

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

Convenio de Colaboración
No. SGIH-GPIH-SGPOPR-UNAM-II-RF-14-01

Informe Final

CAPÍTULO 10 Elaboración de mapas de peligro y riesgo para localidades mayores a 2,500 habitantes

Dr. Fernando Jorge González Villarreal *
Director del Proyecto

M. en I. Juan Javier Carrillo Sosa **
Coordinador del proyecto

M. en I. Víctor Ignacio Mastache Mendoza****
M. en I. Jaime Andrés Patiño Márquez****
M. en I. Jorge Luis Reyes Hernández****
M. en I. Gabriela Gutiérrez Aviña****
Biol. Luis Samayoa Navarrete****
Ing. María Elena Taboada Virgen****

**Elaborado para:
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA†**

- * Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM
- ** Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM
- *** Becario
- **** Consultor externo

NOVIEMBRE, 2014



ÍNDICE

10 ELABORACIÓN DE MAPAS DE PELIGRO Y RIESGO PARA LOCALIDADES MAYORES A 2,500 HABITANTES	1
OBJETIVO.....	1
10.1 INTRODUCCIÓN.....	1
10.1.1 <i>Zona de estudio.....</i>	16
10.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	17
10.2.1 <i>Modificación de los modelos digitales de elevación (MDE).....</i>	17
10.3 ELABORACIÓN DE MAPAS DE PELIGRO.....	23
10.3.1 <i>Hidrología.....</i>	23
10.3.1.1 <i>Análisis de cada cuenca.....</i>	24
10.3.1.2 <i>Modelo lluvia-escorrentamiento.....</i>	29
10.3.1.3 <i>Análisis de confluencia de ríos.....</i>	33
10.3.2 <i>Obtención de mapas de peligro.....</i>	35
10.4 ELABORACIÓN DE MAPAS DE SEVERIDAD.....	45
10.5 ELABORACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD.....	54
10.5.1 <i>Antecedentes.....</i>	54
10.5.2 <i>Metodología (CENAPRED).....</i>	56
10.5.2.1 <i>Tipología de la vivienda.....</i>	57
10.5.2.2 <i>Combinaciones posibles.....</i>	58
10.5.2.3 <i>Vulnerabilidad de las combinaciones.....</i>	61
10.5.2.4 <i>Tipos de vivienda por localidades urbanas (mayores a 2,500 habitantes).....</i>	65
10.5.2.5 <i>Identificación del tipo de vulnerabilidad de las viviendas por localidad.....</i>	74
10.5.3 <i>Procedimiento para generar Mapas de vulnerabilidad.....</i>	75
10.5.3.1 <i>Localidades Municipio: Centla.....</i>	81
10.5.3.2 <i>Localidades Municipio: Centro.....</i>	84
10.5.3.3 <i>Localidades Municipio: Jalapa.....</i>	102
10.5.3.4 <i>Localidades Municipio: Jalpa de Méndez.....</i>	102
10.5.3.5 <i>Localidades Municipio: Nacajuca.....</i>	107
10.5.3.6 <i>Localidades Municipio: Tacotalpa.....</i>	115
10.5.3.7 <i>Localidades Municipio: Teapa.....</i>	116
10.5.4 <i>Conclusiones y resultados.....</i>	120

10.6 ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO	121
10.7 CÁLCULO DEL DAÑO ANUAL ESPERADO (DAE).....	135
10.8 TIEMPO DE DRENAJE DE LAS CUENCAS CONSIDERANDO LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.....	139
10.9 SIMULACIONES CON OBRAS O ACCIONES PROPUESTAS	148
10.10 CONCLUSIONES	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.-10.5.1 Fotografía, inundación en Tabasco.....	56
Figura.-10.5.2 Ejemplo de muros con embarro	60
Figura.-10.5.3 Formato vectorial de puntos.....	76
Figura.-10.5.4 Resultado de la interpolación.....	77
Figura.-10.5.5 Clasificación de la vulnerabilidad	78
Figura.-10.6.1 Función de vulnerabilidad para viviendas tipo I. Elaboración CENAPRED.	122
Figura.-10.6.2 Función de vulnerabilidad para viviendas tipo II. Elaboración CENAPRED.	122
Figura.-10.6.3 Función de vulnerabilidad para viviendas tipo III. Elaboración CENAPRED.	123
Figura.-10.6.4 Función de vulnerabilidad para viviendas tipo IV. Elaboración CENAPRED.	123
Figura.-10.6.5 Función de vulnerabilidad para viviendas tipo V. Elaboración CENAPRED.	124
Figura.-10.6.6 Código para elaborar los mapas de riesgo.....	125
Figura.-10.8.1 Delimitación de la cuenca del río Puyacatengo.....	141
Figura.-10.8.2 Delimitación de la cuenca del río Teapa	142
Figura.-10.8.3 Delimitación de la cuenca del río Tapijulapa	142
Figura.-10.8.4 Delimitación de la cuenca del río Pichucalco	143
Figura.-10.8.5 Mapa de isolíneas de tiempo de drenaje de la cuenca del río Puyacatengo	144
Figura.-10.8.6 Mapa de isolíneas de tiempo de drenaje de la cuenca del río Teapa.....	145
Figura.-10.8.7 Mapa de isolíneas de tiempo de drenaje de la cuenca del río Tapijulapa	146
Figura.-10.8.8 Mapa de isolíneas de tiempo de drenaje de la cuenca del río Pichucalco	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 10.3-1 Hidrogramas de diseño para la estación Teapa	24
Tabla 10.3-2 Hidrogramas de diseño para la estación Puyacatengo.....	25
Tabla 10.3-3 Hidrogramas de diseño para la estación Tapijulapa	26
Tabla 10.3-4 Hidrogramas de diseño para la estación Pichucalco	28
Tabla 10.3-5 Hidrogramas de diseño para el río Viejo Mezcalapa	30
Tabla 10.3-6 Hidrogramas de diseño para el río Nacajuca	31
Tabla 10.3-7 Hidrogramas de diseño para el río Samaria	32
Tabla 10.3-8 Hidrogramas de diseño para el río Bajo Grijalva	34
Tabla 10.3-9 Numeración Planos de Peligro	40
Tabla 10.4-1 Numeración Planos de Severidad	49
Tabla 10.5-1.- Materiales comunes usados en los muros de las viviendas	57
Tabla 10.5-2.- Materiales comunes usados en el techo de las viviendas	57
Tabla 10.5-3.- Posibles combinaciones entre el material para techo y para los muros.....	59
Tabla 10.5-4.- Combinaciones para los diferentes tipos de vivienda, de acuerdo con los materiales usados en el techo y en los muros.....	60
Tabla 10.5-5.- Clasificación de la vulnerabilidad de la vivienda.....	62
Tabla 10.5-6.- Vulnerabilidad de la vivienda ante inundaciones.....	62
Tabla 10.5-7.- Vulnerabilidad de la vivienda ante inundaciones.....	63
Tabla 10.5-8.- Discretización del tipo de vivienda, según el material usado en techo y muros	64
Tabla 10.5-9.- Localidades urbanas (población mayor a 2,500 habitantes).....	65
Tabla 10.5-10.- Localidades rurales (Población menor a 2,500 habitantes)	69
Tabla 10.5-11.- Vulnerabilidad de la vivienda (Frontera-CENTLA).....	81
Tabla 10.5-12.- Vulnerabilidad de la vivienda (Vicente Guerrero-CENTLA)	82
Tabla 10.5-13.- Vulnerabilidad de la vivienda (Cuauhtémoc-CENTLA)	82
Tabla 10.5-14.- Vulnerabilidad de la vivienda (Ignacio Allende-CENTLA).....	83
Tabla 10.5-15.- Vulnerabilidad de la vivienda (Simón Sarlat-CENTLA)	83
Tabla 10.5-16.- Vulnerabilidad de la vivienda (Villahermosa-CENTRO).....	85
Tabla 10.5-17.- Vulnerabilidad de la vivienda (Playas del Rosario-CENTRO).....	85
Tabla 10.5-18.- Vulnerabilidad de la vivienda (Ocuilzapotlán-CENTRO).....	86
Tabla 10.5-19.- Vulnerabilidad de la vivienda (Parrilla II-CENTRO)	87
Tabla 10.5-20.- Vulnerabilidad de la vivienda (Parrilla-CENTRO)	87
Tabla 10.5-21.- Vulnerabilidad de la vivienda (Tamulté de las Sabanas-CENTRO)	88
Tabla 10.5-22.- Vulnerabilidad de la vivienda (Medellín y Madero 2da. S-CENTRO)	88
Tabla 10.5-23.- Vulnerabilidad de la vivienda (Río Viejo 1ra. S-CENTRO)	89
Tabla 10.5-24.- Vulnerabilidad de la vivienda (Macultepec-CENTRO)	89
Tabla 10.5-25.- Vulnerabilidad de la vivienda (Luis Gil Pérez-CENTRO)	90
Tabla 10.5-26.- Vulnerabilidad de la vivienda (Guapinol-CENTRO)	91
Tabla 10.5-27.- Vulnerabilidad de la vivienda (Buena Vista Río Nuevo 2da. S-CENTRO)	91
Tabla 10.5-28.- Vulnerabilidad de la vivienda (La lima-CENTRO).....	92
Tabla 10.5-29.- Vulnerabilidad de la vivienda (Buena Vista Río Nuevo 1ra. S-CENTRO)	92
Tabla 10.5-30.- Vulnerabilidad de la vivienda (Medellín y Pigua 3ra. S-CENTRO).....	93

Tabla 10.5-31.- Vulnerabilidad de la vivienda (Ixtacomitán 1ra. S-CENTRO).....	94
Tabla 10.5-32.- Vulnerabilidad de la vivienda (Anacleto Canabal 2da. S-CENTRO)	94
Tabla 10.5-33.- Vulnerabilidad de la vivienda (Fracc. Ocuiltzapotlán Dos- CENTRO).....	95
Tabla 10.5-34.- Vulnerabilidad de la vivienda (Buena Vista Río Nuevo 3ra. S-CENTRO) 95	
Tabla 10.5-35.- Vulnerabilidad de la vivienda (Anacleto Canabal 1ra. S-CENTRO).....	96
Tabla 10.5-36.- Vulnerabilidad de la vivienda (Buena Vista 1ra. S-CENTRO).....	96
Tabla 10.5-37.- Vulnerabilidad de la vivienda (Boquerón 1ra. S-CENTRO)	97
Tabla 10.5-38.- Vulnerabilidad de la vivienda (González 1ra. S- CENTRO).....	98
Tabla 10.5-39.- Vulnerabilidad de la vivienda (Boquerón 4ta. S-CENTRO).....	98
Tabla 10.5-40.- Vulnerabilidad de la vivienda (Lázaro Cárdenas 2da. S-CENTRO).....	99
Tabla 10.5-41.- Vulnerabilidad de la vivienda (Constitución-CENTRO).....	99
Tabla 10.5-42.- Vulnerabilidad de la vivienda (Emiliano Zapata-CENTRO).....	100
Tabla 10.5-43.- Vulnerabilidad de la vivienda (Acachapan y C-CENTRO)	101
Tabla 10.5-44.- Vulnerabilidad de la vivienda (Anacleto Canabal 3ra. Sección-CENTRO)	
.....	101
Tabla 10.5-45.- Vulnerabilidad de la vivienda (Jalapa-JALAPA)	102
Tabla 10.5-46.- Vulnerabilidad de la vivienda (Jalpa de Méndez- JALPA DE MÉNDEZ) 103	
Tabla 10.5-47.- Vulnerabilidad de la vivienda (Ayapa-JALPA DE MÉNDEZ)	103
Tabla 10.5-48.- Vulnerabilidad de la vivienda (Jalupa-JALPA DE MÉNDEZ)	104
Tabla 10.5-49.- Vulnerabilidad de la vivienda (Soyataco-JALPA DE MÉNDEZ).....	104
Tabla 10.5-50.- Vulnerabilidad de la vivienda (Iquinuapa-JALPA DE MÉNDEZ)	105
Tabla 10.5-51.- Vulnerabilidad de la vivienda (El río-JALPA DE MÉNDEZ)	106
Tabla 10.5-52.- Vulnerabilidad de la vivienda (Vicente Guerrero 1ra. Sección-JALPA DE	
MÉNDEZ)	106
Tabla 10.5-53.- Vulnerabilidad de la vivienda (Nacajuca-NACAJUCA)	107
Tabla 10.5-54.- Vulnerabilidad de la vivienda (Pomoca-NACAJUCA)	108
Tabla 10.5-55.- Vulnerabilidad de la vivienda (Bosque de Saloya-NACAJUCA)	108
Tabla 10.5-56.- Vulnerabilidad de la vivienda La selva-NACAJUCA)	109
Tabla 10.5-57.- Vulnerabilidad de la vivienda (Lomitas-NACAJUCA).....	109
Tabla 10.5-58.- Vulnerabilidad de la vivienda (El cedro-NACAJUCA)	110
Tabla 10.5-59.- Vulnerabilidad de la vivienda	111
Tabla 10.5-60.- Vulnerabilidad de la vivienda (Saloya 2da. Sección-NACAJUCA)	111
Tabla 10.5-61.- Vulnerabilidad de la vivienda (Guatacalca-NACAJUCA)	112
Tabla 10.5-62.- Vulnerabilidad de la vivienda (Sandial-NACAJUCA)	112
Tabla 10.5-63.- Vulnerabilidad de la vivienda (Samarkanda- NACAJUCA)	113
Tabla 10.5-64.- Vulnerabilidad de la vivienda (Saloya 1ra. Sección-NACAJUCA).....	114
Tabla 10.5-65.- Vulnerabilidad de la vivienda (Tapotzingo-NACAJUCA).....	114
Tabla 10.5-66.- Vulnerabilidad de la vivienda (Guaytalpa-NACAJUCA)	115
Tabla 10.5-67.- Vulnerabilidad de la vivienda (Tacotalpa-TACOTALPA)	115
Tabla 10.5-68.- Vulnerabilidad de la vivienda (Tapijulapa-TACOTALPA).....	116
Tabla 10.5-69.- Vulnerabilidad de la vivienda (Teapa-TEAPA)	117
Tabla 10.5-70.- Vulnerabilidad de la vivienda (Juan Aldama-TEAPA).....	117
Tabla 10.5-71.- Numeración de planos de Vulnerabilidad	118

Tabla 10.6-1.- Localidades urbanas (población mayor a 2,500 habitantes).....	126
Tabla 10.6-2.-Numeración de planos de Vulnerabilidad.....	129
Tabla 10.7-1.-Numeración de planos de Severidad	136
Tabla 10.8-1. Tiempos de concentración para las cuencas de la Sierra	143
Tabla 10.9-1 Daño Anual Esperado asociado a 28 localidades afectadas	148
Tabla 10.9-2 Relación Beneficio-Costo para a 26 localidades afectadas	151

ACCIONES DE APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

10 Elaboración de mapas de peligro y riesgo para localidades mayores a 2,500 habitantes

Objetivo

Elaborar los mapas de peligro, severidad, vulnerabilidad, riesgo y Daño Anual Esperado (DAE) por inundación, para localidades mayores a 2,500 habitantes para diferentes periodos de retorno para los rubros aplicables (2, 5, 10, 50, 100, 500 y 1000) para los centros de población del estado de Tabasco.

10.1 Introducción

Las inundaciones son consideradas como uno de los fenómenos de mayor impacto en el ámbito mundial, debido al efecto que producen en grandes extensiones territoriales densamente pobladas. Una inundación es el proceso que produce cuando el gasto de una avenida generada en una cuenca supera la capacidad del cauce por lo que el exceso de agua escurre fuera del mismo hacia las partes más bajas. Las inundaciones son fenómenos naturales que se convierten en riesgo cuando las poblaciones se encuentran dentro de las llanuras de inundación.

Es por ello que este capítulo, se presentan los aspectos necesarios para la elaboración de los mapas de peligro y riesgo por inundaciones para el estado de Tabasco. Para reducir el riesgo debido a inundaciones, es vital contar con mapas de riesgo que sustenten la toma de decisiones sobre una adecuada planeación para ubicar los nuevos asentamientos humanos en zonas más seguras¹. El análisis de riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los bienes expuestos, como consecuencia de la

¹ Metodologías propuestas por el CENAPRED para elaborar mapas de riesgo por inundación. Enero 2013.

 10/11/13

ocurrencia de amenazas naturales, integrando a manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso².

A través del análisis de mapas de precipitación máxima, registros de inundaciones históricas, topografía del sitio y las características fisiográficas de la cuenca, se evalúa el riesgo de inundación en una ubicación específica³.

Los mapas de riesgos ayudan a entender las amenazas y peligros en las comunidades, de esta manera motivar a las comunidades a tomar acciones para prevenir o reducir los efectos de un posible evento. Por ejemplo indican que escuelas o edificios importantes que están en un lugar de mayor riesgo ante deslizamiento. Otro aspecto importante es preparar a la población en caso de emergencia, indicando los mapas dónde se localizan las zonas de seguridad o edificios más seguros o por cuáles vías deben evacuar la zona. Para reducir el riesgo debido a inundaciones, es vital contar con mapas de riesgo que sustenten la toma de decisiones sobre una adecuada planeación para ubicar los nuevos asentamientos humanos en zonas más seguras⁴.

Por su situación geográfica la República Mexicana se ve afectada por lluvias derivadas de diversos fenómenos hidrometeorológicos. En verano, el país está sujeto a la acción de ciclones tropicales. Durante el invierno, es afectado por frentes polares originados en latitudes altas que viajan hacia el sur y causan fuertes precipitaciones en todo el país, sobre todo en el norte.

A estos fenómenos se suman los efectos orográficos y las precipitaciones originadas por fenómenos convectivos, los cuales producen tormentas muy intensas aunque de poca duración y extensión. Esta diversidad de fenómenos produce condiciones extremas de inundación. Las inundaciones ocurren prácticamente en todo México. Existen 47 ríos importantes, mismos que fluyen en tres diferentes vertientes: del Golfo, Pacífico y del interior. Prácticamente cada año, se producen inundaciones derivadas del desbordamiento de los grandes ríos.

² Vulnerabilidad y Riesgo por inundaciones. Mario Ordaz, Marco Antonio Torres y Ramón Domínguez. Nov/2013.

³ www.ern.com.mx ESPECIALISTAS EN EVALUACIÓN DE RIESGOS NATURALES

⁴ Fuente: Metodologías propuestas por el CENAPRED para elaborar mapas de riesgo por inundación. CENAPRED. Enero del 2013.

La comprensión del problema de inundaciones en el Estado de Tabasco; entre ellos, se consideran los factores ambientales y antropogénicos que tienen una influencia directa en la generación de la problemática de inundaciones que actualmente vive el Estado. El 35% del agua disponible en México se concentra en el Estado de Tabasco y es la entidad que recibe mayor cantidad de lluvia (CONAGUA, 2010). Sin embargo, pese a su relativa abundancia, no se ha podido garantizar el abasto de agua potable de calidad a toda su población, especialmente para aquellos que viven en comunidades rurales. Las regiones del país más vulnerables son donde el periodo de lluvias es más prolongado y abundante, como sucede en la **llanura tabasqueña** donde los ríos son permanentemente caudalosos. El escurrimiento también afecta a las partes bajas y no necesariamente por lluvia directa.

Las zonas costeras también están expuestas debido a la presencia de ciclones tropicales. En las cuencas que han sido urbanizadas, los daños que las inundaciones producen son cada vez mayores debido a que las modificaciones en el terreno alteran los coeficientes de escurrimiento, dando como resultado crecientes mayores.

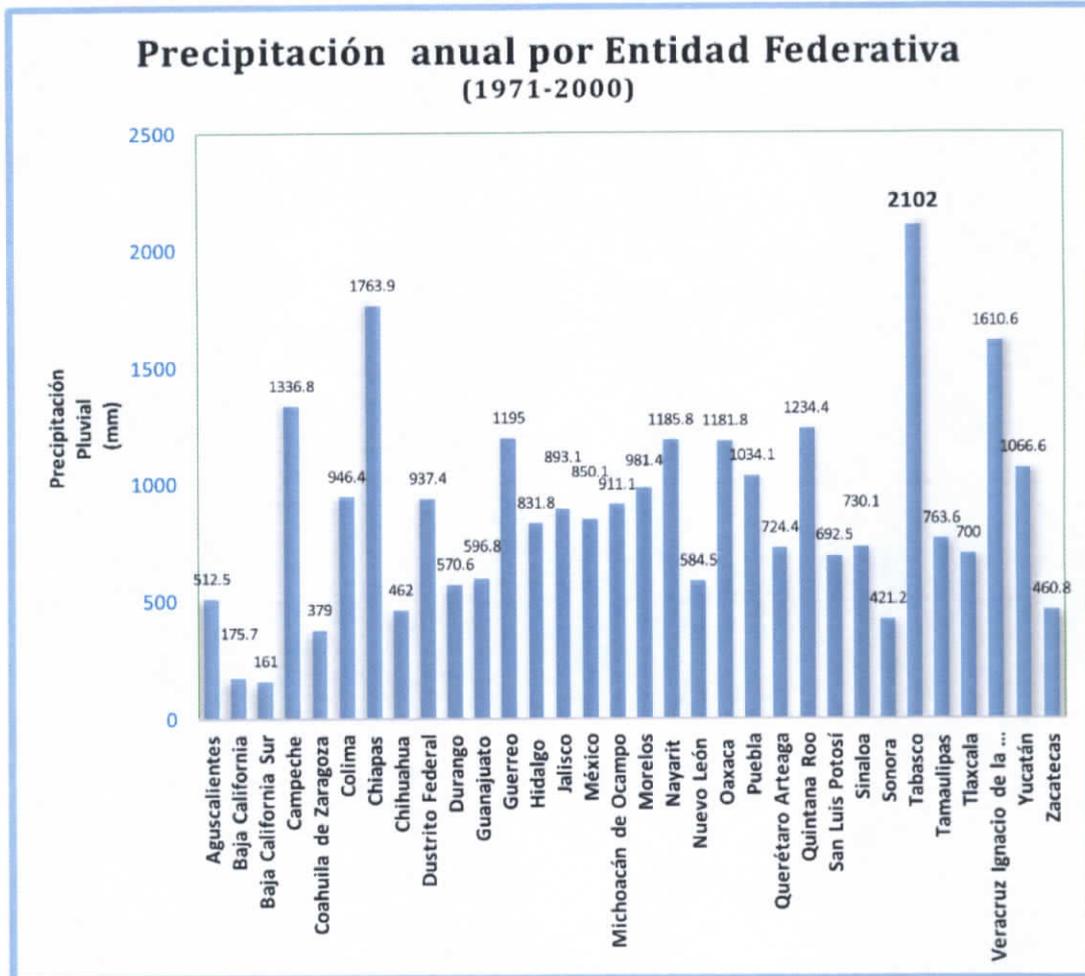


Figura.-10.2.1 Precipitaciones pluviales anuales por Entidad Federativa.5

En la siguiente Tabla 10.1 se presentan las láminas de lluvia del 2012 por entidad federativa y a nivel nacional. Los estados más lluviosos con más de 1,000 mm anuales en orden descendente fueron **Tabasco**, Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Quintana Roo, Campeche y Nayarit y los menos lluviosos con menos de 500 mm son Chihuahua, Aguascalientes, Zacatecas, Durango, Sonora, Coahuila, Baja California Sur y baja California. Renderizar⁶.

⁵ Fuente: CONAGUA 2010.

⁶ Sistema de información Hidroclimatológicas (SIH) de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos-Conagua. Con base a la información disponible en Diciembre del 2012.

Tabla.- 10.2-1 Precipitación nacional por entidad federativa durante 2012, valores en (mm).⁷

ESTADO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
AGUASCALIENTES	11.0	51.9	1.1	0.0	5.4	60.0	144.5	89.4	64.6	6.4	4.2	9.1	447.6
BAJA CALIFORNIA	4.0	27.5	37.2	37.6	0.0	0.1	4.3	7.8	11.1	1.9	5.6	32.8	169.9
BAJA CALIFORNIA SUR	0.0	9.4	1.4	0.2	0.1	0.0	2.3	104.6	107.5	65.8	1.7	13.1	306.1
CAMPECHE	24.0	22.7	29.8	28.2	106.4	268.8	176.2	199.8	174.6	81.0	4.4	25.4	1141.3
COAHUILA	7.2	19.3	24.3	19.2	53.8	13.5	47.7	39.1	82.8	20.3	22.9	3.5	353.6
COLIMA	0.0	76.1	0.0	0.1	39.3	255.2	118.7	205.0	169.3	66.7	36.1	24.2	990.7
CHIAPAS	53.3	38.6	58.2	57.8	181.1	264.0	211.8	418.2	321.3	194.4	29.0	57.7	1885.4
CHIHUAHUA	2.5	7.4	8.1	6.7	5.4	12.2	133.7	120.8	104.1	33.4	20.6	21.4	476.3
DISTRITO FEDERAL	6.9	28.2	26.5	15.1	16.3	96.0	160.5	108.4	83.4	14.9	12.7	0.0	568.9
DURANGO	2.4	9.6	0.3	4.4	7.8	17.1	134.5	97.0	87.0	26.0	9.4	10.7	406.2
GUANAJUATO	6.4	59.5	7.1	1.7	12.4	85.8	190.5	99.7	86.2	5.7	14.9	3.4	573.3
GUERRERO	2.3	6.1	2.5	4.9	38.4	217.1	150.9	243.9	185.4	98.8	10.7	0.5	961.5
HIDALGO	12.1	49.6	22.9	23.2	28.6	87.7	116.3	195.4	74.0	12.8	26.1	3.7	652.4
JALISCO	0.6	63.7	8.6	0.1	9.2	123.8	202.2	158.7	69.1	22.0	6.1	12.2	676.3
MEXICO	3.3	33.6	14.4	9.0	20.1	130.1	180.7	131.0	78.2	14.8	12.5	0.6	628.3
MICHOACAN	1.9	59.5	10.6	0.9	20.3	142.6	186.0	192.5	81.0	25.4	28.4	5.8	754.9
MORELOS	3.1	20.1	3.4	6.4	50.6	159.3	225.4	207.5	128.9	31.1	4.4	0.2	840.4
NAYARIT	0.5	30.3	0.0	0.2	3.0	208.1	253.8	325.6	194.0	37.7	2.3	4.7	1060.2
NUEVO LEON	4.9	71.0	24.0	23.4	48.5	59.4	25.2	83.3	105.4	41.6	73.6	2.1	562.4
OAXACA	52.4	21.8	22.8	44.0	56.7	349.2	140.0	315.4	219.5	93.8	30.3	14.1	1360.0
PUEBLA	44.7	57.5	29.3	42.1	60.5	231.1	273.7	333.3	201.7	63.2	42.2	11.2	1390.5
QUERETARO	6.7	53.8	10.0	4.9	20.4	110.5	138.0	113.8	94.4	7.0	27.9	2.5	589.9
QUINTANA ROO	54.8	58.1	25.0	97.1	202.6	215.8	108.1	202.8	105.2	179.1	43.9	45.6	1338.1
SAN LUIS POTOSI	20.1	48.3	17.3	63.2	59.7	143.1	157.2	195.0	176.5	37.2	53.9	2.9	974.4
SINALOA	0.6	5.7	0.1	0.2	0.3	57.5	181.4	239.1	122.7	44.4	5.2	40.0	697.2
SONORA	2.9	8.5	3.2	0.5	1.2	20.2	122.7	118.0	72.2	4.2	1.7	27.4	382.7
TABASCO	215.9	149.0	35.2	52.2	152.9	270.0	171.8	385.1	293.2	203.1	18.6	122.8	2069.8
TAMAULIPAS	22.9	79.9	18.9	51.4	46.4	123.6	73.1	86.0	142.8	34.0	45.2	3.1	727.3
TLAXCALA	4.2	30.5	27.7	22.4	32.5	202.3	197.1	174.7	111.7	36.2	6.6	3.3	849.2
VERACRUZ	87.4	47.3	25.9	59.8	91.8	228.0	205.6	406.9	258.1	164.7	89.2	31.3	1696.0
YUCATAN	65.8	15.6	6.7	112.4	71.0	168.8	110.7	122.4	141.4	100.6	17.5	15.4	948.3
ZACATECAS	6.2	36.2	1.1	1.8	9.1	38.1	126.7	111.2	79.5	9.9	5.4	5.6	430.8
NACIONAL	18.6	30.8	14.0	22.1	39.4	104.3	129.6	164.8	126.1	52.0	22.4	18.2	742.3

Cabe señalar que en el estado de Tabasco, la Secretaría de Gobernación ha emitido declaratorias por desastres naturales en la mayor parte de los municipios del estado de Tabasco. Por ejemplo en los años 2007, 2008 y 2013.

Los elementos de la SEDENA aplican el plan DN-III-E, en las localidades que son afectadas por las intensas lluvias, y por inundaciones y desbordamientos de los ríos Teapa, La Sierra y Pichucalco.

⁷ ÍDEM

La declaratoria de Desastre Natural se expide para efectos de poder acceder a los recursos del FONDEN, de acuerdo con lo dispuesto por la Ley General de Protección Civil y las Reglas de Operación vigentes de dicho Fondo⁸.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la precipitación anual que ocurre en la región se encuentra entre las más altas del mundo (2 750 milímetros en la zona costera y hasta 4 000 en las estribaciones de la sierras, siendo en consecuencia la más alta en la república mexicana (CONAGUA, 1996).

A lo largo de la parte media y norte del estado, el clima dominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con temperaturas promedio de 26 °C y precipitación media anual de 2,000 mm; en la porción sur se encuentra el clima cálido- húmedo con lluvias todo el año, es la zona más lluviosa de Tabasco con una precipitación de 4,000 mm de media anual y temperatura promedio de 26 °C; en una pequeña porción del noreste, prevalece el cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura promedio de 26 °C y precipitación media anual de 1,500 mm . (CNA, 2005).

El estado de Tabasco se ubica en la región sureste de la República Mexicana, colinda al norte con el Golfo de México y Campeche y la República de Guatemala; al sur con Chiapas; al oeste con Veracruz. De forma general el clima de Tabasco es considerado del tipo trópico húmedo, con temperatura media anual de 25 °C; el estado cuenta con una gran cantidad de ríos, lagos y lagunas, además de aguas marinas del Golfo de México que forman esteros y manglares.

⁸ Fuente: DIARIO OFICIAL. Declaratoria de desastre Natural. 21de Febrero del 2007.



Figura.-10.2.2 Mapa de Climas del estado de Tabasco, se observa que el clima predominante es el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano Am. 9

Por tanto el estado de Tabasco, se caracteriza por ser un estado con una alta biodiversidad biológica en recursos naturales, su ubicación geográfica privilegiada, ($18^{\circ} 39'$ y $17^{\circ} 15'$ de latitud norte; $91^{\circ} 00'$ y $94^{\circ} 07'$ de longitud oeste) es propicia para presentar un clima cálido-húmedo en el cual se desarrollan ocho tipos de vegetación, los climas tipo A corresponden a las zonas más cálidas del planeta, y dentro de este

⁹ Fuente: INEGI, 2010.

UF

grupo se diferencian aquellos con estaciones secas cortas (*Am*)¹⁰ como es el caso de Tabasco, por lo que cuenta con 2,200 especies de flora, 26 clases de peces, 11 anfibios, 45 de reptiles, 58 de aves y 22 de mamíferos (*Flores, et al, 1994*). Tabasco se ubica en la confluencia y delta de los dos principales ríos de México: el Grijalva y el Usumacinta, los cuales suman aproximadamente el 30 % del total del escurrimiento de México¹¹.

Tabasco se divide 17 municipios, quedan distribuidos de acuerdo a sus subregiones. En la **subregión Centro** con una superficie de 2,572.84 km² 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 km² 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.

Las localidades más importantes por su desarrollo económico y social en cada subregión son: en la subregión Centro, la ciudad de Villahermosa; en la subregión Chontalpa figuran Cárdenas, Comalcalco, Huimanguillo, Cunduacán y La Venta; en la subregión de la Sierra sobresalen Jalapa, Tacotalpa y Teapa; en la subregión Ríos las ciudades que destacan son Tenosique de Pino Suárez y Emiliano Zapata; y en la subregión Pantanos son las localidades de Macuspana y Frontera. (*CNA, 2005*).

A continuación se describe la ubicación geográfica de cada uno de los municipios que conforman el estado de Tabasco¹².

1.- El municipio de **Tacotalpa** se encuentra enclavado en la sierra del estado de Tabasco. Sus coordenadas geográficas son: al Norte 17°41' de latitud, al Este 92°31' y al Oeste 92°54'. Colinda al *Norte* con los municipios de Jalapa y Macuspana, al *Este* con el Municipio de Macuspana y el estado de Chiapas, al

¹⁰ <http://www.atmosfera.cl/HTML/climatologia/koppen.htm>- Clasificación del clima según Köppen.

¹¹ Informe de las inundaciones de 2007 en el estado de Tabasco. Diagnóstico preliminar (5 de Marzo del 2008).

¹² Gobierno del Estado de Tabasco. www.tabasco.gob.mx

Sur con el estado de Chiapas, al Oeste con el estado de Chiapas y el Municipio de Teapa.

La extensión territorial del municipio es de 738,52 km², que corresponden al 3,01% del total del estado. Su división territorial está conformada por: una ciudad (dos colonias urbanas y una colonia rural), una villa, dos poblados, 21 rancherías, 34 ejidos, cuatro centros de población y cinco secciones ejidales. (FAO, 2010).

Según el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, en el municipio de Tacotalpa habitan 46 302 personas. Más de 11% de la población es analfabeta, y menos del 64% de las personas en edad escolar asisten a la escuela. Asimismo, el promedio de ocupantes por vivienda es de 4,32 personas y 42% de las viviendas padecen de hacinamiento.

En Tacotalpa existen localidades que rebasan el criterio censal de 2.500 habitantes como límite entre lo rural y lo urbano, pero que continúan teniendo una problemática muy similar a la de cualquier entorno rural. (Programa para las Naciones Unidas PNUD, 2010).

2.- El municipio de **Teapa** se localiza en la región de la Sierra del estado de Tabasco. Se encuentra situado entre las coordenadas geográficas 17° 32' latitud norte y entre 92° 57' longitud oeste. Limita al norte con los municipios de Centro y Jalapa, al sur con el estado de Chiapas, en la parte este nuevamente con Jalpa y Tacotalpa y finalmente al oeste una vez más con el estado de Chiapas.

Los resultados estadísticos que obtuvo el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) del tercer censo de población que realizó en el 2010, mostraron que el número total de personas que viven en el municipio de Teapa es de 53 555. Dicho municipio está formado por una superficie territorial de 679.78 kilómetros cuadrados. Debido a las diferentes elevaciones que se encuentran en su territorio, el municipio se encuentra situado a una altura promedio de unos 72 metros sobre el nivel del mar.

3.- El municipio de **Jalapa** se encuentra ubicado en la región de la Sierra. Debido a su posición geográfica, limita al norte con los municipios de Centro y Macuspana, en la parte sur con el municipio de Tacotalpa, en la zona este una

 2015

vez más con Macuspana y finalmente en la región oeste limita con los municipios de Teapa y Centro.

El mapa de la República Mexicana indica que el municipio de Jalapa se ubica entre las coordenadas geográficas 17° 38' latitud norte y 92° 40' y 92° 56' longitud oeste.

Es importante saber que la superficie territorial que cubre al municipio de Jalapa es de aproximadamente 642.91 kilómetros cuadrados y se encuentra situado a una altura promedio de 20 metros sobre el nivel del mar. En otra información, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía señaló que los resultados obtenidos y publicados del tercer censo de población que realizó en el 2010 en el municipio de Jalapa, fueron que el número de personas que viven en dicho municipio es de 36,391 habitantes. (INEGI, 2010)

4.- El municipio de **Centro** se localiza en la zona centro del estado de Tabasco, su cabecera municipal es la ciudad de Villahermosa, capital del estado. En cuanto a sus coordenadas geográficas, éstas son: 17° 59' latitud norte y 92° 56' longitud oeste. Por su posición territorial, limita al norte con los municipios de Nacajuca y Centla, al sur con Jalpa de Méndez y el estado de Chiapas, al este nuevamente con Centla y Macuspana y al oeste con el estado de Chiapas y con los municipios de Cárdenas y Nacajuca.

Centro se encuentra a una altura promedio de 20 metros sobre el nivel del mar (msnm) y su extensión territorial total es de 1,612 kilómetros cuadrados. Es importante saber que los resultados que se obtuvieron del conteo de población y vivienda que realizó el INEGI durante el año 2010, mostraron que el número total de personas que viven en el municipio de Centro es de 640 359 habitantes. (INEGI, 2010)

5.- El municipio de **Nacajuca** se encuentra situado entre las coordenadas 18° 09' 05" latitud norte y entre 93° 01' 06" longitud oeste. Debido a la variedad de elevaciones que tiene, la altitud de dicho municipio es variable pero en datos generales es de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm) y cuenta con una extensión territorial de 488.37 kilómetros cuadrados. Se localiza en la región conocida como Chontalpa al noroeste de Villahermosa en el estado de Tabasco.

Nacajuca limita al norte con los municipios de Jalpa de Méndez, Centla y Centro, al este con Centro, al sur una vez más con el municipio de Centro y Cunduacán, finalmente en la región oeste nuevamente limita con Cunduacán y Jalpa de Méndez.

En otra información básica, es fundamental saber que el Instituto Nacional de Estadística y Geografía señaló que de acuerdo a los resultados que se obtuvieron del conteo de población realizado en el 2010, el municipio de Nacajuca cuenta con una población total de 115 066 habitantes. (INEGI, 2010)

6.- El municipio de **Jalpa de Méndez** se localiza en la zona de Chontalpa en el estado de Tabasco. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 18° 25' latitud norte y entre 18° 04' longitud oeste. Los límites territoriales, Jalpa de Méndez limitan al norte con los municipios de Paraíso y Centla, al sur con Cunduacán y Nacajuca, al este con Nacajuca y del lado oeste limita con los municipios de Comalcalco, Cunduacán y Paraíso.

El municipio de Jalpa de Méndez está constituido por una superficie territorial total de unos 472.36 kilómetros cuadrados y tomando en cuenta las elevaciones que hay en dicho municipio, presenta una altitud promedio de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm). Por otro lado, los datos estadísticos, el INEGI informó que los resultados del conteo de población llevado a cabo durante el 2010, fueron que el número de población que hay en el municipio de Jalpa de Méndez es de 83 356 habitantes. (INEGI, 2010)

7.- El municipio de **Centla** se localiza en la región de los ríos, su cabecera municipal es Puerto de Frontera, la cual se encuentra situado al norte del estado de Tabasco. Dicho municipio se localiza entre las coordenadas geográficas 18° 40' y 18° 20' latitud norte y entre 92° 16' y 93° 50' longitud oeste. Centla está formado por una extensión territorial total de 3,093 kilómetros cuadrados y se encuentra a una altura promedio de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Territorialmente colinda al norte con el Golfo de México, al sur con los municipios de Macuspana y Centro, al este con el estado de Campeche y el municipio de Jonuta y en la zona oeste con los municipios de Centro, Nacajuca, Jalpa de Méndez y Paraíso.

En otros datos, los resultados estadísticos que obtuvo el INEGI del conteo de población realizado en el año 2010, mostraron que el número total de personas que viven en el municipio de Centla es de 102 110 habitantes. (INEGI, 2010)

8.- El municipio de **Tenosique** se localiza entre las coordenadas geográficas 18° 40' y 18° 20' latitud norte y entre 90° 59' y 91° 38' longitud oeste, con una altitud entre 0 y 700 m. Colinda al norte con el municipio de Balancán, también al este con el municipio de Balancán y la República de Guatemala y el estado de Chiapas, al oeste con el estado de Chiapas y el municipio de Emiliano Zapata. Ocupa el 7.62 % de la superficie del estado. Cuenta con 140 localidades y una población total de 58 960 habitantes. (INEGI, 2010).

9.- El municipio de **Balancán** se localiza en la región conocida como Usumacinta en el estado de Tabasco. Se encuentra entre las coordenadas 17° 48' latitud norte y entre 91° 32' longitud oeste. Colinda en la parte norte con el estado de Campeche, en la zona sur con los municipios de Tenosique y Emiliano Zapata, en la parte este nuevamente con el estado de Campeche y la República de Guatemala y al oeste colinda con el municipio de Emiliano Zapata y con el estado de Campeche.

Territorialmente el municipio de Balancán está formado por una extensión de unos 3,626.10 kilómetros cuadrados y debido a la gran variación de elevaciones que tiene, se encuentra a una altura promedio de 30 metros sobre el nivel del mar (msnm). En datos estadísticos, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía señaló que los resultados del conteo de población del 2010 el municipio de Balancán tiene una población total de 56,739 habitantes. (INEGI, 2010)

10.- El municipio de **Emiliano Zapata** se localiza en la zona de Usumacinta en el estado de Tabasco. Su posición geográfica se encuentra entre las coordenadas 17° 44' latitud norte y entre 91° 46' longitud oeste. La extensión total que cubre al territorio de Emiliano Zapata es de 437.40 kilómetros cuadrados. Se encuentra a una altura promedio de 30 metros sobre el nivel del mar (msnm). Debido a su posición territorial Emiliano Zapata limita con otros lugares, al norte con el estado de Campeche, al sur con Chiapas, al este con el municipio de Balancán y Tenosique y al oeste con el municipio de Jonuta.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía señaló que los resultados del conteo de población y vivienda realizado en el 2010 en el municipio de Emiliano Zapata, mostraron que cuenta con una población total de 29 519 habitantes. (INEGI, 2010)

11.- El municipio de **Jonuta** se encuentra ubicado en la región de los ríos en el estado de Tabasco. Dicho municipio se encuentra entre las coordenadas geográficas 18° 28' y 17° 48' latitud norte y 91° 46' del trópico de cáncer y 92° 21' longitud oeste del meridiano de Greenwich. La extensión territorial total con la que está formado Jonuta es de 1,575.64 kilómetros cuadrados. Debido a las diferentes elevaciones que hay en dicho lugar, presenta una altitud promedio de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Limita al norte y al este con el estado de Campeche, al sur con el municipio de Macuspana y con el estado de Chiapas, y en la parte oeste limita con los municipios de Centla y una vez más con Macuspana. Entre otros datos estadísticos, de acuerdo a los resultados presentados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía del tercer conteo de población y vivienda, realizados en el 2010, el número de habitantes en el municipio de Jonuta es de 29 511 habitantes. (INEGI, 2010)

12.- El municipio de **Macuspana** se encuentra ubicado en la región de Usumacinta, específicamente en la zona de los pantanos en el estado de Tabasco y presenta una distancia aproximada de 45 kilómetros de Villahermosa, capital del estado. Colinda al norte con los municipios de Centro, Centla y Jonuta, al este nuevamente con Jonuta y con el estado de Chiapas, al sur una vez más colinda con el estado de Chiapas y el municipio de Tacotalpa, finalmente al oeste con Tacotalpa, Jalapa y Centro. Debido a su posición geográfica, el municipio de Macuspana se localiza entre las coordenadas geográficas 17° 45' 17" latitud norte y entre 92° 32' 92" longitud oeste.

El municipio de Macuspana se encuentra situado a una altitud promedio de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm). Su territorio se extiende a 2,551.70 kilómetros cuadrados. Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía señaló que de acuerdo a los resultados que se obtuvieron del conteo

de población realizado en el 2010, el municipio de Macuspana cuenta con una población total de 153 129 habitantes. (INEGI, 2010)

13.- El municipio de **Paraíso** se localiza en la región del río Grijalva en la subregión conocida como Chontalpa en el estado de Tabasco. Debido a la posición geográfica que tiene en el mapa de la República Mexicana, se encuentra situado entre las coordenadas: 18° 24' 00" latitud norte y entre 93° 13' 59" longitud oeste.

Es importante saber que de acuerdo a las diferentes elevaciones que hay en dicho municipio, se encuentra situado a una altura promedio de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm). Presenta una superficie territorial de aproximadamente 377.55 kilómetros cuadrados.

El municipio Paraíso tiene colindancia territorial al norte con el Golfo de México y el municipio de Centla, al sur con Jalpa de Méndez, Comalcalco y Cárdenas, al este una vez más con los municipios de Centla y Jalpa de Méndez y al oeste nuevamente con Cárdenas y con el Golfo de México. En otros datos, el INEGI realizó el conteo de población en el 2010 y dio a conocer los resultados señalando que el municipio de Paraíso cuenta con un total de 86 620 habitantes. (INEGI, 2010)

14.- El municipio de **Huimanguillo** se localiza entre las coordenadas geográficas 17° 19' latitud norte y entre 93° 23' longitud oeste. El municipio de Paraíso colinda al norte con el municipio de Cárdenas, al este con el estado de Chiapas, al sur nuevamente con el estado de Chiapas y con el de Veracruz y finalmente en la parte oeste una vez más con el estado de Veracruz. Es importante saber que Huimanguillo tiene una extensión territorial de 3,757.59 kilómetros cuadrados y debido a eso es considerado como el municipio más grande de Tabasco. En cuanto a su altitud, ésta es variable pero en datos generales se sitúa a una altura promedio de unos 1,000 metros sobre el nivel del mar.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía mejor conocido por sus iniciales como el "INEGI", informó que de acuerdo a los resultados obtenidos del tercer censo de población y vivienda realizados durante el 2010 en todos los estados y



municipios del país, mostraron que el municipio de Huimanguillo está formado por un total de 179 285 habitantes. (INEGI, 2010)

15.- El municipio de **Cárdenas** se encuentra en la región de Chontalpa en el estado de Tabasco y se localiza entre las coordenadas geográficas 17° 59' latitud norte y entre 91° 32' longitud oeste. Limita al norte con el Golfo de México, así como con los municipios de Paraíso y Comalcalco, al sur con el estado de Chiapas y el municipio de Huimanguillo, al este con Comalcalco, Cunduacán y nuevamente con el estado de Chiapas, y finalmente al oeste con Huimanguillo y el estado de Veracruz.

La extensión territorial que presenta el municipio de Cárdenas es de aprox. 2,112 kilómetros cuadrados y presenta elevaciones de diferentes metros de altura, pero su altitud promedio es de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm). En otros datos estadísticos, el INEGI dio a conocer que de acuerdo a los resultados estadísticos del tercer censo de población desarrollado en el 2010 en el municipio de Cárdenas, los cuales mostraron que cuenta con 248 481 habitantes. (INEGI, 2010)

16.- El municipio de **Cunduacán** se encuentra en la región de la Chontalpa tabasqueña. Y se localiza en las coordenadas geográficas 18°03' de latitud norte y 93° 10' de latitud oeste. Limita al norte con los municipios de Comalcalco y Jalpa de Méndez, al sur con el municipio de Centro y el estado de Chiapas, al este con los municipios de Nacajuca y Centro y al oeste con el municipio de Cárdenas.

La superficie de Cunduacán es de 623.9 km², el cual representa el 2.54% del territorio del estado. En otros datos estadísticos, el INEGI dio a conocer que de acuerdo a los resultados estadísticos del tercer censo de población desarrollado en el 2010 en el municipio de Cunduacán, los cuales mostraron que cuenta con 126 416 habitantes. (INEGI, 2010)

17.- El municipio de **Comalcalco** se encuentra en las coordenadas geográficas de 18°16' de latitud norte y 93° 06' de latitud oeste y una mediana altura de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm). El municipio se encuentra en la región noroeste del estado. Limita al norte con el Golfo de México, al sur con los

municipios de Cunduacán y Jalpa de Méndez, al este con Paraíso y Jalpa de Méndez y al oeste con el municipio de Cárdenas.

En Comalcalco tiene una población de 164 640 habitantes. La superficie de Comalcalco es de 723.19 km², el cual representa el 2.95% del territorio del estado.

En otros datos estadísticos, el INEGI dio a conocer que de acuerdo a los resultados estadísticos del tercer censo de población desarrollado en el 2010 en el municipio de Comalcalco, los cuales mostraron que cuenta con 192 802 habitantes. (INEGI, 2010).

10.1.1 Zona de estudio

La elaboración de mapas de peligro y riesgo se realizó para las localidades mayores a 2,500 habitantes ubicados dentro de los municipios de Tacotalpa, Teapa, Jalapa, Centro, Nacajuca, Jalpa de Méndez y Centla. (Ver Figura.-10.2.3)

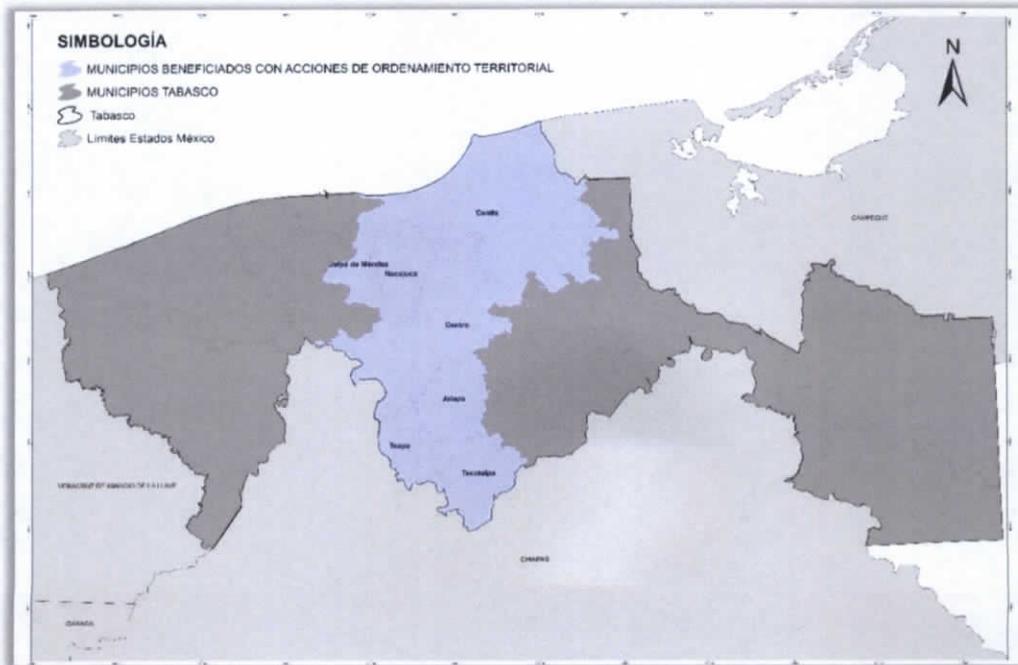
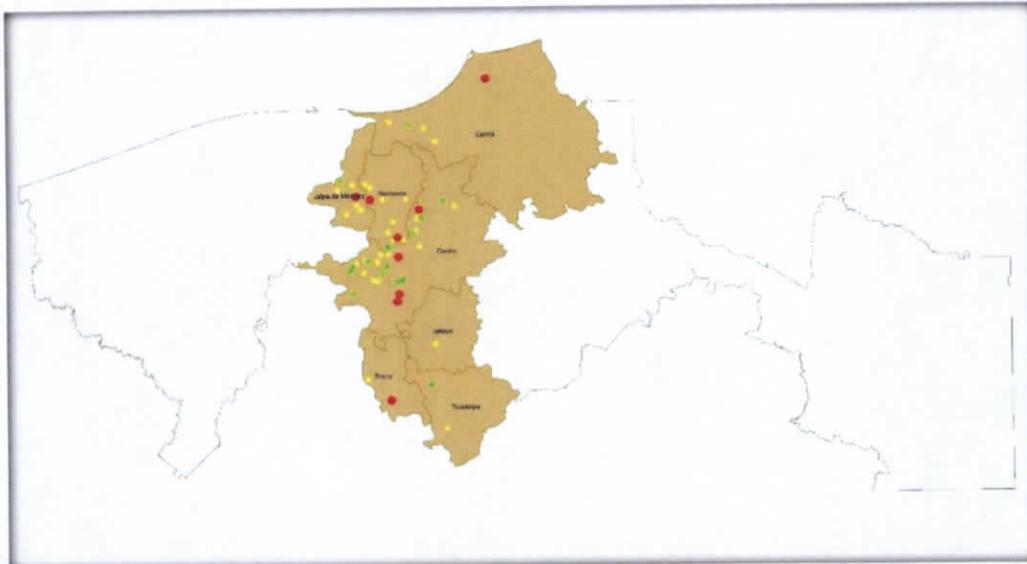


Figura.-10.2.3 Zona estudio (FUENTE: Instituto de Ingeniería, 2014)



MUNICIPIO	número de habitantes en el municipio	entre 2,500 y 4,999 hab	entre 5,000 y 9,999 hab	más de 10,000 hab	Total por municipio	% de habitantes incluidos en los mapas de peligro y riesgo
Tacotalpa	46,302	2,921	8,071	0	10,992	23.74%
Teapa	53,555	3,501	0	26,548	30,049	56.11%
Jalapa	36,391	4,999	0	0	4,999	13.74%
Centro	640,359	37,915	84,296	404,749	526,960	82.29%
Nacajuca	115,066	34,154	16,290	22,153	72,597	63.09%
Jalpa de Méndez	83,356	16,850	5,640	15,695	38,185	45.81%
Centla	102,110	10,041	8,188	22,795	41,024	40.18%
Total por categoría	1,077,139	110,381	122,485	491,940	724,806	

Figura.-10.2.4 Ubicación de las localidades mayores a 2, 500 habitantes en la zona de estudio (FUENTE: Censo INEGI, 2010)

10.2 Recopilación de información

10.2.1 Modificación de los modelos digitales de elevación (MDE)

Para modelar el comportamiento hidráulico de los ríos de Tabasco es necesario introducir en un software para este propósito, información sobre la topografía y batimetría del sitio. Esta información debe estar en un solo Modelo Digital de Elevación (DEM).

Se obtuvieron DEM del INEGI, generados con tecnología LIDAR, resolución 5mX5m, escala 1:10000; los cuales fueron modificados para incluirles la batimetría de los ríos, ya que esta tecnología no detecta la diferencia entre cuerpos de agua y el fondo del terreno. Las batimetrías utilizadas para este propósito fueron obtenidas de diversas

fuentes: propias, CONAGUA, Secretaría de Marina, etc. La metodología se describe a continuación.

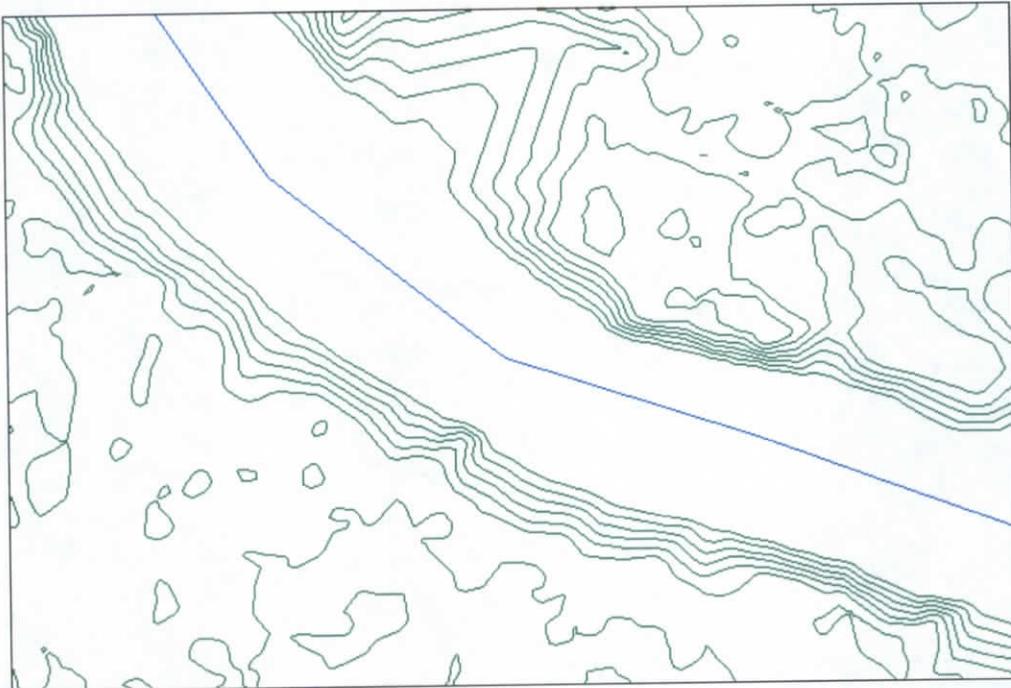


Figura 10.2.1. Curvas de Nivel a partir de LIDAR (no detecta el fondo del cauce de un río) (IINGEN, 2014).

Los modelos digitales de elevación se procesan en software SIG (Sistema de Información Geográfica) donde se obtiene un plano de curvas de nivel.

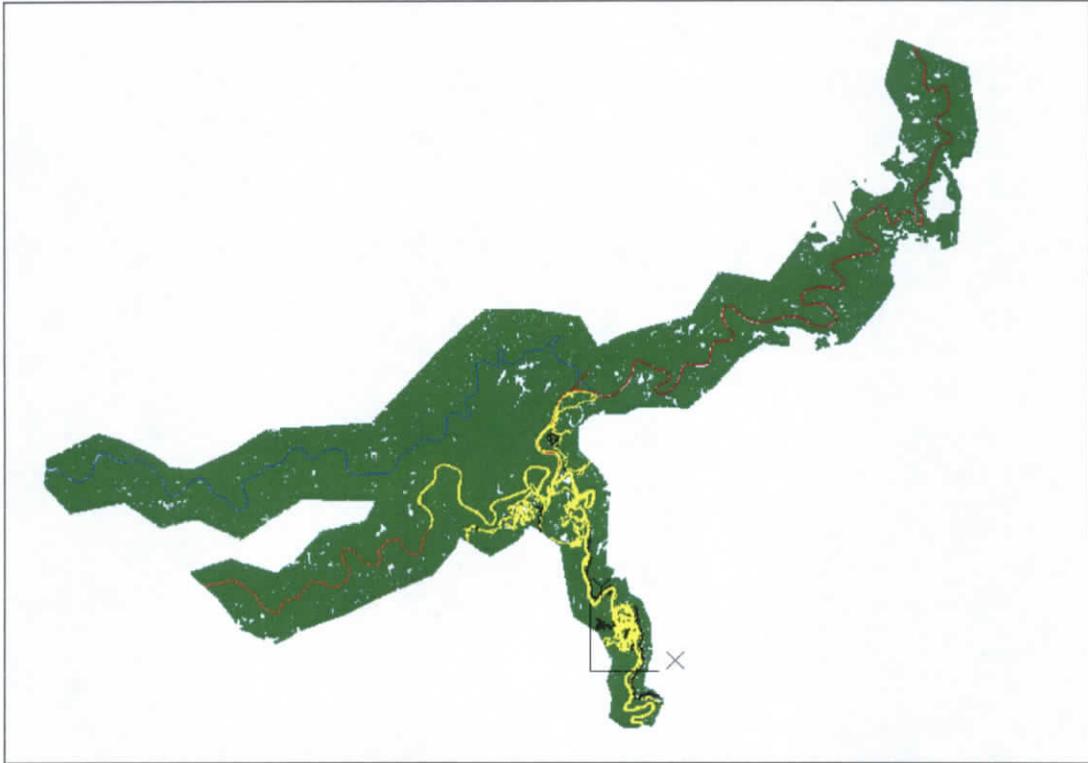


Figura 10.2.2. Ejemplo de curvas de nivel obtenidas a partir del software SIG.

El plano de curvas de nivel se importa a software CAD para añadir las nuevas curvas de nivel. Dadas por las batimetrías, las cuales representan el cauce de los ríos.

Se identifican en el plano las secciones tomadas en la batimetría.

V F

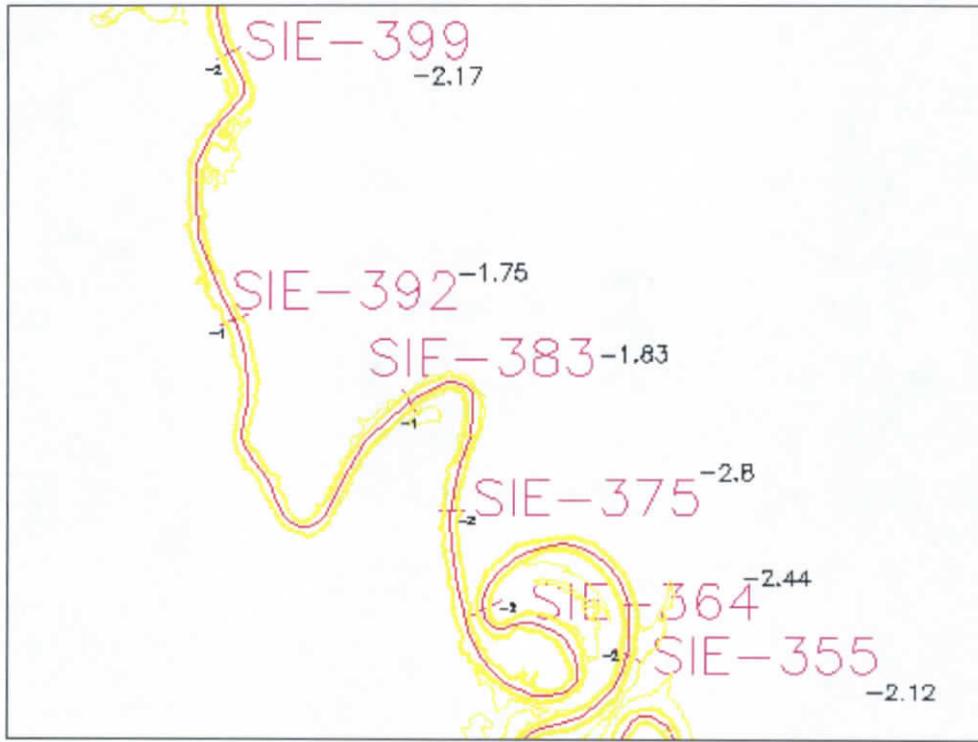


Figura 10.2.3. Identificación de las secciones tomadas en la batimetría para el Río de la Sierra.

A cada metro, en la sección, se colocan puntos donde va a pasar la curva de nivel de acuerdo a la información de la batimetría. Esto se hace en todas las secciones.

Se trazan las curvas de nivel, intentando conservar el paralelismo a la curva de nivel más próxima; uniendo los puntos colocados en el paso anterior. Si de una sección a otra ya no existe un punto de cierto valor, la curva de nivel se cierra antes de llegar a dicha sección. También, si en el recorrido aparece un nuevo punto, la curva de nivel se crea en ese sitio.

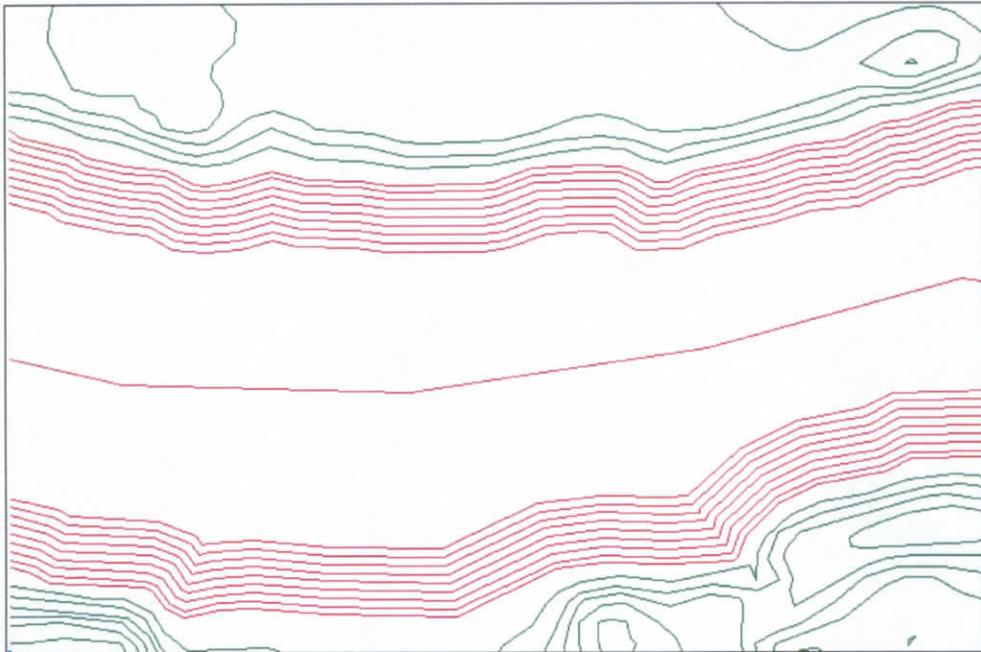


Figura 10.2.4. Debido a la falta de información entre secciones, se supone que son paralelas las nuevas curvas de nivel.

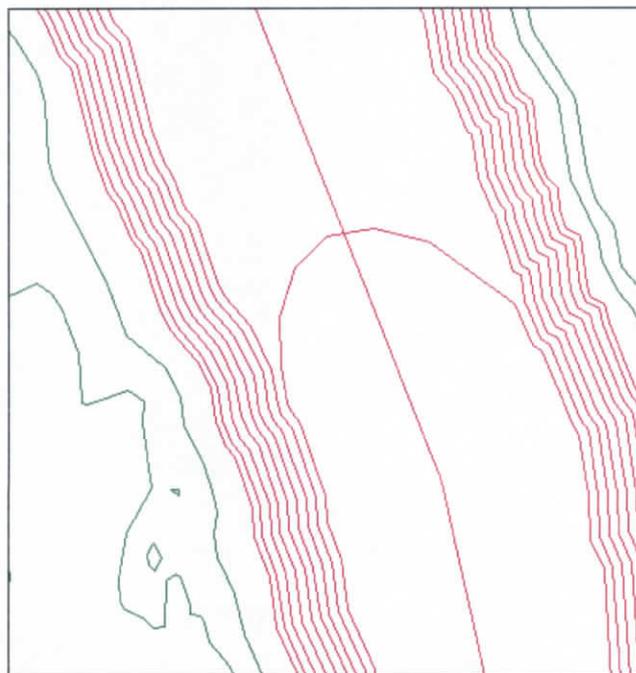


Figura 10.2.5. Ejemplo de cómo termina o comienza una curva de nivel.

VF

Si a lo largo del río, una curva de nivel creada se cruza con una curva de nivel del DEM del mismo valor, la curva creada se corta y se une a la curva del DEM. En la ilustración de abajo, se muestra cómo una curva modificada (creada de acuerdo a la información batimétrica, curvas rojas) se une con una curva real (curva obtenida del DEM, curvas verdes).

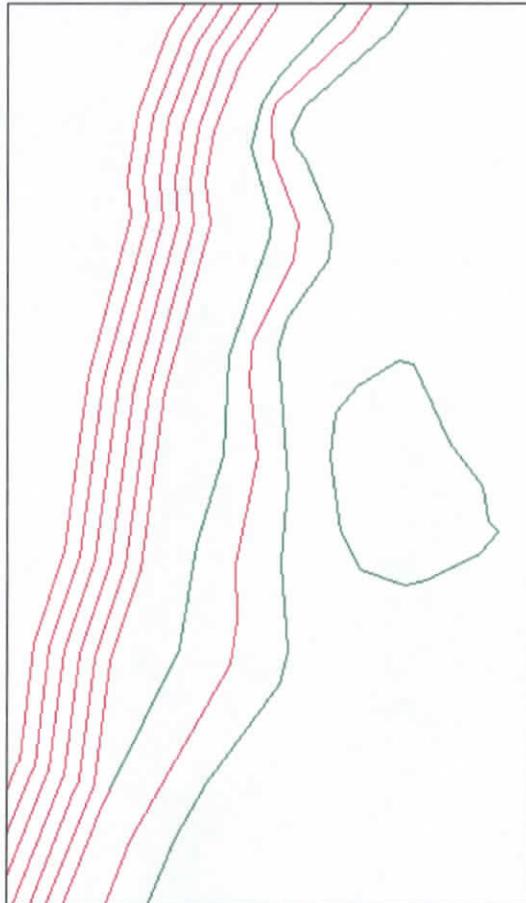


Figura 10.2.6. Ejemplo de curva real y curva modificada

Después de dibujar todas las curvas faltantes, se revisa que no haya inconsistencias en el plano. Posteriormente se regresa esta información al software GIS para que genere el nuevo modelo digital de elevación.

10.3 Elaboración de Mapas de Peligro

10.3.1 Hidrología

En este apartado se presentan de forma agrupada los criterios y resultados del análisis realizado que se introdujeron en los modelos bidimensionales. Se realiza una descripción breve para cada uno de los métodos usados y, finalmente se presentan los hidrogramas usados.

En este estudio se evalúan siete municipios: Tacotalpa, Teapa, Jalapa, Centro, Jalpa de Méndez, Nacajuca y Centla, los cuales contemplan la sierra y parte de la planicie tabasqueña. Básicamente existen 10 ríos que transitan por estos municipios. Los ríos conocidos como ríos de la Sierra son río Pichucalco, río Teapa, río Puyacatengo y río Tapijulapa. En la meseta central se encuentran el río Samaria, río Carrizal, río Viejo Mezcalapa, río Medellín y río Nacajuca. Finalmente, en la desembocadura con el Golfo de México se encuentra el río Grijalva. La Figura 10.3.1 muestra la distribución de los ríos a través de siete municipios.

Algunos de estos ríos desbordan y producen daño a las comunidades que se encuentran a las márgenes de estos. Por lo tanto, en este estudio se elaboran los mapas de peligro de 60 localidades urbanas que se ubican dentro de los municipios descritos anteriormente. Se entiende por localidad urbana aquella localidad que cuenta con más de 2,500 habitantes, según el último censo nacional elaborado por INEGI en 2010.

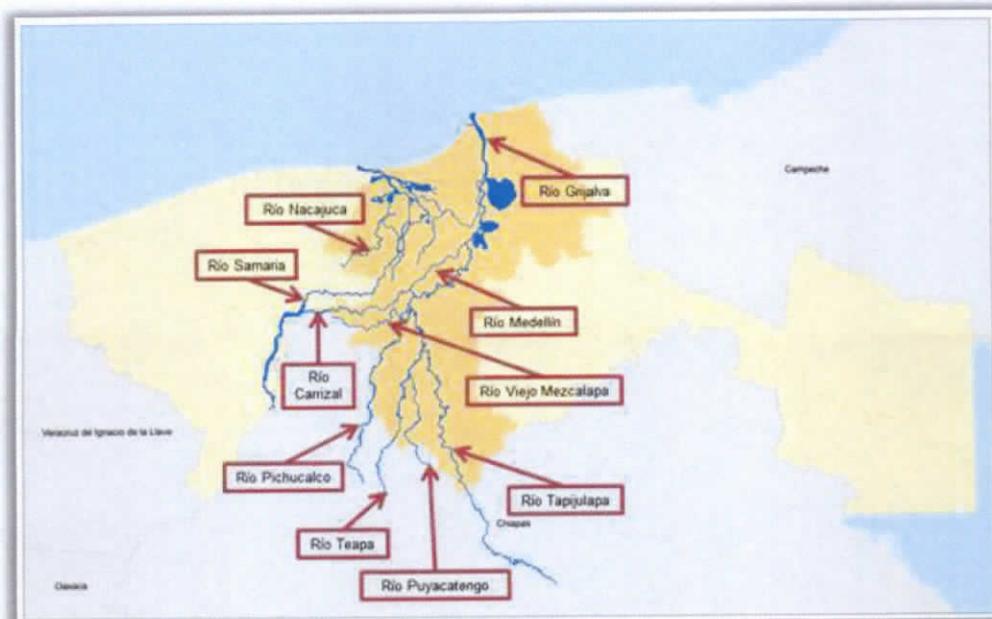


Figura 10.3.1 Ríos que transitan por los siete municipios del estudio

10.3.1.1 Análisis de cada cuenca

Para las avenidas de los ríos de la Sierra se consideraron los gastos medios diarios registrados en las estaciones hidrométricas Pichucalco, Teapa, Puyacatengo y Tapijulapa proporcionados por la CONAGUA.

El análisis del conjunto de los escurrimientos máximos de los ríos de La Sierra permite aprovechar toda la información disponible sin la necesidad de que se haya medido simultáneamente; adicionalmente conduce a resultados más estables y congruentes.

Para cada una de las estaciones hidrométricas se calcularon los gastos promedio máximos anuales, tomando en cuenta que las condiciones críticas se presentan para tormentas que duran varios días e inclusive, para sucesiones de tormentas. A los gastos medios asociados a cada duración se les ajustó una función de distribución de probabilidades, a partir de la cual se estimaron los valores asociados a diferentes periodos de retorno.

Los resultados obtenidos de varios periodos de retorno y duraciones para cada estación hidrométrica se presentan a continuación, mostrando los hidrogramas de diseño para estas estaciones que se encuentran en los ríos de la sierra.

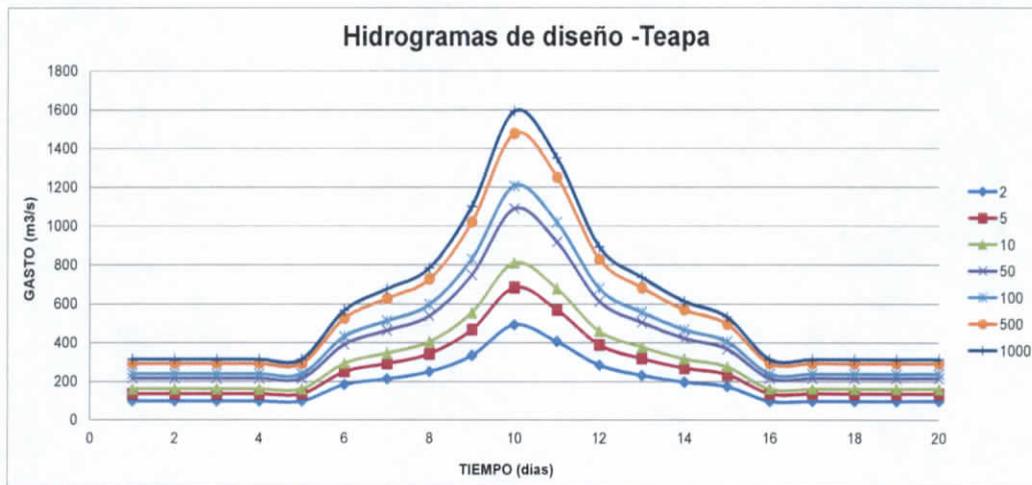
Los hidrogramas de diseño para la estación Teapa se estimaron mediante el ajuste de la función de distribución Gumbel y los resultados para distintos periodos de retorno y duraciones de 20 días se presentan en la Tabla 10.3-1.

Tabla 10.3-1 Hidrogramas de diseño para la estación Teapa

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
1	96	134	159	214	237	290	313
2	96	134	159	214	237	290	313
3	96	134	159	214	237	290	313
4	96	134	159	214	237	290	313
5	96	134	159	214	237	290	313
6	182	249	292	389	430	524	565
7	211	291	344	461	510	625	674
8	249	341	403	537	594	725	782
9	332	465	553	746	828	1017	1098
10	491	682	808	1086	1203	1474	1591
11	403	567	675	914	1015	1248	1348

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
12	282	387	457	610	675	824	889
13	229	317	375	502	555	680	733
14	195	267	315	420	465	567	611
15	172	234	275	366	404	493	531
16	96	134	159	214	237	290	313
17	96	134	159	214	237	290	313
18	96	134	159	214	237	290	313
19	96	134	159	214	237	290	313
20	96	134	159	214	237	290	313



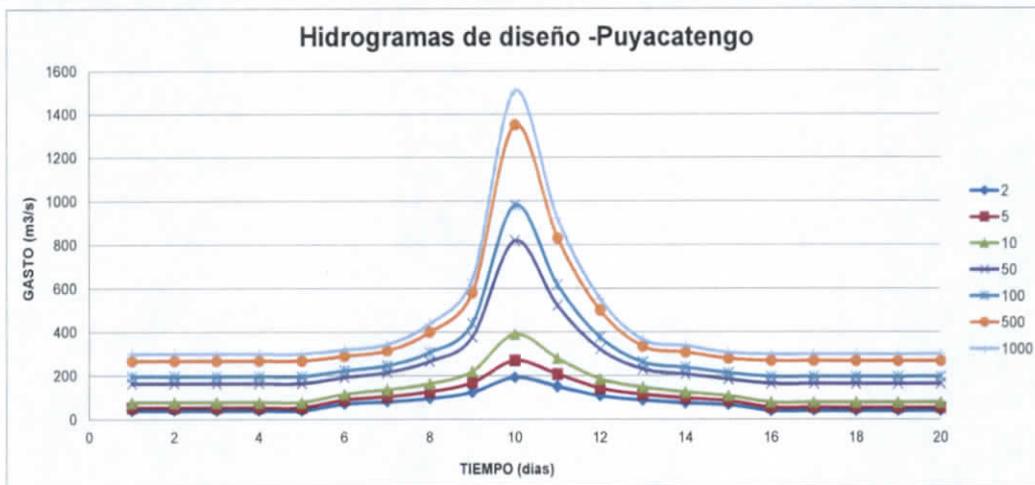
Los hidrogramas de diseño para la estación Puyacatengo se estimaron mediante el ajuste de la función de distribución doble Gumbel y los resultados para distintos periodos de retorno y duraciones de 20 días se presentan en la Tabla 10.3-2.

Tabla 10.3-2 Hidrogramas de diseño para la estación Puyacatengo

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
1	37	52	76	161	193	265	296
2	37	52	76	161	193	265	296
3	37	52	76	161	193	265	296
4	37	52	76	161	193	265	296
5	37	52	76	161	193	265	296
6	68	88	114	190	220	287	316
7	78	103	134	212	243	311	340
8	93	125	160	263	304	396	435
9	122	166	217	374	437	577	637

VF

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
10	190	267	388	817	980	1348	1505
11	148	205	277	518	613	828	918
12	105	141	182	318	373	496	549
13	85	113	145	227	259	331	362
14	72	95	123	204	235	305	335
15	64	83	106	181	210	275	303
16	37	52	76	161	193	265	296
17	37	52	76	161	193	265	296
18	37	52	76	161	193	265	296
19	37	52	76	161	193	265	296
20	37	52	76	161	193	265	296



Los hidrogramas de diseño para la estación Tapijulapa se estimaron mediante el ajuste de la función de distribución doble Gumbel y los resultados para distintos periodos de retorno y duraciones de 20 días se presentan en la Tabla 10.3-3.

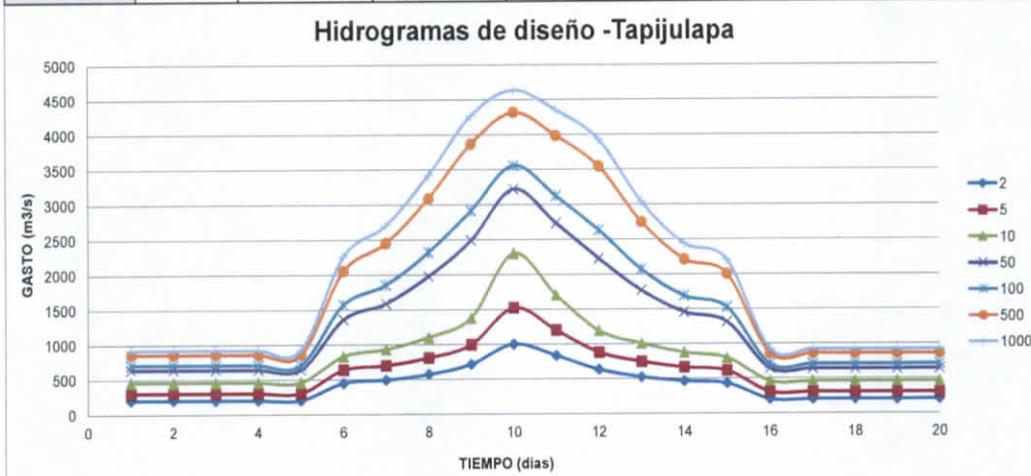
Tabla 10.3-3 Hidrogramas de diseño para la estación Tapijulapa

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
1	196	299	452	633	700	849	913
2	196	299	452	633	700	849	913
3	196	299	452	633	700	849	913
4	196	299	452	633	700	849	913
5	196	299	452	633	700	849	913
6	441	631	827	1353	1565	2046	2251
7	485	691	923	1582	1846	2441	2692
8	563	801	1096	1969	2310	3078	3406

VF

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

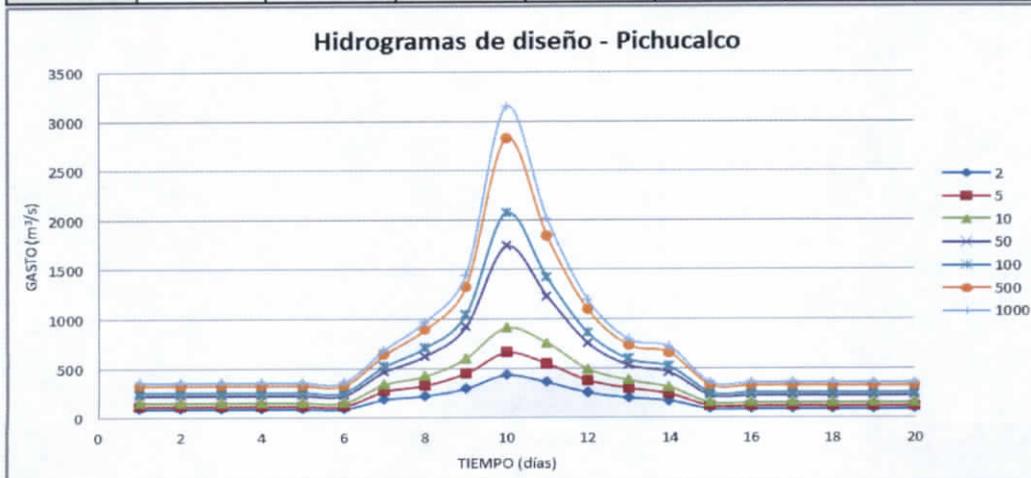
Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
9	708	988	1372	2478	2902	3856	4261
10	996	1517	2295	3211	3548	4307	4629
11	827	1192	1696	2723	3108	3975	4342
12	624	872	1185	2216	2621	3533	3922
13	517	737	999	1760	2060	2737	3026
14	456	654	869	1449	1681	2205	2429
15	424	603	790	1306	1517	1994	2197
16	196	299	452	633	700	849	913
17	196	299	452	633	700	849	913
18	196	299	452	633	700	849	913
19	196	299	452	633	700	849	913
20	196	299	452	633	700	849	913



Los hidrogramas de diseño para la estación Pichualco se estimaron mediante el ajuste de la función de distribución doble Gumbel y los resultados para distintos periodos de retorno y duraciones de 20 días se presentan en la Tabla 10.3-4.

Tabla 10.3-4 Hidrogramas de diseño para la estación Pichucalco

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
1	90	120	155	230	260	330	360
2	90	120	155	230	260	330	360
3	90	120	155	230	260	330	360
4	90	120	155	230	260	330	360
5	90	120	155	230	260	330	360
6	90	120	155	230	260	330	360
7	189	273	340	470	521	638	687
8	225	330	423	625	706	891	970
9	300	454	603	917	1041	1322	1442
10	435	659	911	1736	2071	2827	3149
11	360	551	754	1227	1414	1834	2013
12	256	379	495	754	857	1090	1190
13	205	302	380	534	595	733	793
14	175	246	312	461	521	658	716
15	90	120	155	230	260	330	360
16	90	120	155	230	260	330	360
17	90	120	155	230	260	330	360
18	90	120	155	230	260	330	360
19	90	120	155	230	260	330	360
20	90	120	155	230	260	330	360



10.3.1.2 Modelo lluvia-escurrencimiento

La cuenca funciona como una gran receptora de precipitaciones y las transforma a escurrencimientos, la transferencia se realiza con pérdidas y es una función bastante compleja de numerosos factores climáticos y fisiográficos.

La determinación de los parámetros físicos de una cuenca están gobernados tanto por la cantidad, calidad y factor de escala cartográfica, la relación entre las características físicas de la cuenca que son prácticamente estoicos y sus respuestas hidrológicas que son altamente aleatorias son muy complejas por lo que no se ha logrado desarrollar en modelos lluvia-escurrencimiento "libre de errores".

Los ríos Nacajuca y Viejo Mezcalapa no cuentan con información confiable para estimar un gasto de diseño a través de un ajuste de una función de distribución de probabilidad. Esto es debido a que no existe una estación hidrométrica que afore el río o los datos que arroja la estación no son continuos o suficientes para realizar el análisis. Por lo tanto, los hidrogramas de diseño se estiman mediante la relación lluvia-escurrencimiento.

Una manera de estimar el hidrograma para cierto periodo de retorno es mediante hidrogramas unitarios sintéticos, por ejemplo el hidrograma unitario triangular, desarrollado por Mockus (Aparicio, 2012) que incluye las siguientes ecuaciones:

$$q_p = \frac{0.555 A}{2.67 t_b}$$
$$t_b = 2.67 t_p$$
$$t_p = \sqrt{Tc} + 0.6Tc$$
$$d_e = 2\sqrt{Tc}$$
$$t_r = 0.005 \left[\frac{L}{S} \right]^{0.64}$$

Donde:

q_p es el gasto pico en $m^3/s/mm$

A es el área de la cuenca en km^2

t_b es el tiempo base en h

t_p es el tiempo pico en h

Tc es el tiempo de concentración en h

d_e es la duración en exceso en h

t_r es el tiempo de retraso en h

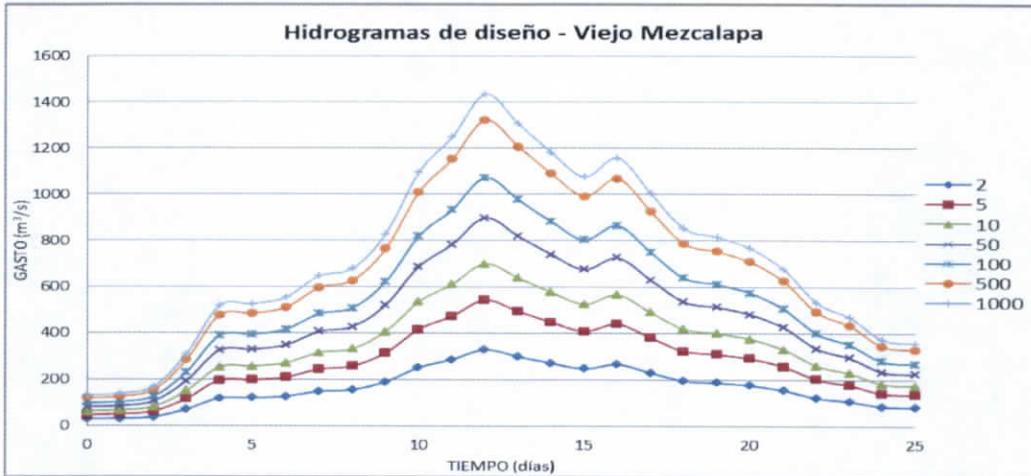
L es longitud del cauce principal en m

S es la pendiente en %

En el río Viejo Mezcalapa existe una estación hidrométrica con un año de registro continuo, por lo que se realizó una mayoración de las avenidas, es decir, se obtuvo la avenida más desfavorable, no sólo en pico, sino en volumen y se encontró una forma de un hidrograma. Después, con las ecuaciones descritas anteriormente se encontró un hidrograma unitario que, posteriormente, se adecuó a la forma del hidrograma encontrado con la mayoración.

Tabla 10.3-5 Hidrogramas de diseño para el río Viejo Mezcalapa

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
0	30	50	64	82	98	121	131
1	31	52	67	86	103	127	138
2	38	64	82	105	126	155	168
3	70	116	150	193	230	284	307
4	118	196	252	324	386	477	517
5	120	199	257	330	393	485	525
6	127	210	270	347	414	511	553
7	148	244	315	405	483	595	645
8	155	257	331	426	507	626	679
9	189	314	404	520	619	764	828
10	251	415	535	687	819	1010	1095
11	286	473	609	783	933	1151	1248
12	328	543	700	900	1072	1323	1434
13	299	495	638	820	978	1206	1307
14	270	447	576	740	883	1089	1180
15	246	407	525	675	804	992	1075
16	265	438	565	726	865	1068	1157
17	230	380	490	630	751	926	1004
18	195	323	417	535	638	787	853
19	187	309	399	512	610	753	816
20	176	291	375	481	574	708	767
21	155	256	330	424	506	624	676
22	122	201	260	334	398	491	532
23	107	178	229	294	351	433	469
24	86	142	182	235	280	345	374
25	82	135	174	224	267	329	356



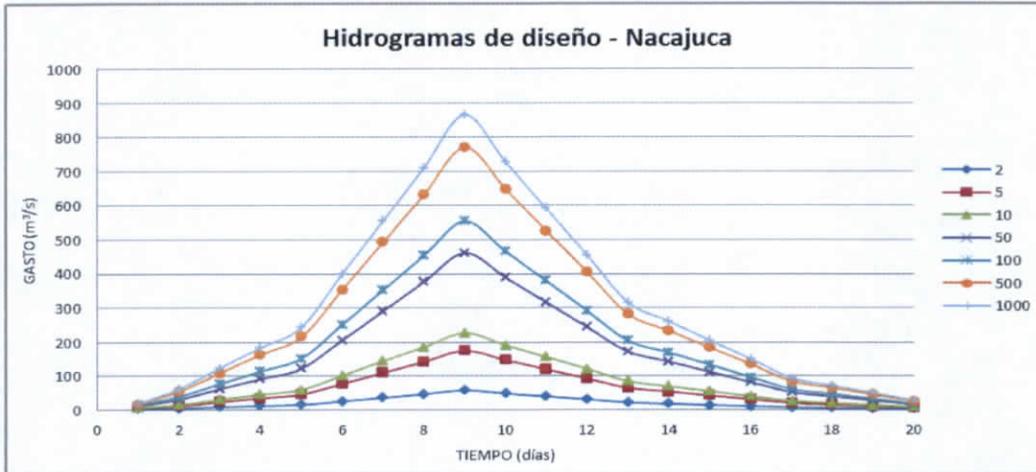
Los hidrogramas de diseño para el río Viejo Mezcalapa que se estimaron para distintos periodos de retorno y duraciones de 25 días se presentan a continuación en la Tabla 10.3.5.

En el río Nacajuca no existe una estación hidrométrica; por lo que se estimó un hidrograma sintético para diferentes periodos de retorno y duraciones de 20 días, mediante la metodología del hidrograma unitario triangular a partir de las ecuaciones mencionadas anteriormente y los resultados se muestran en la Tabla 10.3.6.

Tabla 10.3-6 Hidrogramas de diseño para el río Nacajuca

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
1	1	4	5	11	13	15	18
2	3	11	14	30	38	54	61
3	7	23	30	61	76	108	122
4	11	34	44	91	113	162	183
5	14	45	59	121	151	216	244
6	25	77	101	206	252	354	400
7	35	109	143	291	352	493	555
8	46	141	185	376	453	632	710
9	57	174	227	461	554	770	865
10	48	146	191	389	466	648	728
11	39	119	155	316	379	526	591
12	30	92	120	244	291	404	454
13	21	64	84	171	204	282	316
14	17	53	69	141	168	233	261
15	13	41	54	111	132	183	205
16	10	30	39	81	96	133	149
17	6	19	25	51	60	83	93

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
18	4	14	19	39	46	64	71
19	3	10	13	27	32	44	49
20	1	5	7	15	17	24	27
21	1	4	5	11	13	15	18
22	1	4	5	11	13	15	18



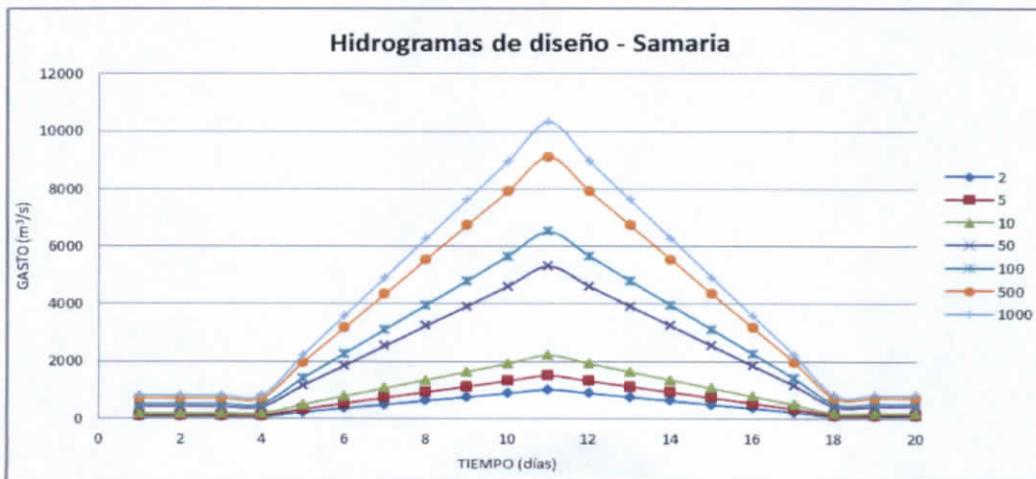
Debido a que el río Samaria se encuentra controlado, según la política de operación de la presa Peñitas, los hidrogramas de diseño que se utilizaron para las modelaciones son resultados de los gastos picos estimados en el Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT). Se conservaron los gastos picos, el tiempo base y el volumen de cada hidrogramas de diseño para los diferentes periodos de retorno y con duraciones de 20 días. Los resultados se presentan en la **Tabla 10.3-7**.

Actualmente el río Carrizal se encuentra controlado bajo la operación de la estructura El Macayo, el cual está diseñado para descargar 850 m³/s, en su condición máxima, que corresponde a la capacidad hidráulica del mismo río. En las simulaciones se modeló un tránsito por el río Carrizal de 850 m³/s como condición máxima, y 300 m³/s, como condición mínima.

Tabla 10.3-7 Hidrogramas de diseño para el río Samaria

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
1	77	115	169	408	500	700	792
2	77	115	169	408	500	700	792
3	77	115	169	408	500	700	792
4	77	115	169	408	500	700	792
5	215	323	474	1142	1400	1960	2218
6	346	519	762	1835	2250	3150	3565
7	477	715	1049	2528	3100	4340	4912
8	608	912	1337	3221	3950	5530	6259
9	738	1108	1625	3914	4800	6720	7606
10	869	1304	1912	4607	5650	7910	8953
11	1000	1500	2200	5300	6500	9100	10300
12	869	1304	1912	4607	5650	7910	8953
13	738	1108	1625	3914	4800	6720	7606
14	608	912	1337	3221	3950	5530	6259
15	477	715	1049	2528	3100	4340	4912
16	346	519	762	1835	2250	3150	3565
17	215	323	474	1142	1400	1960	2218
18	77	115	169	408	500	700	792
19	77	115	169	408	500	700	792
20	77	115	169	408	500	700	792



10.3.1.3 Análisis de confluencia de ríos

Frecuentemente, en hidrología de superficie, la región dentro de la cual se construirán obras de control de avenidas se ubica en una red de ríos. Tal es el caso de las obras situadas en llanuras de inundación de ríos importantes en las que comúnmente se llevan a cabo diversas acciones estructurales para el control de las crecientes. En México, esta

situación se encuentra en forma clara en las cuencas bajas de los ríos Papaloapan, Grijalva y Pánuco y, en menor grado, en el río Balsas.

Para la estimación de los gastos en las confluencias de ríos que se presentan en la zona de estudio (Bajo Grijalva) se aplicó el análisis de frecuencia conjunto. Se tienen dos confluencias en el cual se conocen las funciones de distribución acumuladas, en cada una de las corrientes aguas arriba de la confluencia. Para los dos casos presentados se consideró total independencia de los eventos en las corrientes y se realizó un proceso de optimización de la solución, maximizando la combinación que proporcionara el mayor gasto.

Entre las funciones de distribución de valores extremos se ha establecido que el modelo logístico propuesto por Gumbel describe con buena aproximación este fenómeno.

El modelo está dado por la siguiente expresión (Ramírez, 1995):

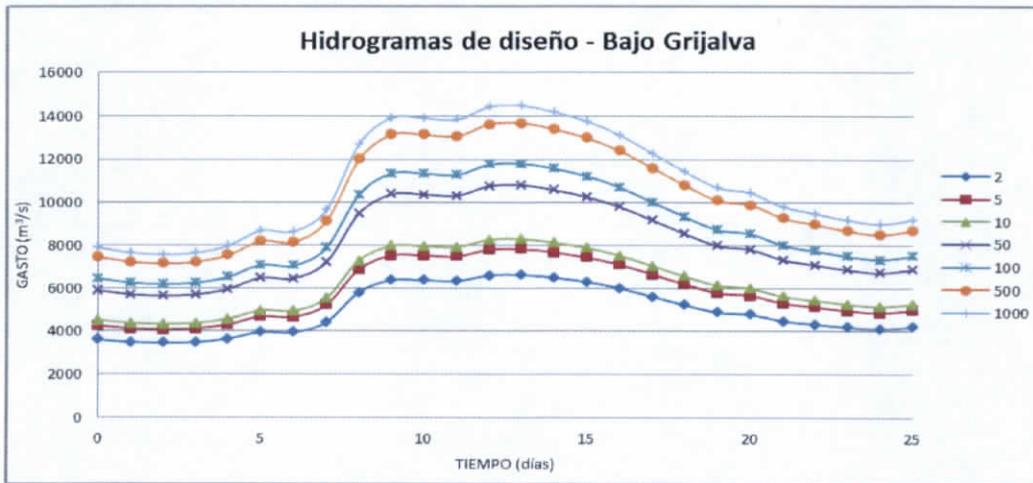
$$F(x_1, x_2, \dots, x_k; m) = \exp\left(-\left\{[-LnF_1(x_1)]^m + [-LnF_2(x_2)]^m + \dots + [-LnF_k(x_k)]^m\right\}^{1/m}\right)$$

Esta función fue maximizada en software especializado y los resultados se presentan en la **Tabla 10.3-8**, que incluye el hidrograma de diseño para el río Bajo Grijalva en su confluencia con el río Usumacinta para distintos periodos de retorno y duraciones de 25 días.

Tabla 10.3-8 Hidrogramas de diseño para el río Bajo Grijalva

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
0	3604	4267	4518	5886	6432	7448	7885
1	3492	4134	4378	5703	6232	7217	7641
2	3457	4092	4333	5645	6169	7143	7562
3	3491	4133	4377	5701	6231	7215	7639
4	3646	4317	4571	5955	6507	7536	7978
5	3964	4693	4969	6473	7074	8192	8672
6	3947	4673	4948	6446	7044	8157	8635
7	4415	5226	5535	7209	7879	9124	9659
8	5810	6878	7284	9488	10369	12007	12712
9	6363	7532	7977	10391	11355	13149	13921
10	6358	7527	7971	10383	11347	13139	13910
11	6323	7486	7927	10326	11285	13068	13834
12	6594	7806	8267	10768	11768	13627	14427
13	6616	7833	8294	10805	11808	13673	14476
14	6481	7672	8125	10584	11566	13394	14180
15	6286	7441	7880	10265	11218	12991	13753

Días	Tr						
	2	5	10	50	100	500	1000
16	6001	7104	7523	9799	10709	12401	13129
17	5617	6649	7041	9172	10023	11607	12288
18	5227	6187	6552	8535	9327	10801	11435
19	4885	5783	6124	7978	8718	10096	10688
20	4784	5663	5997	7812	8537	9886	10466
21	4484	5308	5621	7322	8002	9266	9810
22	4337	5134	5437	7082	7740	8963	9489
23	4197	4968	5261	6853	7489	8673	9182
24	4111	4866	5153	6713	7336	8495	8994
25	4205	4978	5272	6867	7505	8691	9201



10.3.2 Obtención de mapas de peligro

Los mapas de peligro se conocen también como mapas de áreas inundables porque definen el área potencialmente afectada por las inundaciones mediante una modelación matemática y determinan si un punto de la cuenca se afectará o no.

El peligro es la probabilidad de que uno de los efectos de la amenaza (fenómeno natural o antropogénico) sea de cierta magnitud en un sitio específico, es decir, se plantea en términos de la probabilidad de que ocurra una inundación de cierta magnitud. Para el caso de las inundaciones se puede medir asociando el periodo de retorno del fenómeno climatológico que las origina; por ejemplo, la lluvia.

Por lo tanto, para obtener los mapas de peligro se requieren las profundidades de inundación asociadas a cada periodo de retorno analizado y para esto se requiere una modelación matemática tipo bidimensional.

En este caso, el software empleado para ejecutar las simulaciones matemáticas es Iber, que es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento a superficie libre en régimen no permanente y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial.

El rango de aplicación de Iber abarca:

- la hidrodinámica fluvial
- la simulación de rotura de presas
- la evaluación de zonas inundables
- el cálculo de transporte de sedimentos
- el flujo de mareas en estuarios

El modelo Iber consta actualmente de tres módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

El módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, que asumen una distribución de presión hidrostática y una distribución relativamente uniforme de la velocidad en profundidad.

La metodología empleada para la elaboración de los mapas de peligro para diferentes periodos de retorno se resume en la siguiente Figura 10.3.2.



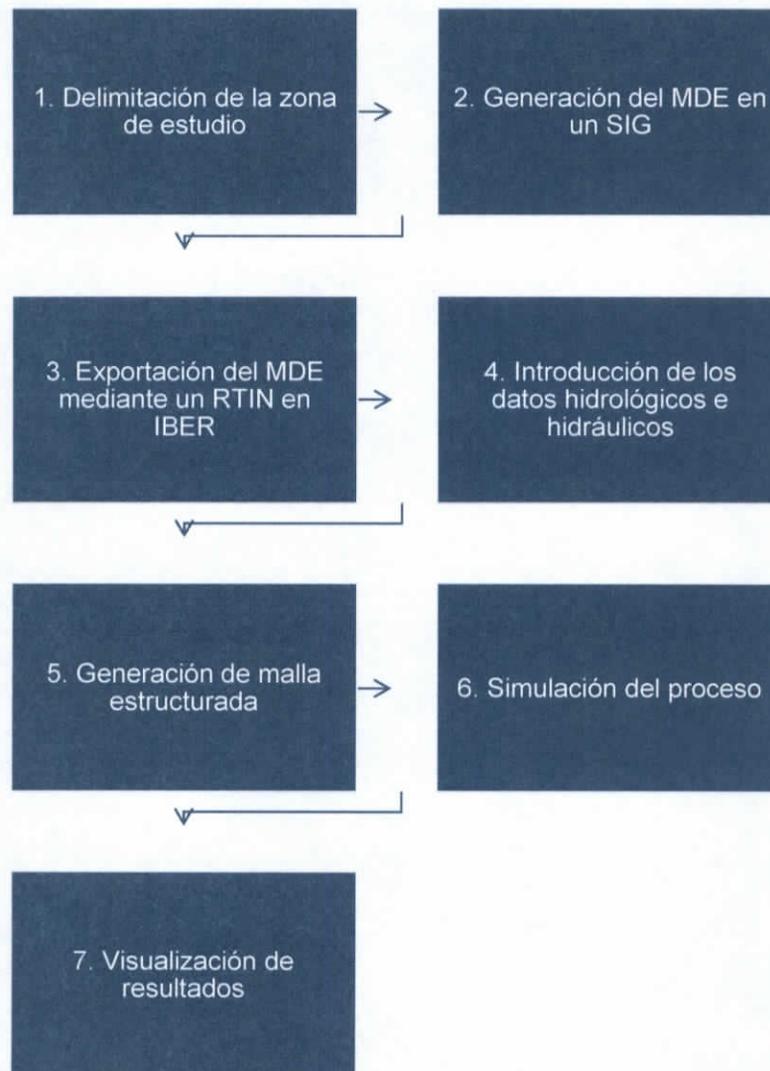


Figura 10.3.2 Siete pasos de la metodología aplicada

La información topográfica utilizada fue LiDAR, *Light Detection and Ranging* por sus siglas en inglés, obtenida por el INEGI para generar el MDE (modelo digital de elevaciones), logrando una resolución de 5 metros. El MDE se recortó según las dimensiones de la zona de estudio mediante un Sistema de Información Geográfica.

El modelo digital de elevación fue procesado en Iber, mediante un RTIN (*Triangulated Irregular Network*, por sus siglas en inglés). En Iber se consideró la hidrodinámica del cauce mediante las condiciones de contorno y condiciones iniciales, así como también la rugosidad.

Para las condiciones de contorno o condiciones de frontera, se requirió un hidrograma para la o las entradas del modelo, según el área de estudio. Para la condición de salida se señalaron las paredes aguas abajo de la zona de estudio, cubriendo así el desbordamiento del cauce o lagunas aledañas. La condición inicial se refiere al tirante inicial del cauce referido en metros sobre el nivel del mar; mientras que para la rugosidad se emplearon coeficiente de Manning en toda la zona de estudio.

Posterior a esto, se procedió a calcular una malla estructurada de superficie. El último proceso antes de iniciar la simulación es la introducción de datos del problema, es decir, el tiempo máximo de simulación y el intervalo de resultados. Finalmente se procedió a ejecutar la simulación y visualizar los resultados.

La revisión hidráulica mediante modelos de simulación numérica del flujo se realizó para localidades mayores a 2,500 habitantes de los municipios de Tacotalpa, Teapa, Jalapa, Centro, Nacajuca, Jalpa de Méndez y Centla Ver Figura 10.3.3. Se elaboraron 140 mapas de Peligro para los siguientes periodos de retorno (Tr 2, Tr 5, Tr 50, Tr 100, Tr 500 y Tr 1000).

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

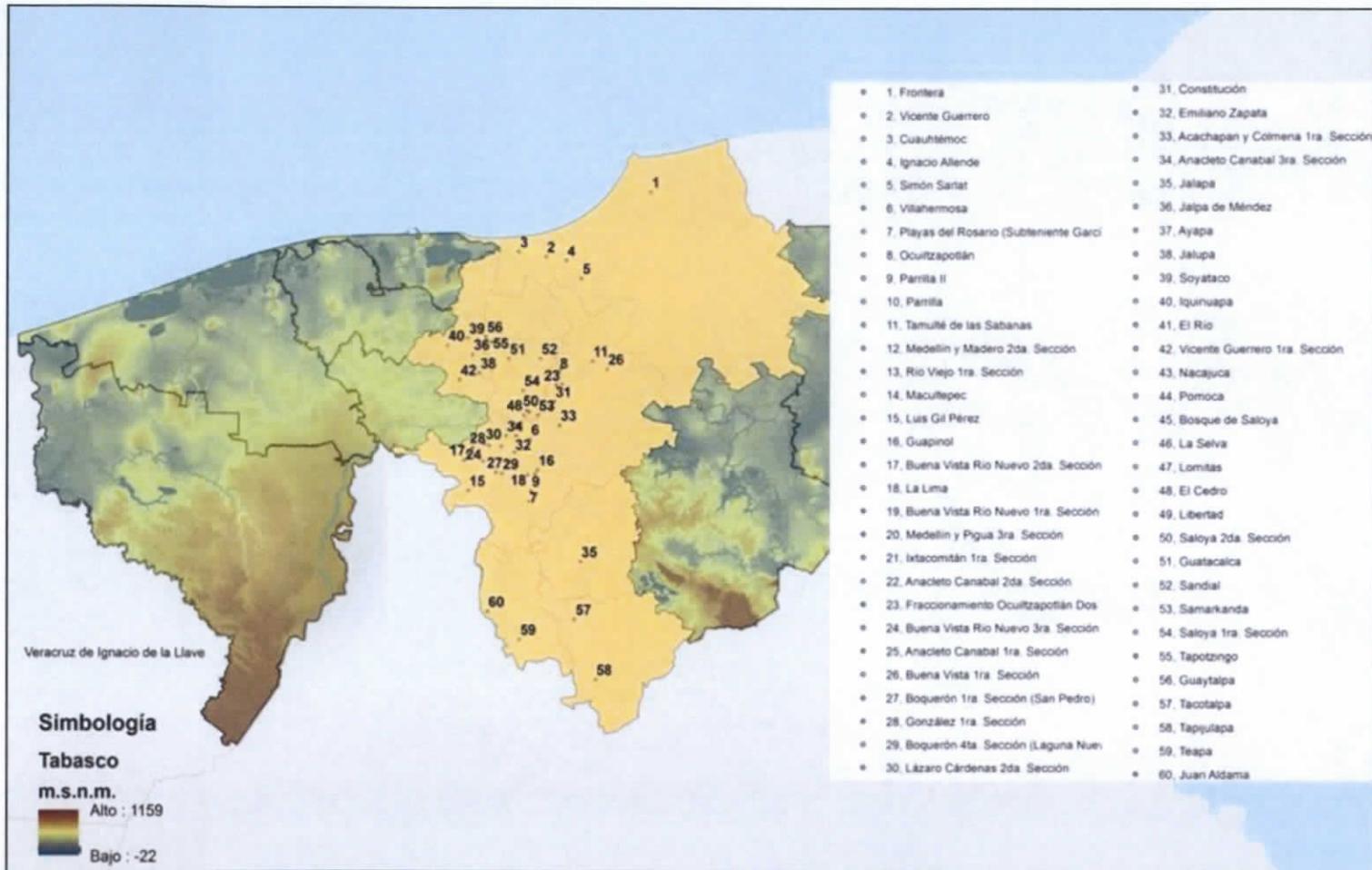


Figura 10.3.3.- Localidades urbanas dentro de siete municipios en estudio

Los mapas de Peligro en formato electrónico se presentan en el anexo **A. 10.1 Mapas de Peligro.**

A continuación en la Tabla 10.3.9 se muestra el orden de la numeración de los mapas de Peligro, correspondientes a las localidades urbanas (mayores a 2500 habitantes) para distintos periodos de retorno.

Tabla 10.3-9 Numeración Planos de Peligro

No. DE PLANO	Localidades	Tr
10-1		Tr 2
10-2		Tr 5
10-3		Tr 10
10-4	Carrizal	Tr 50
10-5		Tr 100
10-6		Tr 500
10-7		Tr 1000
10-8-A-B		Tr 2
10-9-A-B		Tr 5
10-10-A-B		Tr 10
1011-A-B	Centla	Tr 50
10-12-A-B		Tr 100
10-13-A-B		Tr 500
10-14-A-B		Tr 1000
10-15		Tr 2
10-16		Tr 5
10-17		Tr 10
10-18	Frontera	Tr 50
10-19		Tr 100
10-20		Tr 500
10-21		Tr 1000
10-22	Jalapa	Tr 2
10-23		Tr 5

ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE UN PLAN DE OBRAS PARA PROPORCIONAR A LA
 PUEBLA DE INDIANOS Y APROVECHAR DEL AGUA
 (CONTINUA)

No. DE PLANO	Localidades	Tr
10-24		Tr 10
10-25		Tr 50
10-26		Tr 100
10-27		Tr 500
10-28		Tr 1000
10-29-A-B-C	13.- Ayapa	Tr 2
10-30-A-B-C	14.- Iquinuapa	Tr 5
10-31-A-B-C	15.- Soyataco	Tr 10
10-32-A-B-C	16.- Vicente Guerreo 1ra. Sección	Tr 50
10-33-A-B-C	17.- Jalpa de Méndez	Tr 100
10-34-A-B-C	Jalpa-Nacajuca 18.- El Río (Santa Ana)	Tr 500
10-35-A-B-C	19.- Jalupa	Tr 1000
	20.- Nacajuca	
	21.- Guatacalca	
	22.- Guaytalpa	
	23.- Tapotzingo	
10-36		Tr 2
10-37		Tr 5
10-38		Tr 10
10-39	Juan Aldama 24.- Juan Aldama	Tr 50
10-40		Tr 100
10-41		Tr 500
10-42		Tr 1000
10-43-A-B-C	25.- Saloya 1ra. Sección	Tr 2
10-44-A-B-C	26.- Saloya 2da. Sección	Tr 5
10-45-A-B-C	27.- Pomoca	Tr 10
10-46-A-B-C	28.- Medellín y Pigüa 3ra. Sección	Tr 50
10-47-A-B-C	Medellín 29.- Constitución	Tr 100
10-48-A-B-C	30.- Macultepec	Tr 500
10-49-A-B-C	31.- Ocuilzapotlán	Tr 1000
	32.- Fracc. Ocuilzapotlán Dos	

VF Septiembre 1954

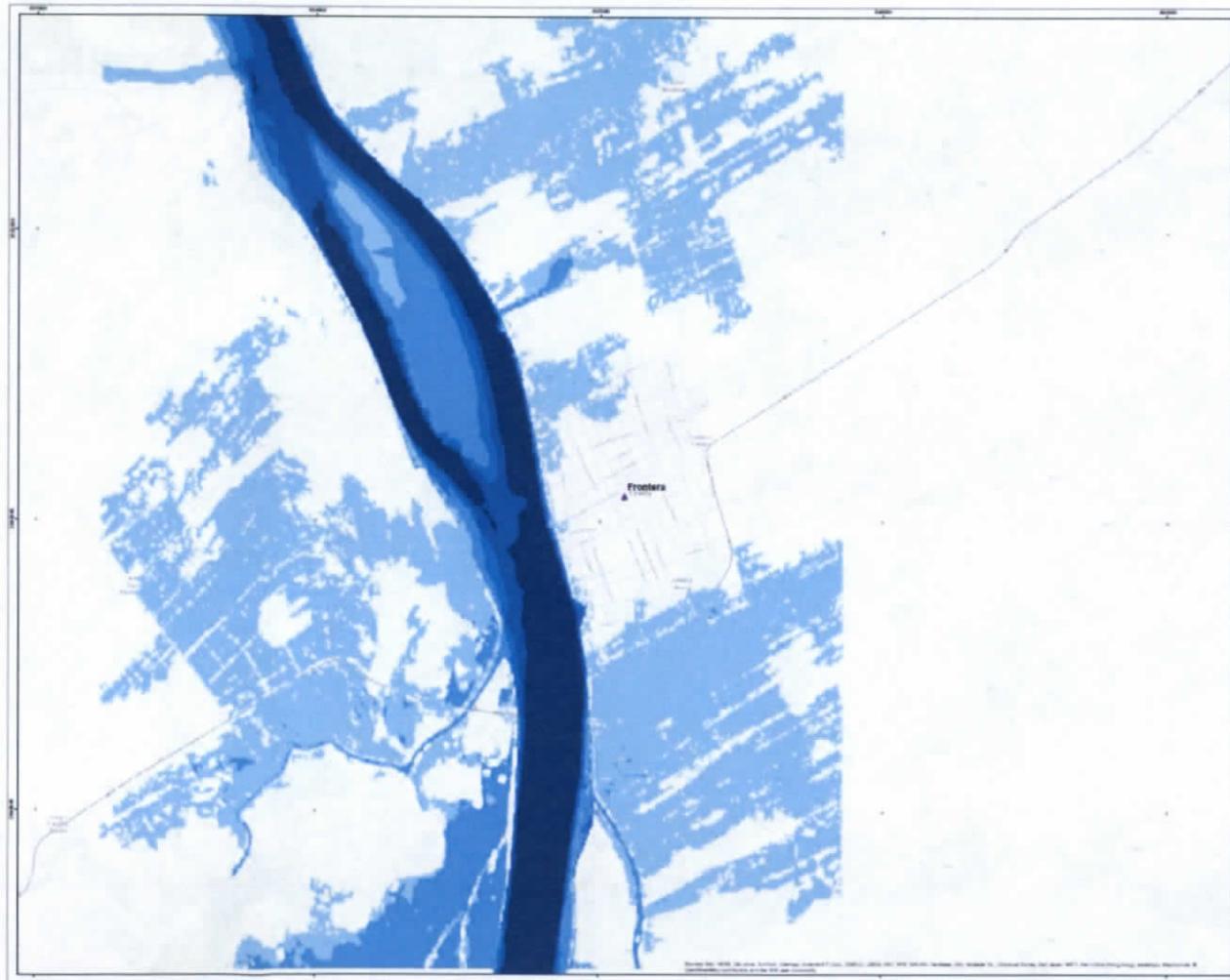
No. DE PLANO	Localidades	Tr
	33.- Medellín y Madero 2da. Sección	
	34.- Tamulté de las Sabanas	
	35.- Buena Vista 1ra. Sección	
	36.- Sandial	
10-50		Tr 2
10-51	37.- Parrilla II	Tr 5
10-52	38.- Playas del Rosario	Tr 10
10-53	Parrillas 39.- Parrilla	Tr 50
10-54	40.- La Lima	Tr 100
10-55	41.- Guapinol	Tr 500
10-56		Tr 1000
10-57		Tr 2
10-58		Tr 5
10-59		Tr 10
10-60	Tacotalpa 42.- Tacotalpa	Tr 50
10-61		Tr 100
10-62		Tr 500
10-63		Tr 1000
10-64		Tr 2
10-65		Tr 5
10-66		Tr 10
10-67	Tapijulapa 43.- Tapijulapa	Tr 50
10-68		Tr 100
10-69		Tr 500
10-70		Tr 1000
10-71		Tr 2
10-72		Tr 5
10-73	Teapa 44.- Teapa	Tr 10
10-74		Tr 50
10-75		Tr 100



No. DE PLANO	Localidades	Tr
10-76		Tr 500
10-77		Tr 1000
10-78		Tr 2
10-79		Tr 5
10-80		Tr 10
10-81	Viejo Mezcalapa	45.- Luis Gil Pérez Tr 50
10-82		46.- Boquerón 1ra. Sección (San Pedro) Tr 100
10-83		Tr 500
10-84		Tr 1000
10-85-A-B-C		47.- Villahermosa Tr 2
10-86-A-B-C		48.- Anacleto Canabal 3ra. Sección Tr 5
10-87-A-B		49.- Emiliano Zapata Tr 10
10-88-B-C		50.- Bosque de Saloya Tr 50
10-89-A-B-C		51.- La Selva Tr 100
10-90-A-B-C		52.- La Libertad Tr 500
10-91-A-B-C		53.- El Cedro Tr 1000
	Villahermosa	54.- Samarkanda
		55.- Acachapan y Colmena 1ra Sección
		56.- Anacleto Canabal 1ra. Sección
		57.- Ixtacomitán 1ra. Sección
		58.- Río Viejo 1ra. Sección
		59.- Lomitas
		60.-Boquerón 4ta. Sección (Laguna Nueva)

Enseguida se muestra un ejemplo de mapa de Peligro para la localidad Frontera, municipio Centla, para un Tr=100 años. Los demás mapas de peligro correspondientes a otras localidades y otros periodos de retorno, podrán ser consultados electrónicamente en el anexo correspondiente con la numeración de la Tabla 10.3.9, presentada anteriormente.

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)



Escala gráfica
0 10 20 30 40 50



SIMBOLOGÍA

Tramo	
[Light Blue Box]	0 - 1 m
[Medium-Light Blue Box]	1 - 1.5 m
[Medium Blue Box]	1.5 - 2 m
[Dark Blue Box]	2 - 3 m
[Darkest Blue Box]	3 - 4 m
[Black Box]	4 - 5 m

[Red Triangle]	Localidad Mayor a 2,000 hab.
[Black Line]	Carreteras

NOTAS

Parámetros cartográficos de la hoja de base		Parámetros cartográficos de la hoja de trabajo (reducción)	
Proyección	Universal Transversa de Mercator	Proyección	Universal Transversa de Mercator
Escala	1:50,000	Escala	1:20,000
Formato	A4	Formato	A4
Fecha de edición	2008	Fecha de edición	2008
Elaborador	UNAM	Elaborador	UNAM

Como parte del proceso de planeación técnica regional se presentará el Mapa de Peligro por Inundación de acuerdo con el INEGI, para que, considerando información de confiabilidad y actualización entre la cartografía para la gestión regional de riesgos.

Los datos que se presenten corresponden a una fundación de tipo Suroeste.

El peligro se le considera la posibilidad de que uno de los efectos de la actividad tectónica sea o bien un terremoto o bien un tsunami que cause un nivel de agua que exceda el nivel de agua normal, o bien un tsunami que cause un nivel de agua que exceda el nivel de agua normal, o bien un tsunami que cause un nivel de agua que exceda el nivel de agua normal.

La precisión de los datos está determinada por los métodos, técnicas de adquisición cartográfica, por el INEGI y el INEGI, por lo que se recomienda tener presente que los datos cartográficos de base de datos.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SECRETARÍA DE ECONOMÍA

Mapa de Peligro

Parámetro de riesgo de 1000 años

Fecha: 2008

Elaborador: UNAM

Municipio: Frontera

Escala: 1:20,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HIDROLÓGICAS
ÁREA DE HIDRÁULICA

SECRETARÍA DE ECONOMÍA
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Handwritten signature or initials.

10.4 Elaboración de Mapas de Severidad

Una vez obtenidos los mapas de peligro para las distintas localidades y para distintos periodos de retorno, con los resultados de éstos se realizan los mapas de severidad, para los cuales se requieren los tirantes máximos de inundación y las velocidades máximas del flujo. De los cuales se elaboraron 140 mapas de Severidad para los siguientes periodos de retorno (Tr 2, Tr 5, Tr 50, Tr 100, Tr 500 y Tr 1000).

El fundamento del análisis de la severidad radica en el nomograma de la Figura 10.4.1, el cual se realizó para definir los niveles y las velocidades de inundación de un estudio elaborado en enero de 2006 en el río Bielsdown que atraviesa una localidad llamada Dorrigo, en Nueva Gales del Sur, Australia.

En la figura se muestra una relación entre la velocidad del flujo y la profundidad de inundación, lo que se traduce como una resistencia al vuelco de las paredes de las viviendas.

El resultado de este análisis es un mapa de severidad con los valores máximos (envolventes) del producto de la profundidad de inundación con la velocidad del flujo en cada celda y para cada periodo de retorno. Para lograr esto se realizó en un SIG una metodología conocida como "álgebra de mapas", la cual involucra los resultados de los mapas de peligro (tirantes y velocidades máximas) y los condicionales del nomograma de la Figura 10.4.1.

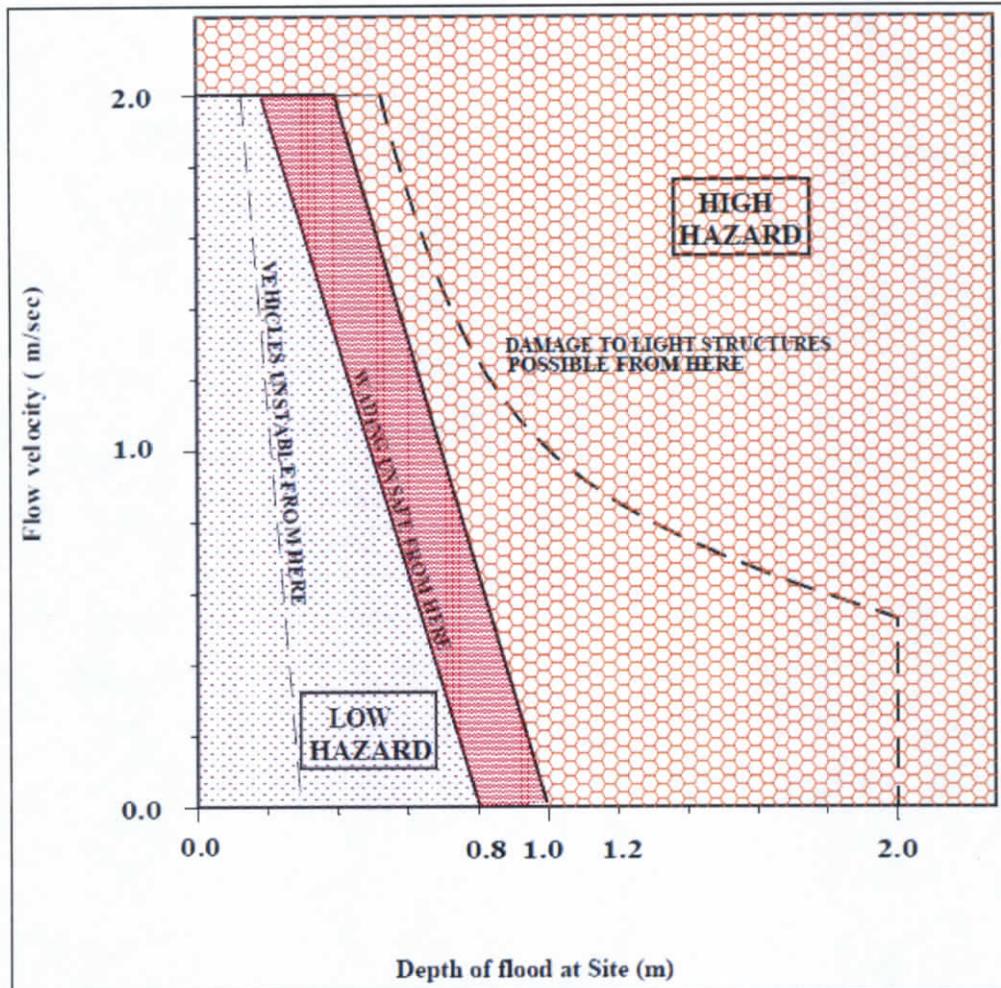


Figura 10.4.1.- Nomograma de profundidad y velocidad de inundación

Para asegurar una mejor interpretación, se dividió dicho nomograma en 5 regiones, las cuales se presentan en diferentes colores en la Figura 10.4.2 los cuales se describen a continuación, tomando como base el tirante en el sitio y la velocidad del flujo en un punto analizado:

- 1 = Peligro bajo**
- 2 = Peligro bajo con inestabilidad de vehículos**
- 3 = Encharcamientos inseguros**
- 4 = Peligro alto**
- 5 = Peligro alto con daño a estructuras ligeras**

V F

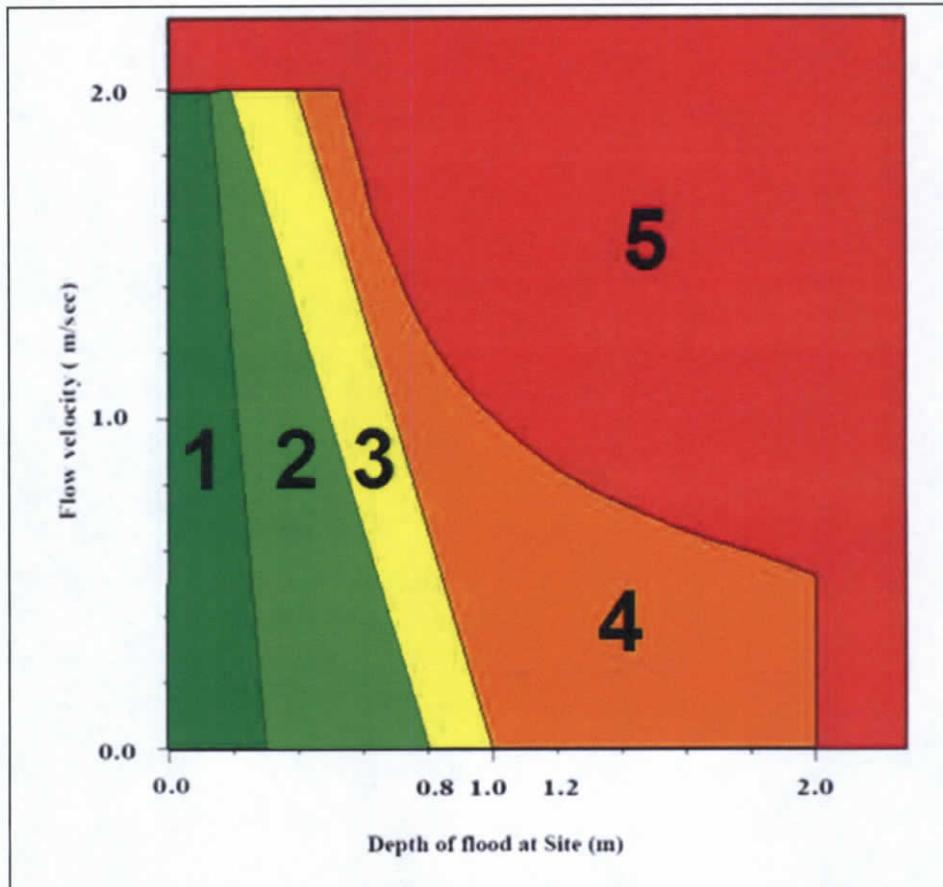


Figura 10.4.2.- Nomograma adecuado de profundidad y velocidad de inundación

Dado que en estudios de riesgo contra inundaciones, la severidad es la resistencia de las paredes al vuelco de las viviendas; en este caso, el mapa de severidad permite programar las medidas de protección, las áreas que no deben utilizarse y reglamentar aquellos usos que presentan menos riesgo.

El álgebra de mapas es un conjunto de herramientas de cálculo con matrices de datos diseñado específicamente para sistemas de información geográfica basados en celdas. El álgebra de mapas incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida. Por operador se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdas de una capa raster; estos operadores se definen mediante ecuaciones. Cada capa raster es

una matriz de números y la operación se realiza para todos los números de la matriz; por lo tanto, para todas las celdas de la capa raster.

Por lo anterior, la metodología que se siguió para la elaboración de mapas de severidad es la siguiente:

1. Resultados de tirantes máximos de inundación en formato raster.
2. Resultados de velocidad de flujo de inundación en formato raster.
3. Programar en Python para ArcMap® los condicionales del nomograma de la figura 10.4.1. El código empleado es el siguiente:

```
Con(("ProfTR.asc" > 2) | ("VelTR.tif" > 2) | (("ProfTR.asc" * "VelTR.tif") > 1),5,  
Con((3 * "VelTR.tif" + 10 * "ProfTR.asc") > 10,4,Con((3 * "VelTR.tif" + 10 * "  
ProfTR.asc") > 8,3,Con("ProfTR.asc" > 0.2,2,1))))
```

Donde:

- "ProfTR.asc" es el raster resultado de tirantes máximos de inundación asociado a diferentes periodos de retorno.
- "VelTR.tif" es el raster resultado de las velocidades de flujo de inundación asociado a diferentes periodos de retorno.
- "Con" es el lenguaje en Python para asignar condicionales.

El código identifica 5 regiones, donde se encuentra un punto a analizar, según los rásters de profundidades y velocidades.

4. Exportar los resultados en formato raster para ser visualizados en un mapa conocido como de severidad.

Los mapas de Severidad en formato electrónico se presentan en el anexo **A. 10.2 Mapas de Severidad**.

A continuación se presenta en la siguiente Tabla 10.4.1 el orden de la numeración de los planos correspondientes a las localidades urbanas (mayores a 2500 habitantes) para distintos periodos de retorno.

Tabla 10.4-1 Numeración Planos de Severidad

No. DE PLANO	Localidades	Tr
10-92		Tr 2
10-93	1.- Buena Vista Río Nuevo 1ra. Sección	Tr 5
10-94	2.- Buena Vista Río Nuevo 2da. Sección	Tr 10
10-95	3.- Buena Vista Río Nuevo 3ra. Sección	Tr 50
10-96	4.- Lázaro Cárdenas 2da. Sección	Tr 100
10-97	5.- Anacleto Canabal 2da. Sección	Tr 500
10-98	6.- González 1ra. Sección	Tr 1000
10-99-A-B		Tr 2
10-100-A-B		Tr 5
10-101-A-B	7.- Cuauhtémoc	Tr 10
10-102-A-B	8.- Vicente Guerrero	Tr 50
10-103-A-B	9.- Ignacio Allende	Tr 100
10-104-A-B	10.- Simón Sarlat	Tr 500
10-105-A-B		Tr 1000
10-106		Tr 2
10-107		Tr 5
10-108		Tr 10
10-109	11.- Frontera	Tr 50
10-110		Tr 100
10-111		Tr 500
10-112		Tr 1000
10-113		Tr 2
10-114		Tr 5
10-115		Tr 10
10-116	12.- Jalapa	Tr 50
10-117		Tr 100
10-118		Tr 500
10-119		Tr 1000
10-120-A-B-C	13.- Ayapa	Tr 2
10-121-A-B-C	14.- Iquiuapa	Tr 5
10-122-A-B-C	15.- Soyataco	Tr 10