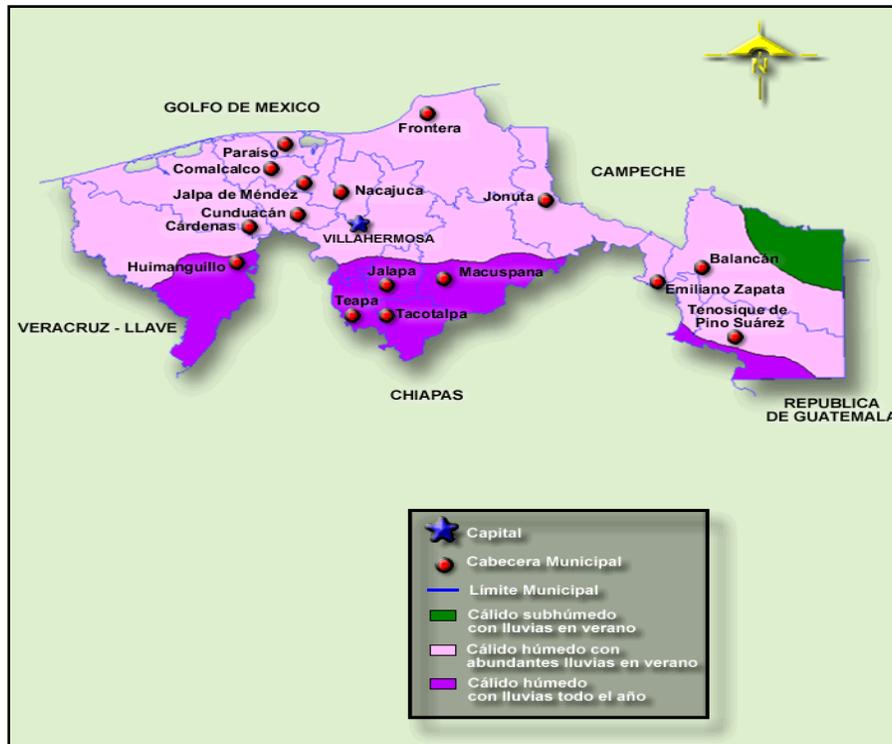


Figura 1.6 Mapa de Climas del estado de Tabasco, se observa que el clima predominante es el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano Am. (INEGI, 2010)

#### 1.1.4 Precipitación

De manera que se pueda tener una idea general de la manera en la que se presentan las precipitaciones en el país en la Gráfica 1.1 se muestran los datos de precipitación por entidad federativa desde 1971 hasta el 2000. En la cual se observa que Tabasco es la entidad que tiene el nivel de precipitación más alto del país. Además, del análisis de la precipitación pluvial se verifica que se presentan dos máximos, separados por la canícula. El primer máximo ocurre en el mes de Junio en tanto que el segundo, que corresponde al mayor absoluto se alcanza en el mes de Septiembre o bien de Octubre. El periodo de mayor precipitación va de junio a noviembre, lapso en el cual se concentra alrededor del 72% de la lluvia total anual

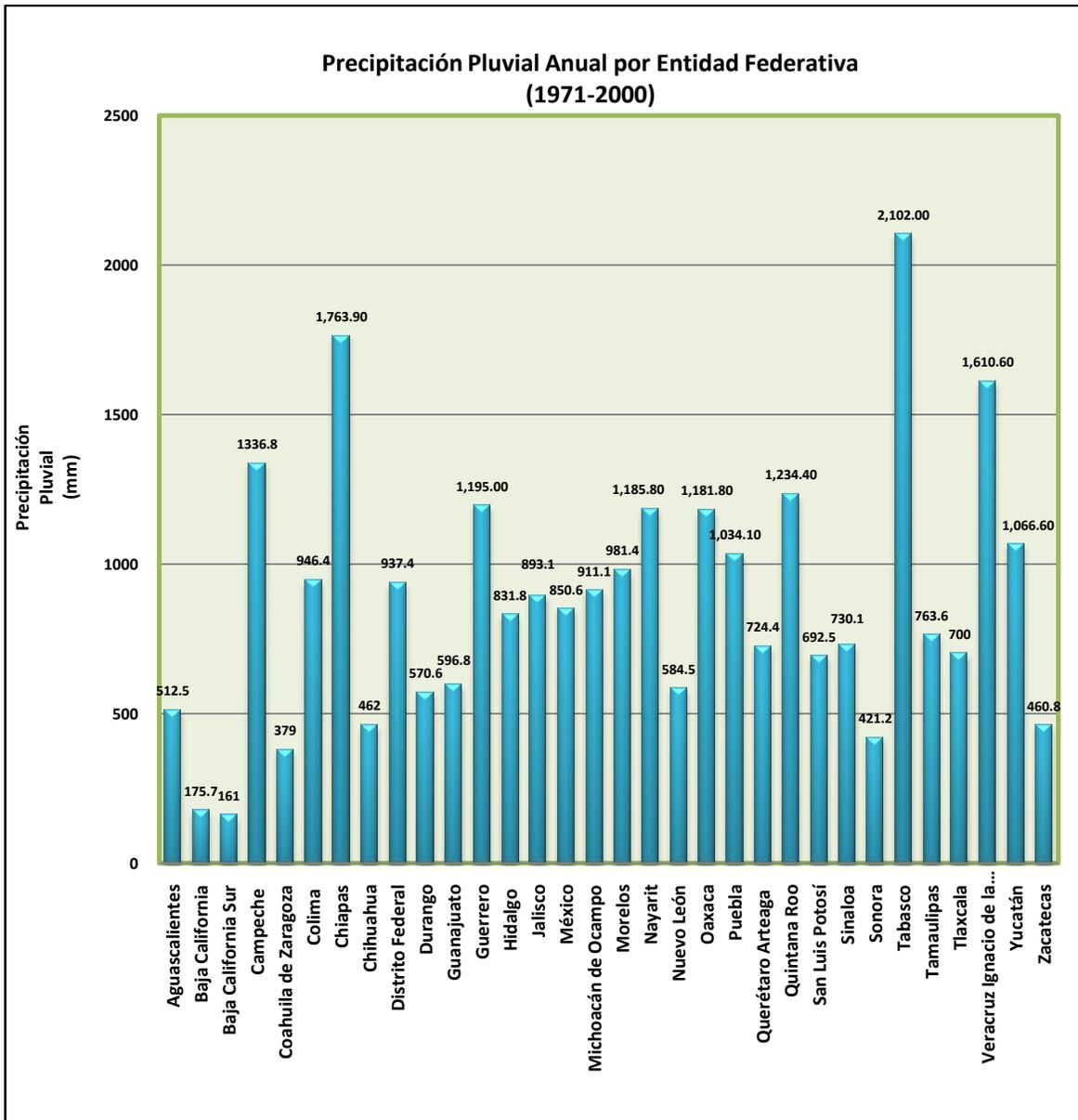


Figura 1.7 Precipitaciones pluviales anuales por Entidad Federativa.  
(Estadísticas de CONAGUA, 2010)

La invasión de masas de aire a la entidad es directa, y ocasiona gran parte de la precipitación total anual. Las lluvias a lo largo del año, pueden clasificarse en temporal, nortes y secas, abarcando los dos primeros la temporada más lluviosa. Distribuyéndose a lo largo del año de la siguiente forma, tal como se indica en la Tabla 1.3

<b>Nortes</b> <b>(Período Lluvioso)</b>	Enero
	Febrero
<b>Seca</b>	Marzo
	Abril
	Mayo
<b>Temporal</b> <b>(Período Lluvioso)</b>	Junio
	Julio
	Agosto
	Septiembre
<b>Nortes</b> <b>(Período Lluvioso)</b>	Octubre
	Noviembre
	Diciembre

Tabla 1.3 Periodos de lluvias, sequías, temporales y nortes. (Velázquez G.V., 1994)

### **Temporal**

El temporal abarca los meses de mediados de junio a mediados de septiembre y se origina por precipitaciones de tipo convectivo-orográfico producto de los vientos alisios del este y noreste (masas de aire caliente húmedo) con lluvias que en general son de corta duración pero intensas, presentándose casi siempre por las tardes y noches, con altas temperatura, y que por las mañanas hay una buena insolación. En general, se les puede considerar a los meses de Junio, Julio y Agosto como un período medio lluvioso, presentándose lluvias de moderadas a fuertes, con lo que Septiembre representa un mes muy lluvioso, con lluvias clasificadas de fuertes a torrenciales.

Los vientos cargados de humedad provenientes del Golfo de México producen lluvias de “convección” al encontrarse con las sierras del norte de Chiapas, vientos que en ocasiones alcanzan grandes velocidades (conocida localmente como turbonadas), además, la entidad se ve afectada indirectamente por perturbaciones atmosféricas de tipo ciclónico e que se producen en el verano y principios del otoño tanto en el mar Caribe y mar de las Antillas como en el Golfo de Tehuantepec, que favorecen la ocurrencia de lluvias intensas en la región.

## **Nortes**

A partir del mes de octubre la planicie es invadida por vientos anticiclónicos cargados de humedad a los cuales comúnmente se les denomina “nortes”. Estos se originan por el intercambio de aire de un ciclón que se aleja en el mar Caribe y el Golfo de México y los vientos procedentes del NE de los Estados Unidos de Norteamérica y del Canadá.

Los nortes ocasionan nublados constantes, disminución de temperatura y lluvias ligeras a fuertes, pero que a veces duran varios días, e inclusive varias semanas.

También se caracterizan porque las lluvias se presentan con dirección norte-sur favorecidas por la diferencia barométrica entre el Golfo de México y el Océano Pacífico, así como por el gradiente térmico entre las zonas frías del norte y las calidas húmedas del sur; asimismo, porque éstos fenómenos atmosféricos no se ven obstaculizados por montañas, ya que se desplazan a través del mar y la planicie.

Los nortes se presentan desde finales del mes de septiembre a febrero normalmente (en ocasiones se pueden extender hasta el mes de marzo). Un poco antes de que la zona sea invadida por un “norte” se eleva la temperatura ambiental y se presenta vientos provenientes del sur; la duración del “norte” está relacionada directamente con las características térmicas que le preceden. En consecuencia, estos nortes, se presentan con mayor frecuencia en los meses de noviembre, diciembre y enero, y escasamente se observan en los meses de febrero y marzo. Cerca del litoral costero, y hacia el oriente del estado las precipitaciones son menores -1500 mm/año- incrementándose hacia la zona central de la entidad -2000 mm/año- hasta alcanzar su máximo en la zona sur en donde las masa de aire se condensan al elevarse sobre el declive norte de las montañas chiapanecas-con registros superiores a los 4000 mm/año

## **Secas**

De fines de febrero a principios de junio se presenta la temporada seca, caracterizada por altas temperaturas, ausencia de nubosidad y lapsos sin lluvia de varias semanas, que en ocasiones llega a veces el mes; ocurren también vientos cálidos del sur y sureste, conocidos localmente como “sures”

En este periodo de tiempo, la precipitación sufre un descenso drástico, sin dejar de llover por completo, dado que casi siempre se presentan lluvias aisladas dentro de la planicie. Los valores mínimos de la precipitación en este lapso, se registran en el mes de abril En la Figura 1.7 se aprecian las zonas que tienen las mayores precipitaciones en el estado de Tabasco.

Cabe resaltar que cualquier lluvia superior a los 50 mm en 24 horas, es clasificada de carácter torrencial, dado que ocasiona problemas de inundación donde ocurre, sobre todo si el suelo se encuentra saturado y carece de infraestructura de drenaje y desagüe.



Figura 1.8 Mapa de precipitaciones en el estado de Tabasco (INEGI, 2010)

Como se observa en el mapa de la Figura 1.7 de precipitaciones, la zona con mayor precipitación ocurre en la Sierra, y es por eso que la mayor parte de los escurrimientos originados en la Sierra que suelen ser abundantes que al acumularse llegan hasta la llanura. Asimismo en llanura se identifican en color amarillo (intenso) y en marrón, que indican las precipitaciones menores, eso significa que las precipitaciones que causan mayor efecto sobre la llanura, son las que provienen de la región de la Sierra.

En resumen, los factores naturales que influyen en las condiciones de riesgo y vulnerabilidad de inundaciones en el estado de Tabasco, constituyen de por sí una seria amenaza que debe ser estudiada y manejada por las administraciones locales y federales. . Tales factores como las precipitaciones abundantes y continuas durante el año, y sobre todo las que provienen de la Sierra son las que representan una mayor amenaza porque los escurrimientos llegan a la planicie tabasqueña. De tal suerte que, la fisiografía es un elemento desfavorable para el drenaje de los escurrimientos; asimismo el clima, pero evidentemente la vasta red hidrológica es el factor más significativo que hace difícil el manejo de las cuencas en el estado de Tabasco.

## 1.2 Modificaciones del drenaje por intervención antropogénica

Se han mencionado los factores naturales que son determinantes en las inundaciones que han sucedido en la historia de Tabasco. Sin embargo, es una realidad que la intervención antropogénica ha contribuido en la alteración de los sistemas hidráulicos en repetidas ocasiones.

En seguida se describen los sucesos principales en los sistemas hidráulicos, remontándose desde la época de la Conquista hasta el Complejo Hidroeléctrico construido en el Alto Grijalva.

En el siglo XVI se tenían un sistema hidrológico compuesto por tres cuencas principales: Grijalva, Usumacinta y Mezcalapa o Mazapa (nombre indígena que adoptaba en la llanura tabasqueña).

La Figura 1.8 presenta dicho sistema, en la que se resaltan los ríos Grijalva y Mezcalapa.

En el siglo XVI, el río con desembocadura en la barra de Dos Bocas, conocido actualmente como Mezcalapa, era un tributario del Grijalva, el cual correspondía al río Grande de Chiapas, proveniente de Pantepec, Chiapas, y con origen en Huehuetenango, Guatemala.

Actualmente se considera como un solo sistema fluvial, que es el Mezcalapa-Grijalva; se ha establecido que tiene un mismo origen en Guatemala que baja por la Sierra de los Cuchumanes, atravesando los estados de Chiapas y Tabasco.



Figura 1.9 Sistema hidrológico superficial del estado de Tabasco en el siglo XVI (Velázquez G.V, 1994)

### 1.2.1 Rompidos

A lo largo de la historia de Tabasco una de las modificaciones antropogénicas más frecuentes consiste en la modificación del cauce original de los ríos. Para definir este procedimiento, se utiliza el término rompido. (Velázquez G.V, 1994)

Hacia 1675, los habitantes de la subregión de la Chontalpa, específicamente de los municipios de Cunduacán, Jalpa y Huimanguillo sufrían los continuos embates de los piratas ingleses que saqueaban los poblados. La vía de entrada de estos piratas eran tanto la barra de Dos Bocas como el río González. Como una medida de prevención ante estos ataques, en este año se realizó el primer rompido que consiste en la desviación del río Mezcalapa hacia el oriente, a la altura del poblado de Nueva Zelandia, Huimanguillo (ver Figura 1.9).

De tal suerte que manera que el río Mezcalapa quedó unido al viejo (original) río Grijalva, formando una sola corriente. Por lo que al cauce en el que transitaba el río Mezcalapa hasta Dos Bocas, comenzó a secarse y lo nombraron por esta razón como “Río Seco”.



Figura 1.10 El rompido de Nueva Zelandia que causó la unión del río Mezcalapa con el río Grijalva (Velázquez G.V., 1994)

En 1881 se originó el segundo rompido conocido como “Manga de Clavo”, ubicado 16 km al Este del rompido de Nueva Zelandia. Por medio del rompido “Manga de Clavo” se dio origen al río Carrizal, localizado 3 km al Norte de Villahermosa; con un cauce en dirección Norte (línea roja en la Figura 1.10, y desembocadura hacia el Golfo de México en la barra de Chiltepec, región donde al cauce se le conoce como Río González. La Figura 1.10 presenta un esquema del rompido de Manga de Clavo.



Figura 1.11 El rompido de Manga de Clavo originó el nacimiento del río Carrizal, que en su parte final se conoce como río González (Velázquez G.V., 1994)

El rompido de Manga de Clavo tuvo el objetivo de reducir las inundaciones que se generaban en la Ciudad de Villahermosa, como resultado de la primera modificación (rompido de Nueva Zelandia). La cual había cambiado el cauce del río Mezcalapa, dirigiendo un volumen considerable de agua hacia la región, aunado a la presencia del río Grijalva junto a esta Ciudad. En consecuencia, el rompido Manga de Clavo, favoreció a disminuir el problema de inundaciones en la ciudad de Villahermosa. La Figura 1.11 presenta un mapa de la ciudad de Villahermosa de San Juan Bautista en el año de 1864.

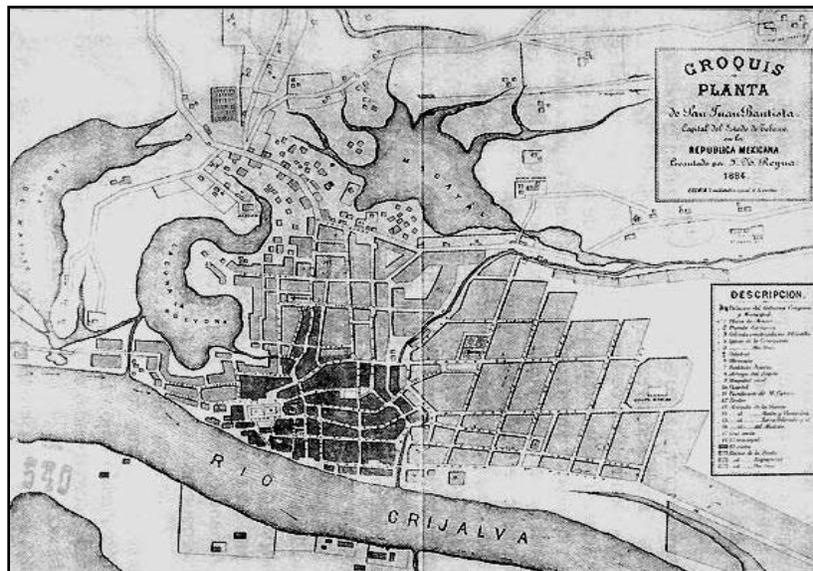


Figura 1.12 Mapa de San Juan Bautista en 1884, la capital de Tabasco cercada por el río Grijalva. (Atlas Histórico de Tabasco, 1982)

En 1904, se llevó a cabo el tercer rompido este consistió en la construcción de un pequeño dren de aproximadamente 5m de anchura, cuyo propósito era drenar el agua de un terreno bajo, ubicado actualmente en Tierra Colorada (ver Figura 1.12).

Como consecuencia de la construcción de este dren, el río Carrizal cambió su curso, formando el actual río La Pigua.



Figura 1.13 Rompido de la Pigua, dio origen al río la Pigua. (Velázquez G.V., 1994)

En el año de 1932 se produjo el rompido de Samaria localizado 10 km al Noreste de Nueva Zelandia. El cual se originó por la desviación de las aguas del Mezcalapa hacia su margen izquierda generando de esta manera el río Samaria, que descarga en el río Cañas y continúa hasta el río González. Como consecuencia del desvío del agua, se inundó lo que desde entonces se conoce como la Olla de la Chontalpa, afectando a los municipios de Jalpa, Nacajuca y Cunduacán. La Figura 1.13 muestra las zonas afectadas en la Olla de la Chontalpa.

Esta obra permitió que el volumen destinado al río Carrizal disminuyera y por ende, se redujera el peligro de inundación para la Ciudad de Villahermosa. Sin embargo, para la región de la Chontalpa Central, esto implicó una afectación incomparable por ser una zona agrícola, ya que con ello se dañó un área de 20 mil hectáreas.



Figura 1.14 Ubicación del rompido de Samaria y los municipios afectados: Jalpa, Cunduacán y Nacajuca. (Velázquez G.V., 1994)

En 1940 se produjo el rompido de Cañas, que formó al río Cañas (ver Figura 1.14) que integra las aguas que salen del rompido de Samaria hacia el Río González.



Figura 1.15 Rompido de Cañas que originó al río Cañas, se aprecia en color rojo. (Velázquez G.V., 1994)

Como consecuencia de la evolución natural del cauce del río, en 1947, en el municipio de Huimanguillo, el río Mezalapa intentaba retomar su cauce original

hacia el río Seco. De modo que el cauce se dirigía hacia el oriente, a fin de evitar este retorno natural del cauce, se produjo el rompido del Veladero, ubicado en el poblado del mismo nombre en el año de 1952. Este rompido afectó zonas de los municipios de Cárdenas y Comalcalco. Los Gobiernos Estatal y Federal construyeron obras de defensa contra inundaciones. Tal y como se indica en la Figura 1.15.



Figura 1.16 Rompido el Veladero, ocurrió en el año 1952 próximo a la población Nueva Zelandia. (Velázquez G.V., 1994)

### 1.2.2 Complejo Hidroeléctrico del Grijalva

Otro de los factores antropogénicos que ha contribuido a la alteración de los flujos naturales en el Estado de Tabasco, es la construcción del sistema de presas, conocido como complejo hidroeléctrico del Grijalva. La creación de un sistema de presas en primera instancia no se concebía con el objetivo de que servirían para la generación de energía eléctrica, de manera que se planteó como una alternativa de control de las avenidas provenientes del Alto Grijalva, poco después se consideró como una opción para dar un mejor aprovechamiento.

La construcción de este sistema de presas se dio como resultado de la creación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1946. De tal forma que se crearon las Comisiones de Cuencas, la que se encargaría de la del Grijalva, sería la Comisión del Grijalva. Esta Comisión se creó con la intención de realizar acciones que controlaran la cuenca del Grijalva, oficialmente comenzó sus funciones el 27 de junio de 1951, casi al término del sexenio del presidente Miguel Alemán. Siendo un organismo independiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Esta

comisión estuvo a cargo de la construcción de la presa Nezahualcóyotl, mejor conocida como Malpaso (CONAGUA, 2010)

Así el sistema hidroeléctrico queda conformado, por cronología de su construcción, por la presa Nezahualcóyotl (Malpaso) con una capacidad de 12, 960 Mm<sup>3</sup>, le sigue la presa Belisario Domínguez (La Angostura) con un vaso de almacenamiento de 18, 500 Mm<sup>3</sup>, la siguiente presa fue la Ing. Manuel Moreno Torres (Chicoasén) con un embalse que capta 1, 443 Mm<sup>3</sup>, finalmente, la última en construirse fue la Ángel Albino Corzo (Peñitas) con un almacenamiento de 1, 485 Mm<sup>3</sup> de almacenamiento. La Figura 1.16 presenta un diagrama del Complejo Hidroeléctrico del Grijalva, mientras que la Figura 1.17 muestra fotografías aéreas de dichos complejos (Navarro J.P., Toledo H.S, 2008)

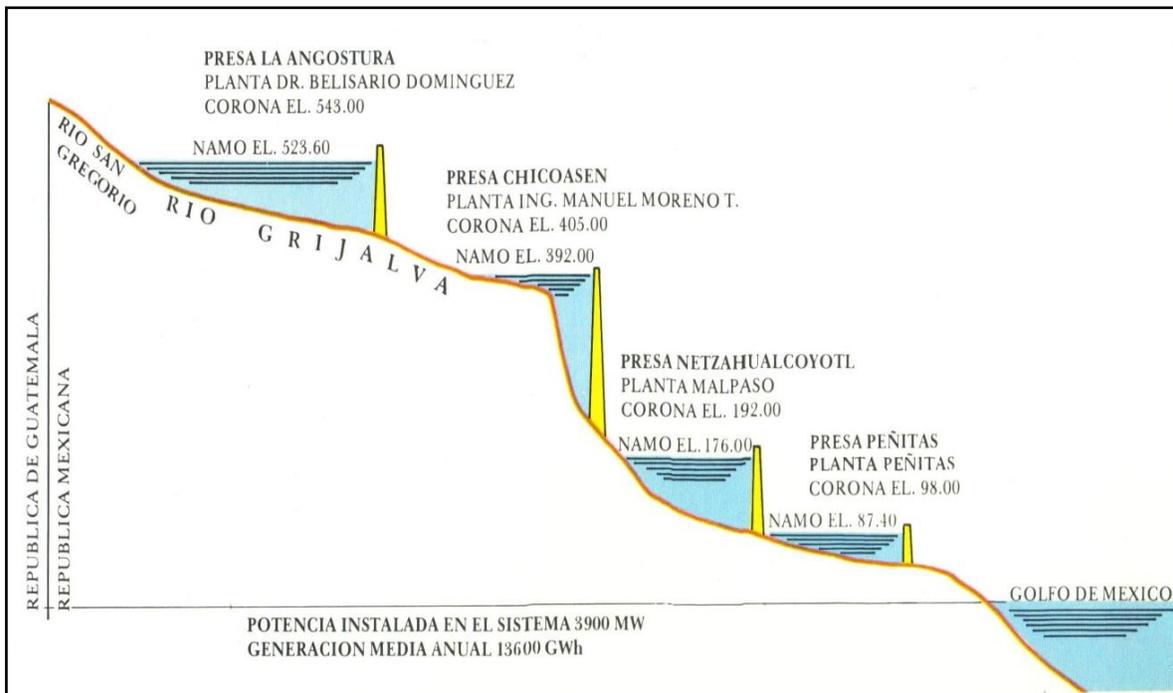


Figura 1.17 Sistema Hidroeléctrico del Grijalva. (CFE, 1988)



Figura 1.18 Perspectiva aérea de las Centrales Hidroeléctricas ubicadas en el Complejo Grijalva. (CFE, 1988)

El desempeño de las centrales hidroeléctricas del Grijalva funcionó de manera adecuada, sin embargo, en años recientes con el incremento en la intensidad y frecuencia de las lluvias y tormentas, su capacidad se ha visto cerca del límite de almacenamiento.

### 1.3 Inundaciones recientes

Como se ha visto en secciones anteriores, las inundaciones están íntimamente ligadas a la historia de Tabasco. Por lo general, de los eventos más antiguos se tiene poca información, sin embargo de algunos de ellos al menos se tiene de conocimiento la fecha en la que ocurrieron y los municipios que afectaron. La Tabla 1.4 presenta un resumen de los eventos ocurridos entre el año 1879 y hasta el 1955.

Por otra parte, las Figuras 1.18 y 1.19 son parte del archivo gráfico de las inundaciones más severas que afectaron al Centro de la ciudad de Villahermosa.

<b>Fecha</b>	<b>Municipios afectados</b>
<b>1879</b>	Villahermosa
<b>1909</b>	Villahermosa
<b>1912</b>	Tenosique, Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Jalpa y Nacajuca
<b>1918</b>	Villahermosa
<b>1921</b>	Jonuta y Villahermosa
<b>1921</b>	Huimanguillo
<b>1922</b>	Jonuta , Tenosique, Villahermosa
<b>1927</b>	Villahermosa
<b>1927</b>	Tenosique
<b>1927</b>	Tres cuartas partes del estado inundado incluyendo Villahermosa, Huimanguillo y Tacolpa
<b>1929</b>	Cunduacán, Huimanguillo, Nacajuca, Jalpa de Méndez, Teapa Villahermosa
<b>1930</b>	Jalapa, Balancán, Tenosique, Huimanguillo, Teapa
<b>1932</b>	Trece municipios de los diecisiete
<b>1936</b>	Tabasco, incluido Villahermosa
<b>1941</b>	Nacajuca
<b>1942</b>	Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Paraíso, Teapa, Tacotalpa, Macuspana,  Emiliano Zapata, Balancán, Tenosique.
<b>1944</b>	Paraíso  Cunduacán
<b>1952</b>	Villahermosa
<b>1955</b>	Villahermosa

Tabla 1.4 Cronología de inundaciones (1879-1955) en el estado de Tabasco. (Gamma L.C., et al, 2008)



Figura 1.19 Inundación en la calle 27 de febrero, en el centro de la ciudad de Villahermosa, en el año de 1929. (Archivo de la Sociedad de Fotógrafos del estado de Tabasco)



Figura 1.20 Inundación de 1936 en el Parque Juárez de Villahermosa, Tabasco. (Archivo de la Sociedad de Fotógrafos del estado de Tabasco)

En años recientes, el Estado de Tabasco ha sufrido las inundaciones más severas del último siglo, con trascendencia nacional e incluso internacional como la ocurrida en 2007. A continuación se presenta una breve reseña de las inundaciones de los años de 1999, 2007 y 2009, con el propósito de ilustrar la vigencia del problema en la entidad y la importancia de las soluciones estudiadas en esta tesis.

### 1.3.1 Inundación de 1999

El evento de 1999 fue resultado de sucesivas ondas tropicales y aire húmedo provenientes de ambos del Golfo de México y el Océano Pacífico. Las intensas y

sucesivas lluvias generadas por estos fenómenos, particularmente en la Sierra y en la cuenca del río Mezcalapa, afectaron la mayoría de los ríos de la región, principalmente el Carrizal y Samaria, causando elevaciones en el nivel de los mismos que saturaron las partes bajas de sus riberas y las zonas de regulación. En la Tabla 1.5 se enlistan los fenómenos meteorológicos que dieron origen al evento de este año. (Bitrán D.B, 2000)

<b>FENÓMENOS METEOROLÓGICOS DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS 1999</b>	
<b>Fecha de ocurrencia</b>	<b>Evento</b>
Mediados de septiembre	Onda Tropical número 32
29 de septiembre al 1 de octubre	Frente Frío número 4
29 de septiembre	Onda Tropical número 34
2 de octubre	Onda Tropical número 35
4 al 6 de octubre	Depresión Tropical número 11
19 al 21 de octubre	Frente Frío número 7

Tabla 1.5 La serie de eventos meteorológicos comenzó desde mediados de septiembre, continuaron hasta finales de octubre. (CENAPRED, 2000)

A principios de octubre, la Presa Peñitas habría sobrepasado el NAMO (nivel de aguas máximas ordinario), desalojando un gasto de hasta 2,323 m<sup>3</sup>/s. Debido a lo anterior, y adicional a que los ríos habían alcanzado niveles extraordinarios, generó inundaciones en áreas urbanas y suburbanas y de uso agropecuario.

El estancamiento de las aguas por tan prolongado tiempo ocasionó pérdidas importantes en la infraestructura económica y social, así como en los sectores productivos del estado, al haberse detenido o entorpecido sus actividades.

Las pérdidas económicas alcanzaron más de 2,500 millones de pesos, monto que equivale a más del 4% del PIB del Estado. Los recursos aportados por el Fondo para Desastres Naturales (FONDEN) para este evento ascendieron a alrededor de 1.3 mil millones de pesos, de los cuales el Gobierno Federal aportó 1.1 mil millones de pesos, y el resto fue sufragado por el Gobierno Estatal (CENAPRED, 2000).

### 1.3.2 Inundación de 2007

Las precipitaciones a partir de la tercera semana de octubre de 2007, se intensificaron debido a la presencia de varias depresiones tropicales y frentes fríos en el sureste mexicano y en el Golfo de México.

Las precipitaciones en octubre de 2007 se concentraron, principalmente, en tres periodos asociados a la presencia de fenómenos meteorológicos, tal como se muestran en la Tabla 1.6

<b>FENÓMENOS METEOROLÓGICOS DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS 2007</b>	
<b>Fecha de ocurrencia</b>	<b>Evento</b>
11 y 12 de octubre	Llegada del frente frío número 2 y la circulación de una baja presión próxima a Guatemala
21 y 24 de octubre	Llegada del frente frío número 3
28 de octubre al 1 de noviembre	El frente frío número 4 combinado con la tormenta tropical Noel en el Mar Caribe

Tabla 1.6 Fenómenos meteorológicos en la temporada de lluvias en el 2007 (SMN, 2007)

La situación se empeoró a partir de 28 de octubre, debido a que la mayor parte de las lluvias ocurrieron entre el 28 y 30 de octubre, con una lámina acumulada promedio de 129.8mm (SMN, 2007). Dado que frente frío número 4 ingresó aire polar por el Golfo de México y ocasionó lluvias extremas que se intensificaron el día 28 de octubre con vientos del norte que alcanzaron los 80 km/h y rachas 100 km/h sobre las costas tabasqueñas que provocaron oleaje con alturas de 3 a 5 metros. La Figura 1.20 presenta las fotografías satelitales publicados por el Servicio Meteorológico Nacional donde se observa la incidencia de tales meteoros sobre el Golfo de México.

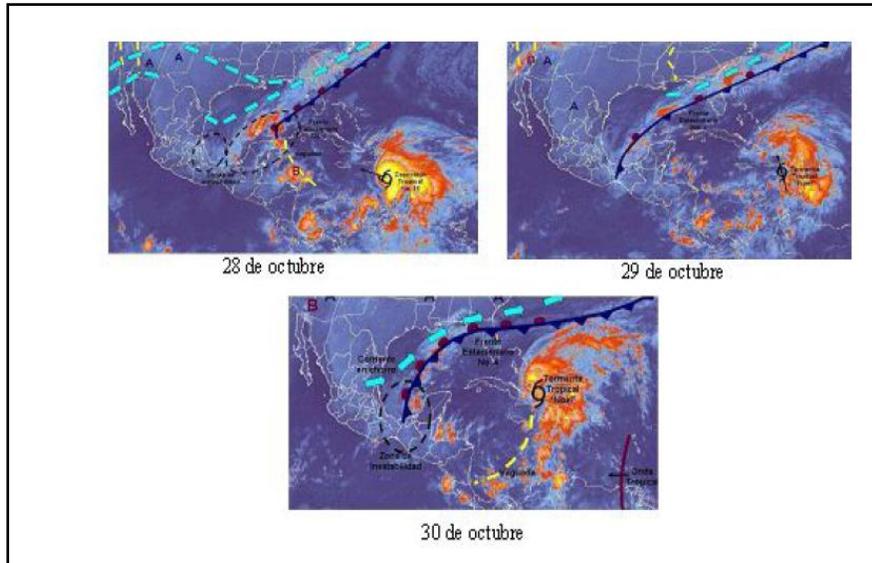


Figura 1.21 Sistema meteorológicos actuantes durante los últimos días de octubre en el 2007. (CONAGUA, 2007)

Las lluvias registradas durante el primer tren favorecieron que el terreno se humedeciera, los caudales de los ríos se incrementaron y sus niveles de agua estuvieron cerca o por encima de las cotas críticas. Al presentarse el segundo tren de precipitación, gran parte de la lluvia escurrió sobre el terreno, otra se almacenó en las lagunas y una más llegó a los cauces de los ríos incrementando los niveles del agua en los mismos por encima de la elevación de las coronas de sus bordos o barrotos. Adicionalmente, del 28 al 30 de octubre ocurrieron precipitaciones extraordinarias en la cuenca del río Grijalva que generaron grandes escurrimientos en la cuenca de la Presa Peñitas.



Figura 1.22 Localización del Complejo Hidroeléctrico del Grijalva. (APFM, 2006)

El vertedor de excedencias de la presa Peñitas está diseñado para descargar caudales de tal magnitud que, en las condiciones actuales, no pueden conducirse por los ríos Samaria y Carrizal provocando desbordamientos. El gasto máximo que se reportó el 31 de octubre de 2007, es tan sólo el 10% de su capacidad total; la restricción del flujo se debe en buena parte por la disminución en la capacidad del cauce del Grijalva, provocada por diversos factores como: el azolvamiento, el crecimiento urbano y los asentamientos en las zonas de inundación (Senado, 2007)

Adicionalmente se mencionó que uno de los factores que contribuyeron a que redujera la descarga del río Grijalva en su desembocadura, se debía a que el frente número 4 ocasionó una marea de tormenta que generaba una sobre elevación del nivel del mar, y por tanto estaba disminuyendo la capacidad de descarga del río. Sin embargo, algunos cálculos realizados por la CFE, indican que el efecto de la marea en este caso fue poco significativo; adicionalmente el Instituto Mexicano del Petróleo mostró que el remanso provocado por la marea no tiene efecto más allá de 25 km aguas arriba de la desembocadura.

El sistema de presas del Grijalva contuvo completamente los volúmenes escurridos en las Cuencas Alta y Media del Grijalva, hasta la presa Malpaso. Por esta razón, la presa Peñitas, que tiene muy poca capacidad, recibió prácticamente sólo los escurrimientos ocasionados en su cuenca propia. A partir del 24 de octubre se presentó una creciente de ingreso con un pico instantáneo de más de 3,500 m<sup>3</sup>/s, que elevó el nivel de la presa cerca de la cota 89 msnm, la cual es aún una condición normal, debajo de su NAMO (nivel de aguas máximas ordinario) cuando una creciente adicional ingresó a su vaso. En el caso de que exista una sobre elevación por volúmenes de entrada, se debe desfogar el agua por los vertedores, por la obra de ambos, o en mediante ambos; de tal manera que se llegue al NAMO. Si se presenta una creciente cercana a la de diseño, se alcanzaría el NAME, y por la obra de excedencia se intenta que regrese a la condición normal NAMO.

El Comité de Operación de Presas Regional (CONAGUA-CFE-Gobierno de Tabasco) decidió que la creciente correspondiente al 23 y 24 de octubre de 2007 debía desalojarse mediante la operación de turbinas; de tal suerte que el vertedor de excedencias de Peñitas no aportara mayores caudales a los ríos Samaria y Carrizal, debido a que los ríos de la Sierra se encontraban en escala crítica. Del suerte para el día 28 de octubre el nivel de la presa había descendido pero no hasta su NAMO, cuando ocurrió una nueva creciente con un gasto máximo instantáneo cercano a los 5,000 m<sup>3</sup>/s. Para entonces, el nivel de la presa Peñitas estaba 0.6 metros por encima del NAMO, por lo que fue necesario operar en conjunto las turbinas y el vertedor de excedencia un caudal de hasta 2,055 m<sup>3</sup>/s. Cabe mencionar que los días subsecuentes hasta el 1 de noviembre, continuaron las creciente de entrada a la presa entre 2,000 y 3,000 m<sup>3</sup>/s, esto fue determinante para que se siguieran descargando gastos importantes. Los caudales máximos descargados por la presa Peñitas para este evento fueron muy semejantes a los del año 1999 (Hernández de la Torre, J.A, 2000); en esta ocasión

los daños fueron mayores, por los que estos no parecen estar asociados a la operación de la presa.

Tal como se observa en la Figura 1.22, las lluvias más intensas siempre ocurrieron en la planicie, donde no existe manera de controlar los escurrimientos, mientras que en las partes altas de la cuenca la precipitación fue mínima.

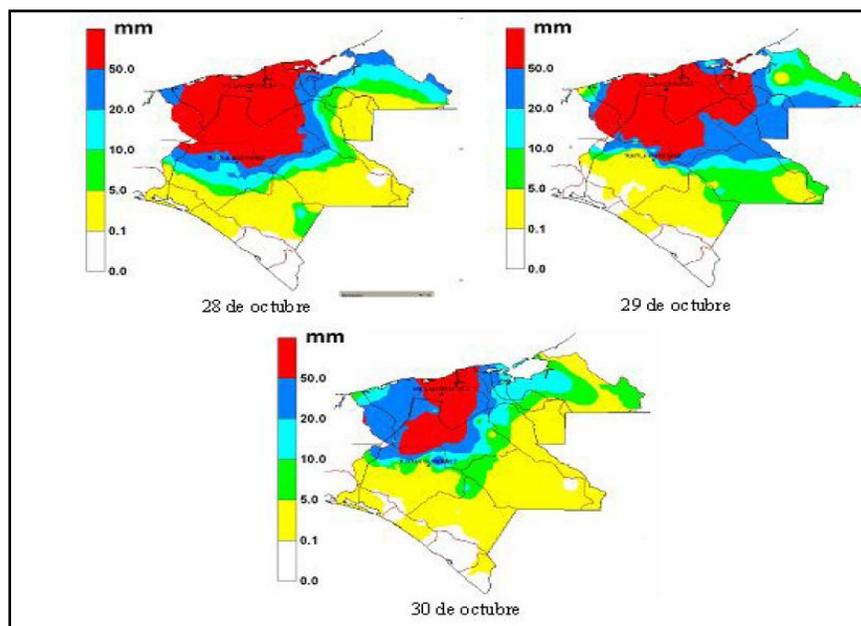


Figura 1.23 Precipitación máxima diaria de los últimos días de octubre de 2007. (SMN-CONAGUA, 2007)

Esto significa, que la causa principal de estas inundaciones en la planicie tabasqueña se debe, a los escurrimientos generados en la cuenca libre de los ríos de la Sierra aunados a las precipitaciones intensas y en la cuenca propia de la presa Peñitas. Pero la principal causa de la inundación se debe a la vulnerabilidad en la que se encuentra esta zona (SENADO, 2007).

Al momento de las precipitaciones extraordinarias en la cuenca del Grijalva, los ríos no controlados de la Sierra se encontraban en niveles que superaban sus escalas críticas debido a escurrimientos generados por eventos de lluvia previos (11, 12, 23 y 24 de octubre); esta situación favoreció las inundaciones en las zonas bajas de Villahermosa.

Es evidente que no existió una única razón de estas inundaciones, existen varias causas que originaron las inundaciones, de acuerdo al Informe del Congreso en el 2007, se establecieron como inmediatas y mediatas.

Las inmediatas se presentaron anteriormente, estas son las precipitaciones elevadas debido a los fenómenos hidrometeorológicos durante varios días en las cuencas de los ríos de la Sierra y en la cuenca de la presa Peñitas.

Adicionalmente se tienen las causas mediatas, se han considerado básicamente cuatro:

1. La principal vulnerabilidad se debe a los asentamientos humanos en zonas de alto riesgo que además han disminuido la capacidad de los cauces.

Se han tenido experiencias en años antepasados 1980, 1995, 1999 y por su puesto la más grave del 2007; las zonas vulnerables se localizan en la periferia de la ciudad, justamente en las inmediaciones de los ríos La Sierra y Carrizal; donde se tienen desarrollos urbanos regulares e irregulares de la margen derecha del río La Sierra.

Es importante señalar que el crecimiento de la población en forma acelerada en el lapso comprendido entre 1975 y 1985, se inició el asentamiento de la población en zonas inundables, incluido el crecimiento desmedido de la ciudad de Villahermosa, hacia la margen derecha del Río de la Sierra, zona baja inundable.

En las márgenes del río Carrizal, que conduce las aguas de la Presa Peñitas, se localizan en zonas críticas. El río Carrizal cuenta con un bordo longitudinal sobre su margen derecha que protege a una buena parte de la ciudad; sin embargo sobre su margen izquierda existen zonas vulnerables.

2. La falta de infraestructura hidráulica de control en los ríos de la Sierra y Usumacinta. A pesar de que se tenía un programa (PICI) que ayudaría al control de inundaciones, las obras se encontraban inconclusas.
3. La ausencia de un sistema de pronóstico y de alerta temprano para emitir pronósticos precisos sobre la situación esperada las condiciones hidrometeorológicas imperantes en el Golfo de México y en la Sierra de Chiapas a tiempo real. Es importante implementar un sistema de alerta temprana de eventos meteorológicos en tiempo real, incluyendo un puesto central de monitoreo de los eventos meteorológicos, redes de estaciones meteorológicas automáticas, con telemetría, radares e información satelital, la metodología de modelación hidrológica e hidráulica de las cuencas.
4. La falta de un plan integral de manejo de crecientes, que se manifiesta en particular en la alteración a las condiciones naturales de la cuenca, debido principalmente a la apertura de áreas forestales a la agricultura y pastizales sin incorporar medidas de control de suelos y escurrimientos, que en general han reducido los tiempos de transformación de la lluvia en escurrimientos.

Se requiere realizar estudios detallados sobre los efectos de la deforestación en la relación lluvia-escurrimiento, el proceso de erosión, sedimentación y el consecuente azolvamiento de los cauces.

El ordenamiento ecológico territorial y uso de suelo son cruciales para una adecuada gestión de crecientes, que disminuya sus efectos adversos. Para lo cual se requiere un estudio exhaustivo de las condiciones físicas de las cuencas al uso actual del suelo y erosión, así como la situación forestal y de las condiciones socio-económicas y productivas para un uso integral, ordenado y sustentable.

Como se sabe, el aumento del tirante del agua como acumulación de azolve sobre todo en los cauces, tienen poca pendiente, favorece el humedecimiento, y debilitamiento de los márgenes, causando su colapso y provocando taponamientos en el cauce e incluso modificaciones en el alineamiento horizontal de los mismos.

Al observar la tabla 1.7 se puede concluir que de las 2,530 localidades que conforman el estado, se calcula que 835 sufrieron directamente los efectos de la inundación y 621 se vieron afectadas de manera indirecta, lo que en suma equivale a casi el 58% del total.

<b>Localidades</b>	<b>Urbanas</b>	<b>Rurales</b>	<b>Total</b>	<b>% del total estatal</b>
Inundadas	75	760	835	33
Afectadas indirectamente	47	574	621	24.5
<b>Total</b>	<b>122</b>	<b>1,334</b>	<b>1,456</b>	<b>57.5</b>

Tabla 1.7 Afectaciones en las localidades del Estado de Tabasco ocasionadas por las inundaciones del 2007. (GET, 2007)

La cifra total de daños y pérdidas ha de tomarse como una evaluación integral, de todos los sectores, actividades y estratos sociales afectados. Por lo tanto dicho monto no ha de interpretarse ni como los recursos que el estado u otros órdenes de gobierno tienen que compensar, ni como cifras indicativas para el acceso a los fondos que el país ha dispuesto para atención de desastres como FONDEN, FAPRAC u otros. De manera que se visualice el panorama de daños se muestran las Figuras 1.29, 1.30, 1.31, 1.32 y 1.33.

En conjunto los daños y pérdidas causados por el desastre ascendieron a 31.8 miles de millones de pesos, equivalentes a poco más de 3,100 millones de dólares. Esta es una cifra que tiene pocos precedentes en la historia reciente de México, sólo superada por las que, a dólares actuales ocasionaron los sismos en la ciudad de México en 1985 y los efectos acumulados de los huracanes Wilma y Stan ocurridos en el año 2005 (3,800 millones de dólares) que afectaron 7 estados del sursureste de México. Su monto resulta aun más significativo si se considera que se refiere a los impactos sufridos por un solo estado: Tabasco. Si se toma en cuenta la estimación del PIB realizada por la Secretaría de Planeación Económica del estado que alcanza a casi 108 mil 737 millones de pesos corrientes para 2007, el impacto del desastre representó 29.31% del PIB estatal. (CEPAL-CENAPRED, 2008)

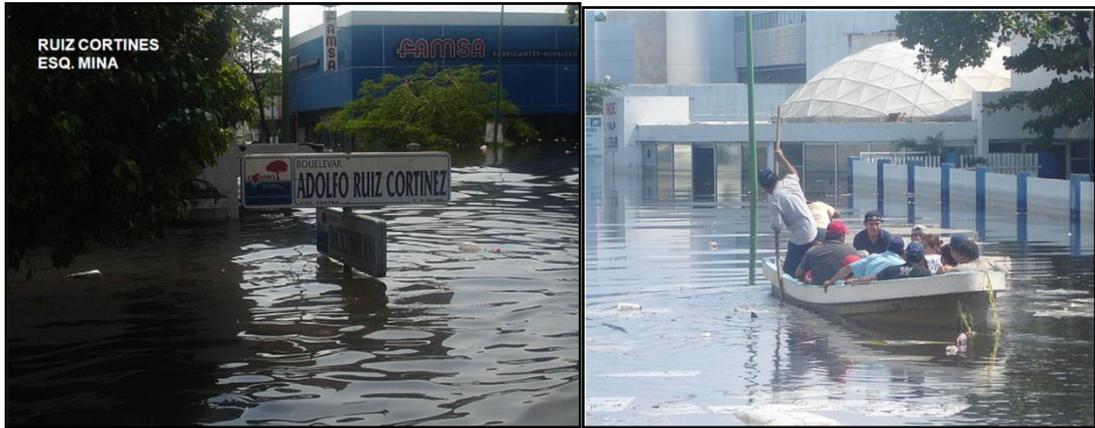


Figura 1.24 Panel izquierdo: Las principales avenidas de Villahermosa estuvieron anegadas por el desbordamiento de los ríos que rodean la ciudad. Panel derecho: Pocas personas pudieron atravesar las calles de Villahermosa utilizando las lanchas (Diversas páginas de internet)



Figura 1.25 El éxodo de la mayor parte de la población fue a pie, cargando sus pertenencias y objetos de valor. (El Universal, 2007)



Figura 1.26 El rescate aéreo llegó a las zonas que se encontraban incomunicadas (Diversas páginas de internet, 2007)



Figura 1.27 Vista aérea de la ciudad de Villahermosa, es una imagen devastadora que muestra la magnitud del daño que sufrió la ciudad. (Diversas páginas de internet, 2007)

### **1.3.3 Inundación de 2009**

Las inundaciones del 2009 en Tabasco comenzaron a partir del sábado 31 de octubre, debido a la combinación de los remanentes de la Onda Tropical número 38, con el Frente Estacionario número 9. La afectación principalmente ocurrió en los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Paraíso, Comalcalco y Cunduacán, han permitido vislumbrar junto con las autoridades estatales nuevos retos para llegar a la adecuada gestión de los riesgos de desastre en un contexto de amplia variabilidad climática. (PNUD, 2010)

El desbordamiento de los ríos Tonalá, Zanapa, Blasillo, Tembladera, El Zapotal, El Panal, Abuelo y Agua Fría y otros arroyos, también mantiene incomunicadas a decenas de comunidades rurales al norte de Tabasco.

De acuerdo con las evaluaciones realizadas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), los daños económicos en el Estado de Tabasco para los años de 2007-2009 se presentan en la Tabla 1.8.

<b>Impacto de las inundaciones en tabasco daños y pérdidas 2007-2009*</b>	
<b>Año</b>	<b>Millones de pesos</b>
2007	31, 871.26
2008	5, 277.20
2009	2, 465.20
Total	39, 613.66

Tabla 1.8 Impacto socioeconómico de las inundaciones ocurridas en el Estado de Tabasco en los meses de octubre y noviembre, 2009. (CENAPRED-CEPAL, 2010)

En consecuencia la infraestructura económica, los sectores productivos fueron los que resistieron los mayores efectos de las inundaciones, con un acumulado de 390 millones de pesos (15.8%). De éstos, la ganadería acumuló 226.1 millones (9.2%).

Subraya el informe del CENAPRED, que Tabasco sufrió una tercera inundación, la peor que se tenga en registro en la Cuenca del río Tonalá y la zona de la Chontalpa, abarcando 5 municipios, siendo los más afectados los municipios de H. Cárdenas y Huimanguillo.

Estas inundaciones a pesar de que fueron de menor dimensión que la ocurrida en 2007 y 2008, los efectos los efectos se vislumbraron nuevamente en el aspecto social económico de decena de miles de familias que vieron interrumpidas sus actividades cotidianas y de subsistencia. (GET, 2009)



Figura 1.28 La infraestructura carretera se vio gravemente afectada además de dejar incomunicada a la población. (Diversas páginas de internet, 2009)



Figura 1.29 Camiones de gran tamaño se veían imposibilitados para transitar las carreteras afectadas (Asociación Ecológica Santo Tomás, 2009)

#### **1.4 Programas federales de control de inundación**

Con pleno conocimiento de que las inundaciones son inevitables para el Estado de Tabasco, el gobierno federal se ha visto en la necesidad de buscar alternativas que disminuyan el riesgo de la población a través de la gestación de programas que logren controlar de cierta forma las inundaciones y procurando que los daños se reduzcan. Los últimos programas que se han propuesto son el Programa Integral de Inundaciones (PICI), que fue desechado después del evento de 2007 dado que faltaban estructuras por construir (avance del 70%), además que los periodos de retorno habían sido ampliamente superados. Posteriormente, se presenta el Plan Hídrico Integral de Tabasco, compuesto a su vez por el Plan de

Acciones Urgentes y el Plan de Acciones Inmediatas. A continuación se presenta una síntesis de cada uno de ellos.

#### **1.4.1 Programa Integral de Control de Inundaciones (PICI)**

El Programa Integral de Control de Inundaciones (PICI) tenía a finales de 2006, un avance estimado por CONAGUA del 70%; incluida la estructura de control sobre el río Carrizal de la que se reportó un avance del 55% (Reforma, 2007). Esta estructura es clave para el funcionamiento correcto de las obras del PICI, pues conduciría la mayoría de las aguas del río Mezcalapa y las descargas de la presa Peñitas hacia el mar a través del cauce del río Samaria, con lo que se permite un caudal máximo de 850 m<sup>3</sup>/s por el río Carrizal, que es el río que pasa por la Ciudad de Villahermosa.

A pesar de la existencia del PICI, este se reduce básicamente a la construcción de infraestructura hidráulica, pero no ha incluido medidas adicionales para el ordenamiento territorial.

#### **1.4.2 Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT)**

Como resultado del evento de 2007, se planeo por instrucciones del Gobierno Federal la creación del Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), a través de la de la CONAGUA. De tal suerte que para abril de 2008 se firmó un convenio entre los Gobiernos Estatal y Federal para la elaboración y ejecución del PHIT.

De tal suerte que CONAGUA realizó un convenio con el Instituto de Ingeniería de la UNAM, de tal forma que este último asesore, otorgue apoyo técnico y evalúe las soluciones propuestas a fin de proponer recomendaciones o correcciones.

El propósito fundamental de este estudio, consiste en proporcionar un conjunto de soluciones que garanticen la seguridad a la población, al desempeño de las actividades económicas, y a mantener el equilibrio en los ecosistemas ante la incidencia de eventos meteorológicos extremos. De tal manera que se reduzcan las condiciones de riesgo y vulnerabilidad que percibe con frecuencia la población tabasqueña ante los efectos de dichos eventos. (GET, 2009)

Otro objetivo del PHIT es promover el reordenamiento ecológico territorial, evitando que continúen los asentamientos humanos en zonas de alto riesgo.

Asimismo se requiere contar con sistemas de información geográfica actualizados, con un adecuado pronóstico de lluvias, de prevención y de protección civil y el reforzamiento de los sistemas de información meteorológica. Del mismo modo se contempla que el PHIT se efectúe la elaboración de modelos de pronóstico que permitan implementar acciones preventivas con oportunidad y diseñar adecuadamente las estructuras y obras de protección.

La visión del PHIT es completa en el estudio de la cuenca, considera todas las variables posibles, eventos meteorológicos extremos como las precipitaciones de gran intensidad y la interacción de grandes caudales. Esta visión integral se lleva a cabo mediante el planteamiento de estrategias a corto, mediano y largo plazo.

Las acciones a corto plazo se incluyen en el Plan de Acciones Urgentes (PAU), este plan se creó con la finalidad de llevar a cabo medidas urgentes en el periodo en el que estaban sucediendo las lluvias en el 2007.

Las acciones a mediano plazo, se encuentran contenidas en el Plan de Acciones Inmediatas (PAI), de tal forma de reducir las condiciones de riesgo ante un evento similar al del 2007.

Las acciones de mediano y largo plazo, son para reducir en la mayor magnitud aquellas condiciones de riesgo y vulnerabilidad. Dando continuidad a los proyectos de infraestructura iniciadas en el PAU y PAI. Estableciendo estrategias y metan concretas, la formulación del PHIT se extenderá a la gestión integral de los recursos hídricos, de tal forma que se aprovechen los recursos para bienestar social y desarrollo económico. Procurando los aspectos relacionados con la conservación, manejo y resguardo de los servicios ambientales que prestan los recursos naturales asociados a la gestión integral de los recursos hídricos, así como a la conservación y manejo adecuado de los ecosistemas acuáticos.

