



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA EN PRODUCCION AGROALIMENTARIA EN EL TROPICO

EVALUACIÓN DE RIESGOS A INUNDACIONES EN LA CUENCA

CÁRDENAS-COMALCALCO, TABASCO, MÉXICO

RIGOBERTO GONZÁLEZ MANCILLAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS TABASCO, MÉXICO.

2010

La presente tesis titulada: **Evaluación de riesgos a inundaciones en la cuenca Cárdenas–Comalcalco, Tabasco, México**, realizada por el estudiante: **Rigoberto González Mancillas**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

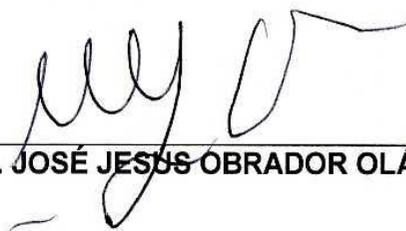
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. JOSÉ FRANCISCO JUÁREZ LÓPEZ

ASESOR


DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR


DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

ASESOR


DR. JOEL ZAVALA CRUZ

H. Cárdenas Tabasco, a 10 de Diciembre del 2010

EVALUACIÓN DE RIESGOS A INUNDACIONES EN LA CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO, TABASCO, MÉXICO

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

RESUMEN GENERAL

La presente investigación se realizó en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. Esta Cuenca tiene una extensión de 274,255.32 ha, que incluye los municipios de casi todo Cárdenas, parte de Huimanguillo, Paraíso y Comalcalco, y constantemente es afectada por inundaciones.

Así que, el propósito de la presente investigación consistió en conocer la percepción de la vulnerabilidad en zonas con riesgos a inundaciones realizando la evaluación de las zonas con riesgos a inundaciones con precipitaciones extremas asociado al Modelo Digital de Elevación (MDE). Para ello se realizó un análisis de la distribución probabilística de valores extremos de precipitación pluvial utilizando datos históricos de lluvia para la construcción de curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF), distribución espacial de la precipitación con diferentes años de periodo de retorno, estimación del escurrimiento superficial del agua, la determinación de las zonas con riesgo a inundaciones utilizando el MDE y la percepción de las personas con riesgo a inundaciones.

Metodológicamente el trabajo de investigación aborda la aplicación de funciones de distribución de probabilidades (FDP) a los valores extremos de la precipitación pluvial, construcción de las curvas de IDF, construcción de mapas de isoyetas de intensidades máximas con diferentes duraciones y periodo de retorno utilizando el Software ArcGis, cálculo del escurrimiento superficial del agua aplicando los modelos y coeficientes de escurrimiento propuestos por Treviño, determinación del riesgo a inundaciones mediante el llenado de depresiones del MDE, y la percepción del riesgo a inundaciones asociado a las intensidades máximas de la precipitación pluvial mediante la aplicación de encuestas a la población mayor de 18 años. El procesamiento de los datos permitió determinar que la FDP con mayor ajuste a los datos corresponde a la

función Gumbel, que las zonas con mayor riesgo a inundaciones pluvial con una duración de 48 horas y 5 años de periodo de retorno se ubican en los municipios de Comalcalco y parte de Paraíso, mientras que las mayores áreas con riesgo de inundación se localizan al sur y sureste de la cuenca, y además el 89% de las personas perciben estar en riesgos a las inundaciones según las encuestas.

Palabras Clave: Riesgos, Inundaciones, Precipitaciones extremas, Modelo Digital de Elevación (MDE), Percepción.

**FLOOD RISK ASSESSMENT IN THE BASIN
CARDENAS-COMALCALCO, TABASCO, MEXICO**

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

ABSTRACT GENERAL

This research was conducted in Cárdenas-Comalcalco Basin. This basin covers an area of 274,255.32 ha, which includes the municipalities of Cárdenas most part of Huimanguillo, Paraíso and Comalcalco, which is constantly affected by floods.

The purpose of this study was to examine the perception of vulnerability to flood risk areas by assessing the flood risk areas with extreme rainfall associated with the Digital Elevation Model (DEM). For which you made an analysis of the probability distribution of extreme values of rainfall using historical rainfall data for the construction of the Intensity Duration and Frequency (IDF), spatial distribution of precipitation in different years return period estimate surface water runoff The identification of flood risk areas using the DEM and the perception of people at risk of flooding.

Methodologically, the research addresses the application of probability distribution functions (PDF) to the extreme values of rainfall, construction of the IDF curves, mapping of isohyets intensities with different durations and return period using the ArcGIS software, calculation of surface runoff by applying water and runoff coefficients models proposed by Treviño, flood risk assessment by filling depressions in the DEM, and the perception of risk of flooding associated with the maximum intensities of rainfall by the implementation of population surveys over 18 years. The processing of the data allowed to determine that the PDF more fit to the data corresponds to the Gumbel function, that areas with greater risk of flooding rain lasting 48 hours and 5 year return period are located in the municipalities of Comalcalco and part of Paraíso, while higher flood risk areas are located south and southeast of the basin, plus 89% of people perceived to be at risk of flooding according to the survey

Keywords: Hazards, Floods, extreme rainfall, Digital Elevation Model (DEM), Perception.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su gran fortaleza que me ha brindado para culminar exitosamente otra etapa en mi vida profesional.

Al pueblo de México, que a través de sus contribuciones fiscales hace posible la existencia de instituciones como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, por permitirme realizar mis estudios de Posgrado dentro del Programa de Producción Agroalimentaria en el Trópico y por los conocimientos brindados, durante mi estancia a través de sus profesores.

A mi Consejo Particular: al Dr. José Francisco Juárez López por las asesorías y la rigurosidad con que me exigió para la culminación del trabajo de investigación. A los Drs. José Jesús Obrador Olán, Eugenio Carrillo Ávila y Joel Zavala Cruz, quienes con gran entusiasmo, amabilidad y paciencia aportaron su amplia experiencia en la presente investigación.

A Fondos Mixtos-CONACYT-Tabasco, por el apoyo otorgados al proyecto “Caracterización Ambiental de la Microcuenca Cárdenas-Comalcalco”.

Al Dr. Ángel Galmiche Tejeda por su tiempo y dedicación en la revisión del tercer capítulo de la presente investigación.

Al Dr. Lorenzo A. Aceves Navarro por su disponibilidad y tiempo para la traducción del resumen.

Al Dr. Rafael Trujillo Figueroa por sus consejos para la realización del estudio de Posgrado.

A la Lic. María de los Ángeles Ortiz Solórzano por sus sugerencias en la estructuración de la encuesta.

A los colegas Apolinar, Daniel, Benigno, Juan Carlos, Rodrigo y Isaías por su apoyo en la aplicación de las encuestas.

A los MC. Antonio y Vinicio por sus sugerencias y palabras de aliento.

A la comunidad del Colegio de Postgraduados y a los colegas de la generación.

DEDICATORIA

A todos mis seres queridos quienes con su apoyo moral hicieron posible mi formación académica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN GENERAL	I
ABSTRACT GENERAL	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
1.2.1. OBJETIVOS	3
1.2.1.1. Objetivo general	3
1.2.1.2. Objetivos particulares	3
1.2.2. HIPÓTESIS	4
1.2.2.1 Hipótesis particulares	4
CAPÍTULO I	5
DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO	6
1.1 RESUMEN	6
1.2 ABSTRACT	7
1.3 INTRODUCCIÓN	8
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	10
1.4.1 Área de estudio	10
1.4.2 Recopilación de la Información pluviométrica y pluviográfica de 11 estaciones meteorológicas ubicadas en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco	11
1.4.3 Análisis de la información pluviométrica y pluviográfica	12
1.4.4 Cálculo de la probabilidad empírica	13
1.4.5 Ajuste de los datos de intensidad máxima de lluvia a funciones de distribución de probabilidades (FDP) de valores extremos	13
1.4.6 Determinación de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para distintos periodos de retorno	15
1.4.7 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)	16
1.4.8 Elaboración de isoyetas de eventos de lluvia con diferentes duraciones y periodos de retorno	17

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
1.5.1 Valores extremos de la intensidad de la precipitación pluvial	17
1.5.2 Ajuste de las funciones de distribución de probabilidades (FDP)	19
1.5.3 Construcción de las curvas de intensidad duración y frecuencia.....	21
1.5.4 Parámetros de la función de distribución de probabilidades Gumbel	22
1.5.5 Ajuste del modelo para el cálculo de la intensidad de la lluvia con un periodo de retorno y una duración cualesquiera.....	24
1.5.6 Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) de la precipitación pluvial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco	24
1.5.7 Isoyetas de lluvias máximas (extremas) para diferentes duraciones y periodos de retorno en el área de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco	27
1.6 CONCLUSIONES.....	31
1.7 BIBLIOGRAFIA	32
CAPÍTULO II	36
MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN PARA ESTIMAR ZONAS CON RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO	37
2.1 RESUMEN	37
2.2 ABSTRACT	38
2.3 INTRODUCCIÓN	39
2. 4 MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.4.1 Área de estudio.....	42
2.4.2 Estimación de las precipitaciones extremas de la Cuenca Cárdenas- Comalcalco.....	42
2.4.3 Obtención del Modelo Digital de Elevación (MDE)	43
2.4.4 Uso del Modelo Hidrológico	43
2.4.5 Llenado de depresiones	43
2.4.6 Direcciones y acumulación del flujo superficial de agua.....	43
2.4.7 Microcuenca y redes de drenaje superficial.....	44
2.4.8 Cálculo del volumen de escurrimiento superficial en la Cuenca Cárdenas- Comalcalco.....	45
2.4.9 Estimación de las áreas susceptibles a la inundación	46

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
2.5.1 Estimación de las precipitaciones extremas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco	47
2.5.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)	47
2.5.3 Cálculo del volumen de escurrimiento superficial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco	49
2.5.4. Uso del Modelo Hidrológico	51
2.5.5 Determinación de las zonas con riesgo a inundación	52
2.5.6 Verificación de la precisión del procedimiento usado	54
2.6 CONCLUSIONES.....	57
2.7 BIBLIOGRAFÍA	58
CAPÍTULO III	64
PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN ZONAS CON RIESGOS A INUNDACIONES EN LOS POBLADOS C-16, C-17 Y LA RANCHERÍA SANTANA 4TA. SECC. DEL MUNICIPIO DE CÁRDENAS, TABASCO.....	65
3.1 RESUMEN	65
3.2 ABSTRACT	66
3.3 INTRODUCCIÓN	67
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	71
3.4.1 Área de estudio y metodología	71
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
3.5.1 Datos sociodemográficos.....	73
3.5.2 Percepción del riesgo a inundaciones	74
3.5.3 Percepción de la vulnerabilidad social	77
3.5.4 Percepción de la resiliencia después de ocurrido una inundación.....	79
3.5.5 Percepción de la mitigación del riesgo	81
3.5.6 Percepción de la vulnerabilidad ambiental	82
3.6 CONCLUSIONES.....	85
3.7 BIBLIOGRAFÍA	86
IV BIBLIOGRAFIA GENERAL	90
V ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Información pluviométrica de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, cuya información fue usada en el presente trabajo	11
Tabla 1.2. Función de distribución de probabilidades en la estación meteorológica del C-11.	20
Tabla 1.3. Parámetros α y β de la función de distribución de probabilidades gumbel, para las duraciones de lluvia analizadas en las 11 estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.....	23
Tabla 1.4. Parámetros del modelo propuesto por Koutsoyiannis <i>et al.</i> (1998) para las curvas de intensidad duración y frecuencia, de las 11 estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.....	24
Tabla 2.1. Valores de prevert considerados para conocer el valor del coeficiente de escurrimiento asociado a cada celda.	46
Tabla 3.1. Porcentaje (%) de participación de las organizaciones sociales no gubernamentales y gubernamentales en la prevención y mitigación de las inundaciones.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.	10
Figura 1.2. Localización de las 11 estaciones meteorológicas. El área sombreada corresponde a la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.....	12
Figura 1.3. Valores extremos de la precipitación pluvial en cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas a) comalcalco b) C-16 c) Paraíso 2 d) C-22.....	18
Figura 1.4. Coeficiente de determinación r^2 de las funciones de distribución de probabilidades a) Normal b) Lognormal c) Gamma y d) Gumbel.....	21
Figura 1.5. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de las estaciones meteorológicas a) Comalcalco b) Paraíso 2 C) Colegio de Posgraduados km.21.	25
Figura 1.6. Mapa de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 100 años para la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.	28
Figura 1.7. Mapa de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 30 años, en el área de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.....	29
Figura 1.8. Mapa de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 5 años, en el área de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.....	30
Figura 2.1. Perfil de un Modelo Digital de Elevación antes y después de llenar una depresión.	43
Figura 2.2. Dirección de flujo superficial del agua.....	44
Figura 2.3. Acumulación de flujo superficial del agua	44
Figura 2.4. Modelos Digital de Elevaciones de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.	48
Figura 2.5. Volumen de escurrimiento superficial a ocurrir en cada celda del plano en formato raster de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, como respuesta al evento de lluvia bajo análisis.	50
Figura 2.6. Depresiones topográficas (en rojo) aisladas dentro de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.	52
Figura 2.7. Zonas propensas a inundarse en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco de presentarse eventos de lluvia de 48 horas de duración con un período de retorno de 100 años.	53
Figura 2.8. Área susceptible a inundación (en rojo) en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, definidas con base en el Modelo Digital de Elevaciones para eventos de lluvia de 48 horas de duración con un período de retorno de 100 años.	54

Figura 2.9. Áreas afectadas por inundación en la Cuenca Cárdenas–Comalcalco en octubre de 2007, como resultado de la ocurrencia de eventos de lluvia extremos.	55
Figura 2.10. Comparación de las áreas susceptibles a la inundación definidas con base en el Modelo Digital de Elevaciones y las afectadas realmente por inundaciones en octubre y noviembre de 2007 en la Cuenca Cárdenas–Comalcalco.....	56
Figura 3.1. Zona de estudio con intensidades de lluvia máximas de 24 horas de duración y 30 años de periodo de retorno.....	72
Figura 3.2. Material utilizado para la construcción de las viviendas.	73
Figura 3.3. Ocupación de las personas encuestadas.....	74
Figura 3.4. Habitación vulnerable a las inundaciones.	75
Figura 3.5. Eventos de inundación según los encuestados.	76
Figura 3.6. Organizaciones gubernamentales para prevenir el riesgo a inundaciones.	78
Figura 3.7. Preparación de los hogares para enfrentar una contingencia.	78
Figura 3.8. Tiempo de recuperación después de una inundación.....	80
Figura 3.9. Apoyos brindados durante una inundación.	82
Figura 3.10. Actividades realizadas para el cuidado y conservación del medio ambiente.	83

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Las inundaciones son de los fenómenos naturales más destructivo en nuestro planeta, en términos de magnitud e impacto y que frecuentemente han incrementado el riesgo de muchas poblaciones en todo el mundo (Douben, 2006). Algunas de las hipótesis para este fenómeno son el aumento de la variabilidad climática, los asentamientos humanos en las llanuras de inundación, la cobertura vegetal y usos de suelos (Kundzewicz y Kaczmarek, 2000; OMM, 2006).

Históricamente, las planicies de inundación han sido considerados el lugar preferido para los asentamientos humanos y para el desarrollo socioeconómico, debido a la proximidad de los ríos que proveen suelos fértiles, un suministro abundante de agua y como medios de transporte, y que a su vez son afectadas constante por inundaciones y las crecidas de los ríos (OMM, 2006).

De acuerdo al CENAPRED (1994 y 2001) se define como inundación cuando el agua cubre una zona del terreno durante un cierto tiempo alcanzando una lámina de agua mayor de 25 cm de altura y pueden ser de origen pluvial y fluvial. Una inundación fluvial se define como una condición temporal de las aguas superficiales (ríos, arroyos, lagos, mar), en la que nivel del agua y la descarga excede un determinado valor, con lo que se escapa el agua de sus límites normales, y la inundación pluvial se da por la acumulación de agua como consecuencia de fuertes precipitaciones debido a la falta o exceso de la capacidad de descarga de los desagües, teniendo a comulación del agua donde normalmente no está sumergida (Munich, 1997; Domínguez *et al.*, 1999; Douben y Ratnayake, 2005). Salas y Jiménez (2007) mencionan que las inundaciones pueden ser originadas por fallas y mal manejo de las obras de infraestructura hidráulica.

Debido a su frecuencia, los desastres asociados a las inundaciones en todo el mundo, estas han recibido mayor atención para su reducción y su mitigación. De acuerdo con la base internacional de datos de desastres elaborada por la CRED (OFDA-CRED Database 2010), del intervalo de años entre 2000-2009, en todo el mundo se registraron 1 063 518 295 (Mil sesenta y tres millones quinientos dieciocho mil doscientos noventa y cinco) habitantes damnificados, y en México durante este mismo

periodo (2000-2009) se registraron 16 inundaciones, damnificando 1 896 124 habitantes, 344 de pérdidas humanas, los estados más golpeados por este fenómeno fueron Tabasco y Chiapas con 1 600 000 habitantes damnificados.

En consecuencia, las inundaciones aunadas a los daños, así como a las pérdidas cuantiosas que provocan y su frecuencia con la que se presentan en el estado de Tabasco conllevan a la necesidad de establecer estudios sobre zonas con riesgos a inundaciones; y es por ello que en esta investigación se realiza el análisis de las precipitaciones pluviales extremas históricas que en su momento pudieron ocasionar inundaciones, y mediante el uso de Modelos Digitales de Elevación (MDE) se determinan las zonas con riesgos a inundaciones para su prevención y mitigación.

Para su presentación el estudio se estructuró en tres capítulos, en el primer capítulo se presenta un análisis de la precipitación pluvial, su distribución temporal y la probabilidad de ocurrencia de valores extremos, utilizando datos históricos de precipitaciones, de las estaciones meteorológicas que existan en la región; el capítulo II consistió en estimar el escurrimiento superficial y conocer las zonas con riesgos a inundarse asociadas al Modelo Digital de Elevación (MDE) de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco y con la presencia de lluvias intensas; y finalmente en el capítulo III se presenta un análisis para conocer la percepción de la vulnerabilidad ante los riesgos a inundaciones, asociado a intensidades máximas de la precipitación pluvial.

1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.2.1. OBJETIVOS

1.2.1.1. Objetivo general

Realizar la evaluación de las zonas con riesgos a inundaciones con precipitaciones extremas, asociado al modelo digital de elevación y la percepción del riesgo a inundaciones asociado con precipitaciones extremas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

1.2.1.2. Objetivos particulares

I. Realizar un análisis de la distribución probabilística de valores extremos de precipitación pluvial, utilizando datos históricos de lluvia en la Cuenca Cárdena-Comalcalco.

II. Elaborar las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

III. Estimar la distribución espacial de la precipitación pluvial, utilizando el método de interpolación del Promedio de Distancias Inversas al Cuadrado, para diferentes duraciones y periodos de retorno.

IV. Calcular el escurrimiento superficial del agua precipitado en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, como respuesta a la presencia de lluvias de intensidades máximas con duración y período de retorno preestablecido.

V. Determinar las zonas con riesgos a inundaciones asociado al modelo digital de elevación en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

VI. Conocer la percepción de la vulnerabilidad en zonas con riesgos a inundaciones en la Cuenca Cárdena-Comalcalco asociado a las intensidades máximas de la precipitación pluvial.

1.2.2. HIPÓTESIS

1.2.2.1. Hipótesis particulares

- I. La probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvia puede ser modelada mediante el uso de funciones de distribución de probabilidades.
- II. Con el análisis de las precipitaciones extremas históricas es posible construir curvas de intensidad duración y frecuencia.
- III. Por medio de las isoyetas es posible conocer las zonas con más altas precipitaciones en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.
- IV. El escurrimiento superficial del agua ocasionado por intensidades máximas de precipitación puede provocar inundaciones en zonas bajas.
- V. La falta de desalojo del agua precipitado en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, incrementa los riesgos a inundaciones.
- VI. Las personas perciben ser vulnerables ante los riesgos a las inundaciones en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

CAPÍTULO I

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

1.1 RESUMEN

En este estudio se determinaron las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de las intensidades máximas de la precipitación pluvial de 11 estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. Para cada duración se ajustaron funciones de distribución de probabilidades (FDP) de valores extremos, Normal, Log normal, Gumbel y Gamma. La función Gumbel presento un mejor ajuste con un $\alpha=0.05$. Posteriormente, se construyeron las curvas de IDF con 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años de período de retorno de cada estación, ajustándoles el modelo propuesto por Koutsoyiannis el cual es útil para la representación de las curvas intensidad-duración-frecuencia, para cualquier duración y periodo de retorno. Con el software Arc GIS versión 9.2 se construyeron mapas de isoyetas de intensidades máximas de la precipitación pluvial para diferentes duraciones y períodos de retorno. Las zonas con eventos de lluvia de mayor intensidad de 5.5 mm h^{-1} , para duraciones de 48 h y cinco años de periodo de retorno se ubican en los municipios de Comalcalco y Paraíso y 11 mm h^{-1} con una duración de 48 h y con 100 años de periodo de retorno se presenta en los municipios de Comalcalco y parte de Huimanguillo.

Palabras Clave: Precipitación pluvial, FDP Normal, Log Normal, Gumbel, y Gamma, Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, Periodo de retorno, Isoyetas.

TEMPORAL DISTRIBUTION AND THE LIKELIHOOD OF RAINFALL EXTREME VALUES IN THE CÁRDENAS-COMALCALCO BASIN

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

1.2 ABSTRACT

Curves of Intensity-Duration-Frequency (IDF) were elaborated for the maximum intensities of rainfall from 11 weather stations located within the Cardenas-Comalcalco watershed. For each period, the probability distribution functions (FDP) of extreme values, Normal, Lognormal, Gumbel and Gamma were adjusted. Gumbel function presented a better fit with $\alpha = 0.05$. Subsequently, the IDF curves were constructed for 5, 10, 20, 30, 50 and 100 years of return period for each station, using the Koutsoyiannis model, which is useful to represent curves of intensity-duration-frequency, for any duration and return period. Maps of isohyets intensities of rainfall for different durations and return periods were constructed using Arc GIS version 9.2. Areas with rainfall intensity greater than 5.5 mm h^{-1} for durations of 48 h and a five-year return period are located in the municipalities of Comalcalco and Paraíso, meanwhile, a 11 mmh^{-1} for a period of 48 h with 100 years return period occurs in the municipalities of Comalcalco and part of Huimanguillo.

Keywords: Rainfall, FDP Normal, Log Normal, Gumbel, and Gamma, Curves intensity-duration-frequency, Return period, Isohyets.

1.3 INTRODUCCIÓN

La precipitación pluvial es el elemento meteorológico más importante en una Cuenca hidrológica, este elemento junto con otros componentes como la evaporación y la infiltración contribuyen a configurar el clima de una zona (Arnaiz, 1976). La precipitación se define como la cantidad de agua, tanto en forma líquida como sólida, que cae sobre la superficie de la tierra (MOPT, 1992; Brooks *et al.*, 1991) y que da origen todas las corrientes superficiales y subterráneas (Maderey *et al.*, 2005). La precipitación tiene una distribución muy irregular en el espacio geográfico y en el tiempo, como se manifiesta en los registros de variación anual, mensual y diaria (William, 1989; Box y Jenkins, 1970; Chow *et al.*, 1994; Rodríguez *et al.*, 2000). La distribución espacial de la precipitación sobre los continentes es muy variada, así existen extensas áreas como los desiertos, donde las precipitaciones son extremadamente escasas 5 mm año^{-1} y otras muy húmedas donde se pueden alcanzar cantidades alrededor de los $10000 \text{ mm año}^{-1}$. Por lo general, una elevación del terreno provoca muy frecuentemente un aumento local de las precipitaciones (Linsley *et al.*, 1988).

La variabilidad espacial y temporal de la precipitación pluvial, corresponden a eventos de lluvia de gran intensidad en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, que ocasionan frecuente inestabilidad en las actividades de la población, debido a las inundaciones provocadas por el exceso de agua. En el ámbito nacional, Tabasco presenta una precipitación promedio anual de $2,432.7 \text{ mm}$ (CNA, 2005; Peralta *et al.*, 2009), que lo ubica como el estado de más alta precipitación. Este valor, aunado a la topografía plana de la mayor parte de su territorio, pone de manifiesto que las inundaciones en las zonas más bajas es uno de los problemas que frecuentemente se presentan en el estado. En Tabasco se pueden diferenciar tres épocas climáticas durante todo el año: a) Temporada de “secas”, que comprende los meses de febrero a principios de junio; b) Temporada de lluvias intensas o “temporal”, que inicia en junio y finaliza en septiembre y c) Temporada de “nortes”, cuya duración esta considerada entre finales de septiembre a mediados de febrero. Siendo que en estas dos últimas épocas se concentra alrededor del 80% de la precipitación total. La temporada de lluvias que inicia

en el mes de junio es ocasionada por la presencia de los vientos alisios del norte y noreste, dando lugar a lluvias de tipo torrencial que generalmente se presentan por las tardes acompañadas por tormentas eléctricas (Pereira *et al.*, 2004). Los vientos alisios al ser reforzados por ciclones tropicales, huracanes del Golfo de México, el Caribe, el Pacífico y por la aparición de los frentes fríos intensifican las precipitaciones, alcanzando las precipitaciones máximas totales en los meses de septiembre y octubre (García, 2003; Escudero, 2007; Méndez *et al.*, 2008).

Por consiguiente, el estudio de las precipitaciones y de su distribución temporal puede ser útil para diversos fines meteorológicos, edafológicos e hidrológicos, pues en este último caso se podrían establecer índices para realizar estudios de crecidas en cauces naturales y para alimentar modelos de precipitación, incluyendo aquellos en los que se realiza el cálculo de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), que a su vez sirven para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras hidráulicas. Para el cálculo de estas curvas de IDF es necesario conocer la intensidad de diferentes eventos de precipitación para diferentes duraciones de lluvia y distintos períodos de retorno.

De acuerdo con diversos estudios (Mintegui y López, 1990; Sáenz 2009), se sabe que las series de caudales y precipitaciones máximas en una determinada zona geográfica no se ajustan a distribuciones normales, por lo tanto se considera necesario utilizar distribuciones extremas, como la logarítmica-normal, la función Gamma y la función de Gumbel. Estas distribuciones de probabilidad facilitan la determinación de lo que puede considerarse un evento extremo en un determinado periodo de retorno (Mintegui y López, 1990; Sáenz 2009). En este sentido Linsley *et al.* (1988), Shan *et al.* (2004) y Quej (2007) indican que los valores de precipitaciones máximas horarias o diarias generalmente se ajustan a la función Gumbel. En áreas húmedas, donde el valor medio de la precipitación mensual por estación o la precipitación total anual es alto, los valores de precipitación se aproximan a una distribución normal. En consecuencia, el objetivo de este capítulo consistió en realizar un análisis de la distribución probabilística de los valores extremos de precipitación pluvial con datos históricos registrados en la Cuenca Cárdenas–Comalcalco, así como elaborar las curvas de Intensidad-Duración-

Frecuencia (IDF) y de la distribución espacial de la precipitación, asumiendo la hipótesis de que la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de lluvia pueden ser modelados mediante el uso de funciones de distribución de probabilidades, y con ello es viable construir las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y la distribución espacial de las intensidades de lluvia para posiblemente conocer las zonas con mayor precipitación.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Área de estudio

La zona de estudio corresponde a la denominada Cuenca Cárdenas-Comalcalco, debido a su desarrollo urbano, petrolero y agropecuario es considerada de suma importancia para el estado de Tabasco. Presenta una extensión de 274,255.3 ha, comprende casi todo el municipio de Cárdenas y parte de los municipios de Huimanguillo, Paraíso y Comalcalco. La Cuenca se ubica en la provincia llanura costera del Golfo de México (Lugo y Córdova, 1992), la pendiente es menor a 1% y su altura sobre el nivel del mar varía entre 0 y 30 m. Dispone de grandes cuerpos de agua como son las lagunas El Carmen y La Machona, ésta última es alimentada por los ríos Naranjeño, Santana y San Felipe (ver Figura 1.1.).

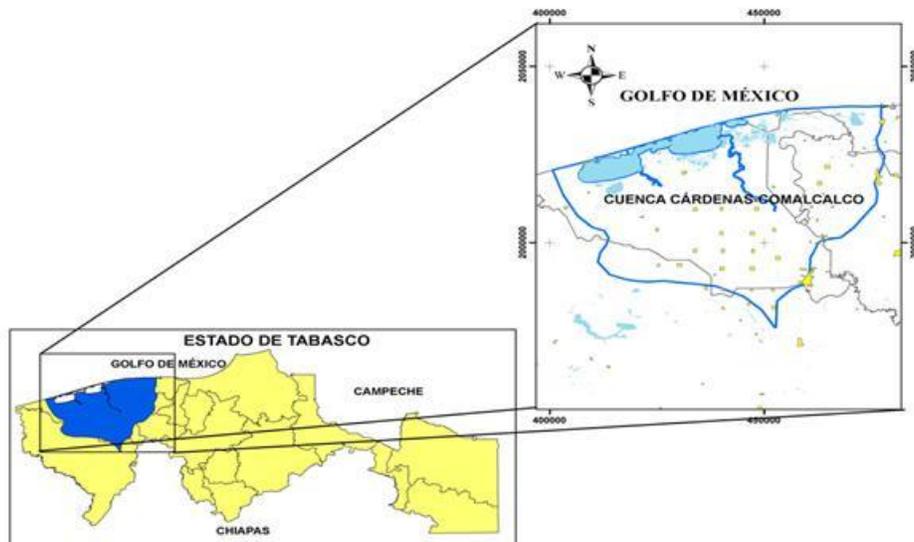


Figura 1.1. Ubicación Geográfica de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

El tipo de clima predominante de acuerdo a la clasificación Köopen Modificada por García (2004), es del tipo Am (f), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con una temperatura promedio de 26 °C y precipitación media anual de 2000 mm (INEGI, 2008).

1.4.2 Recopilación de la Información pluviométrica y pluviográfica de 11 estaciones meteorológicas ubicadas en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

En la Tabla 1.1 y la Figura 1.2 se presentan las 11 estaciones meteorológicas a través de las cuales se recopiló la información pluviométrica que fue analizada en el presente estudio; incluyéndose sus coordenadas geográficas, altitud y periodos históricos de registros.

Tabla 1.1. Información pluviométrica de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, cuya información fue usada en el presente trabajo

No.	Estación meteorológica	Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM		Zona UTM	Altitud (msnm)	Periodo de Información		Años con datos
		Nombre	Latitud Norte	Longitud Oeste	X			Y	Inicio	
1	Cangrejera	18°06'20.20"	94°19'52.80"	359129,70	2002403,31	15	21	2000	2006	6
2	Km 21	17°59'06.15"	93°35'22.54"	437575,35	1988654,21	15	14	1993	2006	13
3	C-11	18°18'01.68"	93°33'00.33"	441862,21	2023540,93	15	8	1972	1986	14
4	C-32	17°58'19.33"	93°30'42.00"	445822,24	1987190,67	15	28	1972	1998	26
5	Ew k21	18°00'01.76"	93°37'00.32"	434705,12	1990372,44	15	15	1961	1999	38
6	Comalcalco	18°14'30.93"	93°13'12.93"	476713,89	2016990,36	15	17	1965	2000	35
7	Encrucijada	18°18'01.68"	93°29'00.32"	448908,76	2023521,19	15	7	1965	1979	14
8	La Venta	18°08'01.72"	94°01'00.30"	392436,71	2005311,74	15	8	1963	1982	19
9	Paraíso 2	18°24'01.66"	93°13'00.34"	477104,40	2034530,72	15	2	1949	2000	51
10	C-16	18°06'59.13"	93°30'16.96"	446602,25	2003164,16	15	10	1972	1999	27
11	C-22	18°04'21.90"	93°37'59.92"	432979,60	1998373,61	15	24	1972	1999	27

La información recopilada consistió en datos de registros pluviométricos diarios por estación meteorológica, con excepción de dos estaciones que contaban con otros registros: la estación "Km 21" del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, que cuenta con registros de pluviógrafos las 24 horas, y de la estación automatizada "Cangrejera" que dispuso de información pluviométrica registrada cada 10 minutos.

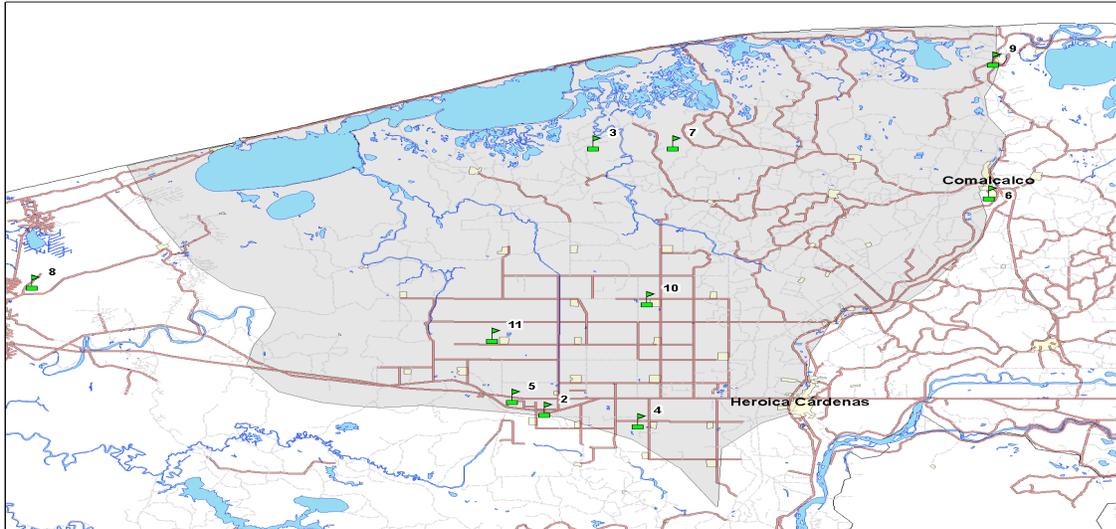


Figura 1.2. Localización de las 11 estaciones meteorológicas. El área sombreada corresponde a la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

1.4.3 Análisis de la información pluviométrica y pluviográfica

Recopilada la información pluviométrica y pluviográfica de las 11 estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, se procedió a la captura de los datos y a su análisis, que consistió en el ordenamiento de datos de lluvia y en el cálculo de magnitudes e intensidades de lluvia para diferentes duraciones según los registros de cada estación. Para este cálculo se consideró que las estaciones meteorológicas en las que únicamente se disponía de los valores de lluvia diarios las duraciones analizadas fueran de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 21 y 28 días; mientras que en las dos estaciones (Cangrejera y Km 21), donde también se disponía de datos de precipitación en intervalos de una hora o menos, se seleccionaron las duraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 12 horas y de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 21 y 28 días.

El cálculo de magnitudes e intensidades de lluvia (Estación Km 21 y Cangrejera) y de las magnitudes e intensidades máximas anuales de lluvia (primeras nueve estaciones, ver Tabla I.I), se realizó según el procedimiento realizado por Quej (2007), que considera la suma de los datos sucesivos de lluvia hasta completar la duración de la lluvia bajo análisis, repitiéndose la operación a partir del dato siguiente.

En el tratamiento de la información se utilizaron programas de cómputo en lenguaje Basic, que también fueron empleados en el cálculo de los valores de eventos de lluvia

para las diferentes duraciones estudiadas, y en la selección de los eventos máximos para cada duración de la lluvia, año analizado y estación meteorológica.

1.4.4 Cálculo de la probabilidad empírica

La estimación de los valores de intensidad máxima de lluvia para las diferentes duraciones de 1 a 12 horas, 24 horas, 48 horas y de 3 a 28 días, para cada estación meteorológica y para cada año, se realizó mediante la estimación de su probabilidad de ocurrencia empírica.

Para ello, los valores anuales de intensidad máxima de lluvia (en mm h⁻¹) de cada duración y estación meteorológica se ordenaron de menor a mayor, a estos valores se les asociaron valores de probabilidad de ocurrencia empírica, según la expresión propuesta por Hazen, (1914), y utilizada por León (1976) y León y Palacios (1977):

$$P_e = \frac{2k-1}{2n} \quad (1)$$

donde: P_e = Probabilidad empírica acumulada; n = Número total de datos de intensidad de lluvia, y k = Número de orden de los valores ordenados en forma creciente.

1.4.5 Ajuste de los datos de intensidad máxima de lluvia a funciones de distribución de probabilidades (FDP) de valores extremos

Una vez calculada la probabilidad empírica, se obtuvieron series de pares de valores de probabilidad empírica acumulada–intensidad de lluvia máxima, para todas las duraciones de lluvia analizadas en cada una de las estaciones meteorológicas. A las series de pares de valores se les evaluó de forma analítica las funciones de distribución probabilística Normal, Log normal, Gumbel y Gama, definidas en las ecuaciones 2, 3, 4 y 5.

Función de distribución de probabilidad normal (Kite, 1977; Chow *et al.*, 1994):

$$f(u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{u-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{Para} \quad -\infty \leq u \leq \infty \quad (2)$$

donde: u = variable aleatoria; μ = media y σ = desviación estándar.

Función de distribución de probabilidad Log normal (Kite, 1977; Chow *et al.*, 1994):

$$f(u) = \frac{1}{\beta u \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(u) - \alpha}{\beta} \right)^2} \quad \text{con } u > 0 \quad (3)$$

donde: α = media β = desviación estándar de la distribución.

Función de distribución de probabilidad Gumbel

La función Gumbel está definida por la ecuación 4 (Gumbel, 1958), utilizada por Koutsoyiannis y Baloutsos (2000) y Koutsoyiannis (2004):

$$f(u) = \frac{1}{\beta} e^{-\left(\frac{u-\alpha}{\beta}\right)} e^{-\left(\frac{u-\alpha}{\beta}\right)} \quad \text{para } -\infty \leq u \leq \infty \quad (4)$$

Función de distribución de probabilidad Gamma (Chow *et al.*, 1994; Weisstein, 1999):

$$g(u) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\left(\frac{u}{\beta}\right)} u^{(\alpha-1)} \quad \text{para } 0 \leq u \leq \infty \quad (5)$$

donde: Γ = Función Gamma

Los parámetros α y β de las ecuaciones 4 y 5 se pueden determinar por el método de los momentos (Infante y Zarate, 1990; Weisstein, 1999; Quej, 2007; Campos, 2008); también se pueden determinar por el método de la máxima verosimilitud (Álvarez *et al.*, 1999; Salas y Fernández, 2006).

Las funciones de distribución de probabilidades Gumbel y Gama han sido utilizadas para modelar funciones de probabilidades de caudales máximos y precipitaciones extremas.

Para verificar el modelado y ajustes de los datos a alguna de las funciones evaluadas, se realizó la prueba propuesta por Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951) con un $\alpha=0.05$

y se cálculo el coeficiente de determinación (R^2), que representa el porcentaje de variación de los datos reales que son explicados por algunos de los modelos seleccionados (Pizarro *et al.*, 2001). La prueba de bondad de ajuste empleada está basada en un estadístico que mide la desviación de la frecuencia observada acumulada con relación a la frecuencia teórica acumulada. Esta prueba es válida para distribuciones continuas, y sirve tanto para muestras grandes como para muestras pequeñas (Shao, 1970; Cid *et al.*, 1990). Una vez realizada la prueba de ajuste y obtenido el valor de R^2 , se eligió a la FDP con el mejor ajuste a los valores observados de intensidad máxima de lluvia.

1.4.6 Determinación de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para distintos periodos de retorno

Una vez determinada la FDP con mejor ajuste y conocidos sus parámetros para cada serie de datos de intensidad de lluvia (de las diferentes duraciones de eventos de lluvia y para todas las estaciones meteorológicas analizadas), se realizó el cálculo de intensidades de lluvia considerando 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años de período de retorno. Se sabe que la probabilidad está asociada a la ocurrencia de una lluvia y está inversamente relacionada con su período de retorno, según se indica en la ecuación 6:

$$P = \frac{1}{T} \tag{6}$$

donde: P = Probabilidad de ocurrencia de una lluvia (adimensional) y T = Período de retorno (años).

Así, la probabilidad de ocurrencia de una lluvia con un período de retorno de 100 años es de 0.01. Para establecer la intensidad de la lluvia asociada a cada período de retorno se empleó la función de distribución de probabilidades ajustada, determinando el valor del límite inferior que hace que la integral de la función sea igual a la probabilidad de ocurrencia (Chow *et al.*, 1994.)

$$\int_i^{\infty} f(x)dx = P = \frac{1}{T} \tag{7}$$

En la expresión anterior i representa la intensidad de la lluvia buscada y es igual al límite inferior de la integral de la función de distribución de probabilidades con mejor ajuste, cuya evaluación desde i hasta infinito es igual a la probabilidad de ocurrencia de la intensidad de la lluvia.

1.4.7 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Una vez calculados los valores de intensidad para cada duración de los eventos de lluvia y para cada período de retorno por estación meteorológica, se procedió a realizar, mediante regresiones múltiples, el ajuste del modelo funcional que relaciona la intensidad de la lluvia con su duración y su frecuencia. Para ello se empleó el modelo propuesto por Koutsoyiannis *et al.*, (1998), y utilizado por Pereyra *et al.*, (2004), quienes encontraron, después de evaluar diversos modelos, que este modelo es el que mejor representa las curvas de IDF, es decir, los datos de intensidad de lluvia asociados a su duración y su periodo de retorno.

Por lo tanto, en este trabajo se adoptó el modelo sugerido por Koutsoyiannis *et al.* (1998), sustentándose en la consideración de que la intensidad de la lluvia tiene una distribución doble exponencial o Gumbel. El modelo sugerido corresponde al indicado en la ecuación (8):

$$i = \lambda \left\{ \frac{\psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(d + \theta)^\eta} \right\} \quad (8)$$

donde: i = Intensidad de la lluvia (mm/h); T = Período de retorno (años); d = Duración de la lluvia (horas) y λ , ψ , θ , η = Parámetros característicos de cada estación meteorológica.

Los valores de los cuatro últimos parámetros fueron estimados para cada estación usando el algoritmo propuesto por Levenberg–Marquardt (Marquardt, 1963), el cual se programó en lenguaje Quik Basic. Este algoritmo sirve para identificar los valores de los parámetros que hacen mínima la función definida por la suma de cuadrados de las

desviaciones del modelo respecto a los valores observados. En este estudio la identificación de los parámetros de la ecuación (8) permitirá generalizar el cálculo de la intensidad de una lluvia para una duración y un período de retorno cualesquiera en las estaciones meteorológicas analizadas.

1.4.8 Elaboración de isoyetas de eventos de lluvia con diferentes duraciones y periodos de retorno

Una vez calculadas las curvas IDF de las estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, se diseñaron mapas de isoyetas de intensidades máximas de lluvia de 24 y 48 horas de duración, con períodos de retorno de 100, 30 y 5 años. A partir de estos valores se estimarán los volúmenes de agua de lluvia que podrían presentarse en la Cuenca y que estarían asociados a una determinada duración con un período de retorno dado. Para la construcción del mapa de isoyetas se utilizó el software Geographic Information System (GIS), utilizando el método de interpolación de Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDC) incluido dentro del software comercial Arc Gis versión 9.2 (ESRI, 2004).

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Valores extremos de la intensidad de la precipitación pluvial

En la Figura 1.3 se ejemplifican gráficamente los valores extremos de intensidad de lluvia de 24 horas de duración, utilizando cuatro estaciones meteorológicas (Comalcalco, C-16, Paraíso 2 y C.22) de las 11 seleccionadas en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

Se puede observar que la estación de Comalcalco registró intensidades de lluvia máximas con 24 horas de duración en los años de 1974 (con precipitaciones máximas de 8.7 mm h^{-1}), 1975 (8.5 mm h^{-1}) y 1972 (8.12 mm h^{-1}); mientras que en la estación meteorológica C-16 se manifestaron precipitaciones máximas de 13.3 mm h^{-1} en el año 1975, de 10.3 mm h^{-1} en 1993 y de 10 mm h^{-1} en 1976. En el caso de la estación meteorológica de Paraíso 2 se registraron intensidades máximas de lluvia en los años 1956, 1999 y 2000, cuyos valores corresponden a 8.3 mm h^{-1} ; 10.1 mm h^{-1} y 11.9 mm h^{-1} , respectivamente. Finalmente, en la estación C-22, las precipitaciones máximas

observadas fueron de 20 mm h⁻¹ en 1990, 9.4 mm h⁻¹ en 1998 y 10 mm h⁻¹ en 1999. Estos valores confirman la variabilidad espacial y temporal existente en la Cuenca.

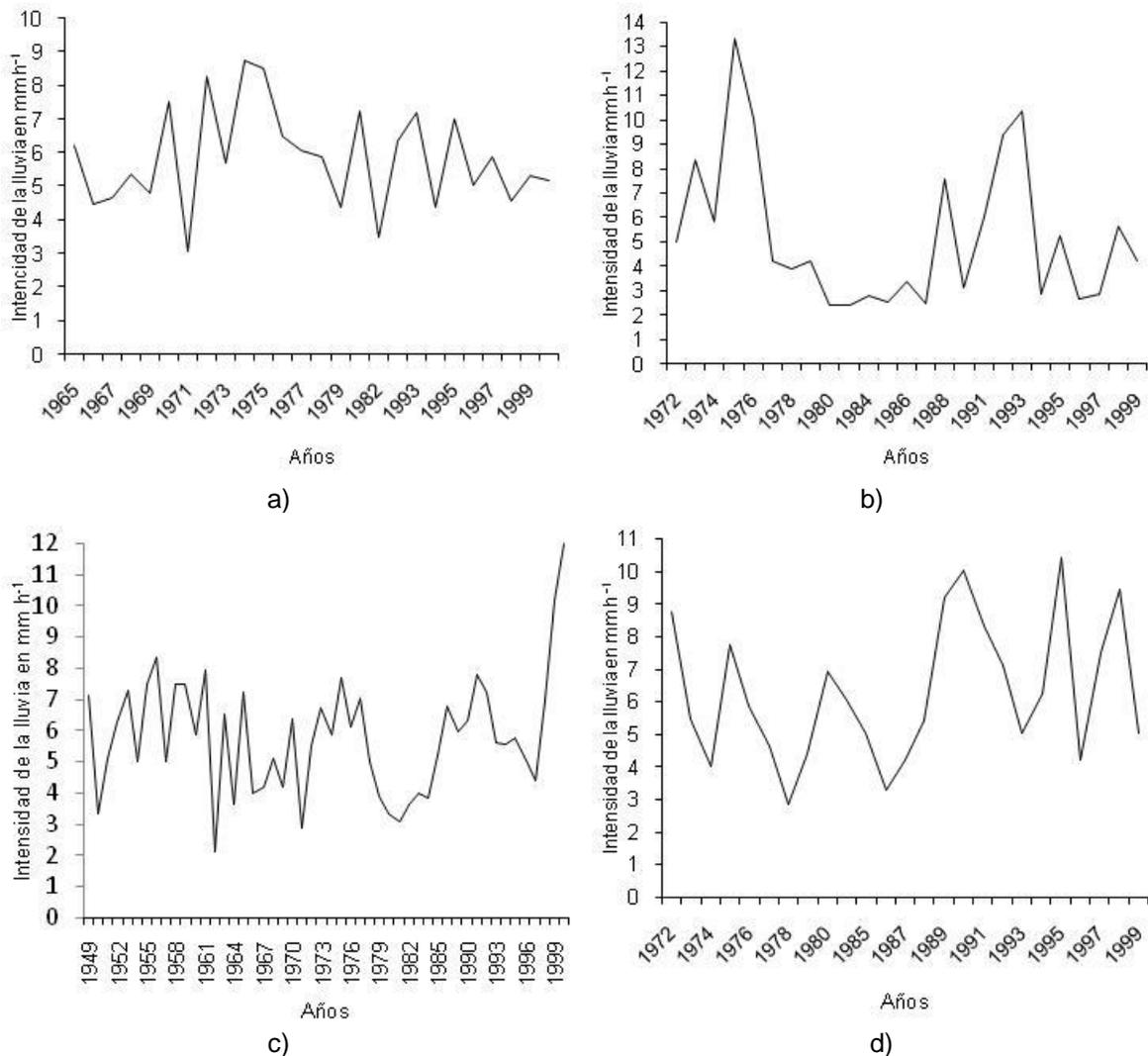


Figura 1.3. Valores extremos de la precipitación pluvial de cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas a) Comalcalco, b) C-16, c) Paraíso 2 ,d) C-22

Las precipitaciones máximas históricas observadas en estas cuatro estaciones tienen gran relación con las inundaciones registradas en los años 1995 y 1999 (Velázquez 2001; Salas y Jiménez, 2007). En la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, las precipitaciones observadas con mayor intensidad fueron durante los meses de septiembre, octubre y principios de noviembre, resultado que es similar al obtenido por Escudero (2007) y Pereyra *et al.* (2004). Estos valores pueden ser debido a la presencia de las tormentas tropicales, ciclones y huracanes que pasan por el Golfo de México (García, 2003) y que

contribuyen al aumento de la precipitación. Velázquez (2001) menciona que algunos de los huracanes que han provocado inundaciones en el estado de Tabasco, corresponden a Brenda registrado el 22 de agosto 1973, Roxane manifestado entre 15 y 18 de octubre de 1995, Isidoro que se presentó 22 al 24 septiembre del 2002 y el huracán Stan documentado entre los días 3, 4 y 5 de octubre del 2003.

Es de suma importancia señalar que varios de los eventos pluviométricos extremos son episodios lluviosos de gran intensidad capaces de desencadenar procesos geomorfológicos de gran magnitud y de generar consecuencias en pérdidas económicas, humanas, destrucción de infraestructura, erosión superficial, cambio de cauces de ríos y de arroyos e inundaciones en llanuras aluviales.

1.5.2 Ajuste de las funciones de distribución de probabilidades (FDP)

En la Tabla 1.2 se indican los valores del ajuste de las funciones de distribución de probabilidades estudiadas en la estación meteorológica C-11. En donde m es el número del orden del dato, x_m son las intensidades máximas de la precipitación con una duración de 24 h y que han sido ordenadas de menor a mayor intensidad, F_o es la probabilidad empírica y F_c es la probabilidad calculada. Las funciones de distribución Normal, Log normal, Gumbel y Gama fueron calculadas utilizando las ecuaciones 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov (k_s) efectuada en este estudio fue con la finalidad de comparar el máximo valor absoluto de la diferencia de la probabilidad empírica y la probabilidad calculada ($|F_o(x_m)-F_c(x_m)|$).

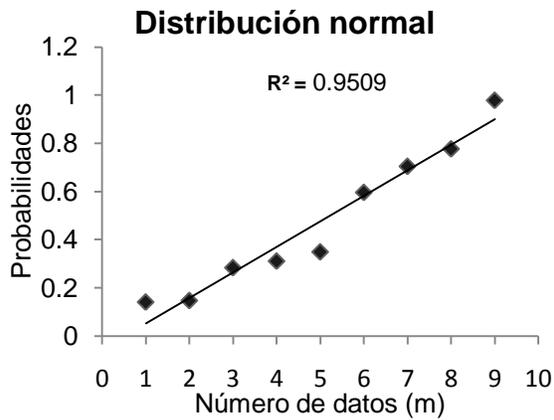
Para cada función de distribuciones probadas se muestran los valores absolutos encerrados en un recuadro sombreado (ver Tabla 1.2)

Tabla 1.2. Función de distribución de probabilidades en la estación meteorológica del C-11.

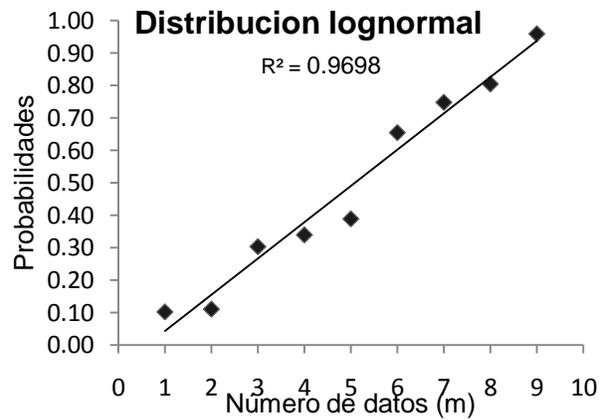
m	X_m (mmh^{-1})	$F_o(x_m)$ (empírica)	$F_c(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m)-$ $F_c(x_m) $	F_c Log normal	$ F_o(x_m)-$ $F_c(x_m) $	Gamma	$ F_o(x_m)-$ $F_c(x_m) $	Gumbel	$ F_o(x_m)-$ $F_c(x_m) $
1	3.383	0.0556	0.1414	0.0858	0.1033	0.0477	0.0071	0.0484	0.1076	0.0521
2	3.438	0.1667	0.1476	0.0190	0.1118	0.0548	0.0077	0.1590	0.1163	0.0504
3	4.375	0.2778	0.2841	0.0064	0.3043	0.0265	0.0203	0.2574	0.3110	0.0332
4	4.529	0.3889	0.3113	0.0776	0.3406	0.0483	0.0231	0.3658	0.3477	0.0412
5	4.738	0.5000	0.3496	0.1504	0.3899	0.1101	0.0271	0.4729	0.3976	0.1024
6	5.979	0.6111	0.5964	0.0147	0.6557	0.0446	0.0549	0.5563	0.6632	0.0521
7	6.558	0.7222	0.7048	0.0175	0.7488	0.0266	0.0683	0.6539	0.7546	0.0324
8	7.000	0.8333	0.7771	0.0562	0.8055	0.0279	0.0779	0.7554	0.8097	0.0236
9	9.488	0.9444	0.9786	0.0342	0.9599	0.0155	0.1065	0.8379	0.9591	0.0147

Para la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov se utilizó la tabla de teoría de los valores críticos D, Con un $\alpha=0.05$. Esta prueba presentó un valor de tabla de 0.432. Con ésta prueba se pueden aceptar las funciones, normal, Log normal y Gumbel. Sin embargo, la función que manifestó un mejor ajuste y modelado de datos con el coeficiente de determinación más alto fue la función Gumbel.

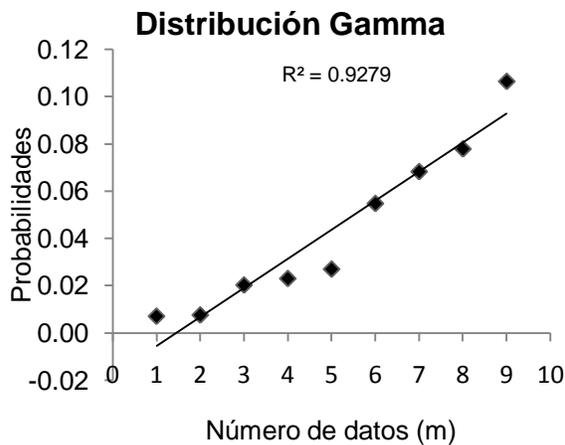
Lo anterior se puede observar en la Figura 1.4, en la cual se indican los gráficos de las probabilidades de distribución de las funciones evaluadas (Normal, Log normal, Gama y Gumbel), así como el Coeficiente de Determinación R^2 . En este caso la función que presentó el coeficiente de determinación más alto fue la función de Gumbel, lo cual pone de manifiesto que esta función permite determinar probabilidades de precipitaciones extremas.



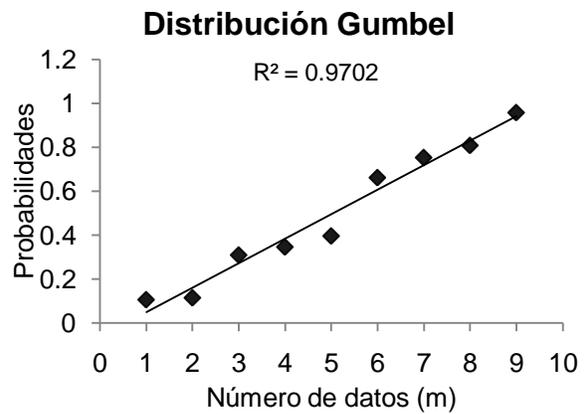
a)



b)



c)



d)

Figura 1.4. Coeficiente de Determinación R^2 de las funciones de distribución de probabilidades a) Normal, b) Lognormal, c) Gamma y d) Gumbel

1.5.3 Construcción de las curvas de intensidad duración y frecuencia

Para conocer las intensidades máximas de lluvias asociado a un periodo de retorno se utilizó una forma alternativa a partir de la ecuación 4 dado que el valor del límite inferior de la integral corresponde a la probabilidad de ocurrencia:

$$P = \frac{1}{T} = \frac{1}{\beta} \int_i^{\infty} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)} dx \quad (9)$$

Además dado que la función Gumbel es integrable analíticamente, una forma de determinar el valor de la intensidad de la lluvia asociada a un período de retorno T es:

$$e^{-e^{-\left(\frac{i-\alpha}{\beta}\right)}} = 1 - P = 1 - \frac{1}{T} \quad (10)$$

En este caso, la aplicación de las propiedades de los logaritmos permite obtener el valor de la intensidad de la lluvia buscada, correspondiente al parámetro i , como se indica en la ecuación 11.

$$i = \alpha - \beta \ln[-\ln(1-P)] = \alpha - \beta \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (11)$$

Puesto que P varía entre el intervalo numérico de cero y uno, el valor de $(1-P)$ en la ecuación 11 también varía entre cero y uno, se puede asumir que su logaritmo natural es negativo, esto implicaría que el argumento entre corchetes es positivo, y consecuentemente la función del logaritmo natural aplicada al valor dentro del corchete está definida, lo que a su vez permite calcular el valor de la intensidad buscada.

1.5.4 Parámetros de la función de distribución de probabilidades Gumbel

En la Tabla 1.3 se pueden observar los parámetros α y β para distintas duraciones de la función de distribución Gumbel, las cuales fueron calculados por el método de los momentos utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \bar{u} - \beta\gamma \quad (12)$$

$$\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s_u \quad (13)$$

donde \bar{u} es la media aritmética, s_u la desviación estándar de la variable u sobre la que se ajusta la distribución Gumbel, y γ = Constante de Euler equivalente a 0.5772156649

Tabla 1.3. Parámetros α y β de la función de distribución de probabilidades Gumbel, para las duraciones de lluvia analizadas en las 11 estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

Duración de la lluvia	Estación meteorológica																					
	Cangrejera		Km 21		C-11		C-32		EW Km 21		Comalcalco		Encrucijada		La Venta		Paraíso dos		C-16		C-22	
	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta	alfa	beta
1 hr	54.790	15.457	39.755	16.017	33.227	26.369	26.2560	10.364	31.477	16.471	38.948	20.804	33.354	16.714	20.615	18.816	39.025	21.056	26.868	23.980	41.084	12.011
2 hrs	36.648	16.047	22.634	6.645	21.455	14.095	16.803	6.816	20.544	10.590	24.984	12.711	21.673	9.889	14.683	10.428	24.963	12.674	17.884	14.352	26.189	8.019
3 hrs	32.483	12.275	17.273	4.632	16.612	9.771	12.942	5.335	16.006	8.178	19.270	9.528	16.842	7.275	12.039	7.384	19.222	9.417	14.095	10.630	20.124	6.331
4 hrs	25.360	10.686	13.636	2.641	13.854	7.534	10.753	4.483	13.408	6.808	16.027	7.766	14.082	5.851	10.457	5.780	15.968	7.628	11.904	8.590	16.694	5.354
6 hrs	23.133	9.391	10.153	2.103	10.726	5.223	8.282	3.509	10.447	5.258	12.361	5.822	10.943	4.304	8.574	4.093	12.295	5.668	9.382	6.362	12.828	4.227
8 hrs	17.716	8.672	8.304	0.999	8.946	4.027	6.882	2.949	8.751	4.377	10.281	4.745	9.150	3.462	7.448	3.203	10.214	4.591	7.923	5.141	10.642	3.575
12 hrs	14.800	6.713	6.006	0.939	6.926	2.792	5.300	2.308	6.818	3.381	7.929	3.557	7.111	2.547	6.107	2.268	7.865	3.412	6.245	3.808	8.177	2.822
24 hrs	8.262	4.255	3.958	0.723	4.612	1.535	3.485	1.524	4.588	1.880	5.161	1.404	4.876	1.535	4.301	1.024	4.961	1.464	4.102	2.350	5.315	1.684
48hrs	5.942	3.178	2.432	0.600	2.980	0.868	2.252	0.954	2.967	1.473	3.432	1.330	3.006	0.879	3.048	0.674	3.421	1.159	2.867	1.319	3.324	1.145
3 días	4.318	2.353	1.868	0.598	2.235	0.535	1.689	0.793	2.377	1.167	2.596	1.069	2.344	0.717	2.581	0.507	2.585	0.941	2.259	0.984	2.576	0.981
4 días	3.424	1.760	1.562	0.498	1.892	0.386	1.366	0.667	1.895	0.962	2.077	0.869	1.907	0.543	2.255	0.390	2.069	0.775	1.874	0.831	2.195	0.897
5 días	2.909	1.324	1.337	0.443	1.590	0.331	1.176	0.580	1.582	0.816	1.787	0.701	1.657	0.436	2.001	0.354	1.748	0.657	1.617	0.715	1.873	0.849
6 días	2.524	1.075	1.140	0.392	1.428	0.283	1.066	0.535	1.432	0.715	1.577	0.591	1.513	0.366	1.819	0.316	1.536	0.566	1.439	0.610	1.638	0.733
7 días	2.274	0.943	1.020	0.331	1.283	0.246	0.961	0.475	1.310	0.616	1.425	0.518	1.373	0.322	1.679	0.291	1.382	0.494	1.290	0.525	1.459	0.638
8 días	2.058	0.853	0.944	0.316	1.176	0.226	0.861	0.438	1.199	0.563	1.299	0.467	1.248	0.293	1.582	0.217	1.292	0.442	1.185	0.473	1.294	0.582
9 días	1.890	0.758	0.870	0.299	1.068	0.212	0.793	0.394	1.120	0.526	1.199	0.430	1.142	0.268	1.480	0.192	1.189	0.408	1.096	0.436	1.177	0.546
10 días	1.780	0.724	0.804	0.265	0.982	0.213	0.742	0.369	1.033	0.516	1.120	0.404	1.065	0.263	1.407	0.182	1.111	0.365	1.045	0.418	1.098	0.504
14 días	1.503	0.567	0.693	0.239	0.858	0.293	0.616	0.293	0.867	0.390	0.902	0.317	0.878	0.234	1.128	0.160	0.903	0.295	0.883	0.341	0.930	0.383
21 días	1.168	0.425	0.533	0.157	0.655	0.217	0.489	0.247	0.708	0.297	0.755	0.265	0.708	0.152	1.004	0.059	0.724	0.219	0.707	0.239	0.725	0.292
28 días	1.036	0.319	0.444	0.120	0.598	0.162	0.425	0.202	0.616	0.257	0.653	0.220	0.627	0.122	0.851	0.075	0.622	0.181	0.615	0.192	0.652	0.245

1.5.5 Ajuste del modelo para el cálculo de la intensidad de la lluvia con un periodo de retorno y una duración cualesquiera

En la Tabla 1.4 se pueden observar los parámetros característicos para cada estación meteorológica de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, los cuales se obtuvieron a partir de la ecuación (8) y mediante regresiones múltiples.

Tabla 1.4. Parámetros del modelo propuesto por Koutsoyiannis *et al.* (1998) para las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia, de las 11 estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

Estación	λ	ψ	θ	η
Cangrejera	38.06	2.680	1.9494	0.7033
Km. 21	14.76	2.893	0.0000	0.9584
Poblado C-11	25.29	1.442	0.0000	0.8105
Poblado C-32	10.48	2.466	0.0000	0.6208
EW Km 21	16.38	1.941	0.0000	0.6298
Comalcalco	20.89	1.958	0.0299	0.6972
Encrucijada	16.18	2.163	0.0000	0.6998
La Venta	17.65	1.358	0.0000	0.7297
Paraíso 2	20.96	1.956	0.0218	0.7093
Poblado C-16	23.38	1.228	0.0000	0.6957
Poblado C-22	12.30	3.263	0.0000	0.6163

Sustituyendo los parámetros característicos (λ , ψ , θ , y η) en la ecuación (8) se calcularon las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para cualquier duración y periodo de retorno. Con base en los resultados obtenidos el valor del parámetro λ más alto los presentan las estaciones meteorológicas Cangrejera y C-11 debido a que en estos sitios se manifiestan precipitaciones más intensas.

1.5.6 Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) de la precipitación pluvial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

En la Figura 1.5 se ilustran las curvas IDF generadas para tres estaciones meteorológicas, las cuales fueron calculadas usando la ecuación (8) en las que se incluyen los valores puntuales determinados mediante la función Gumbel. En general, el modelo describe bastante bien los valores puntuales de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, de tal manera que representa fielmente el comportamiento de los mismos para valores de 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años.

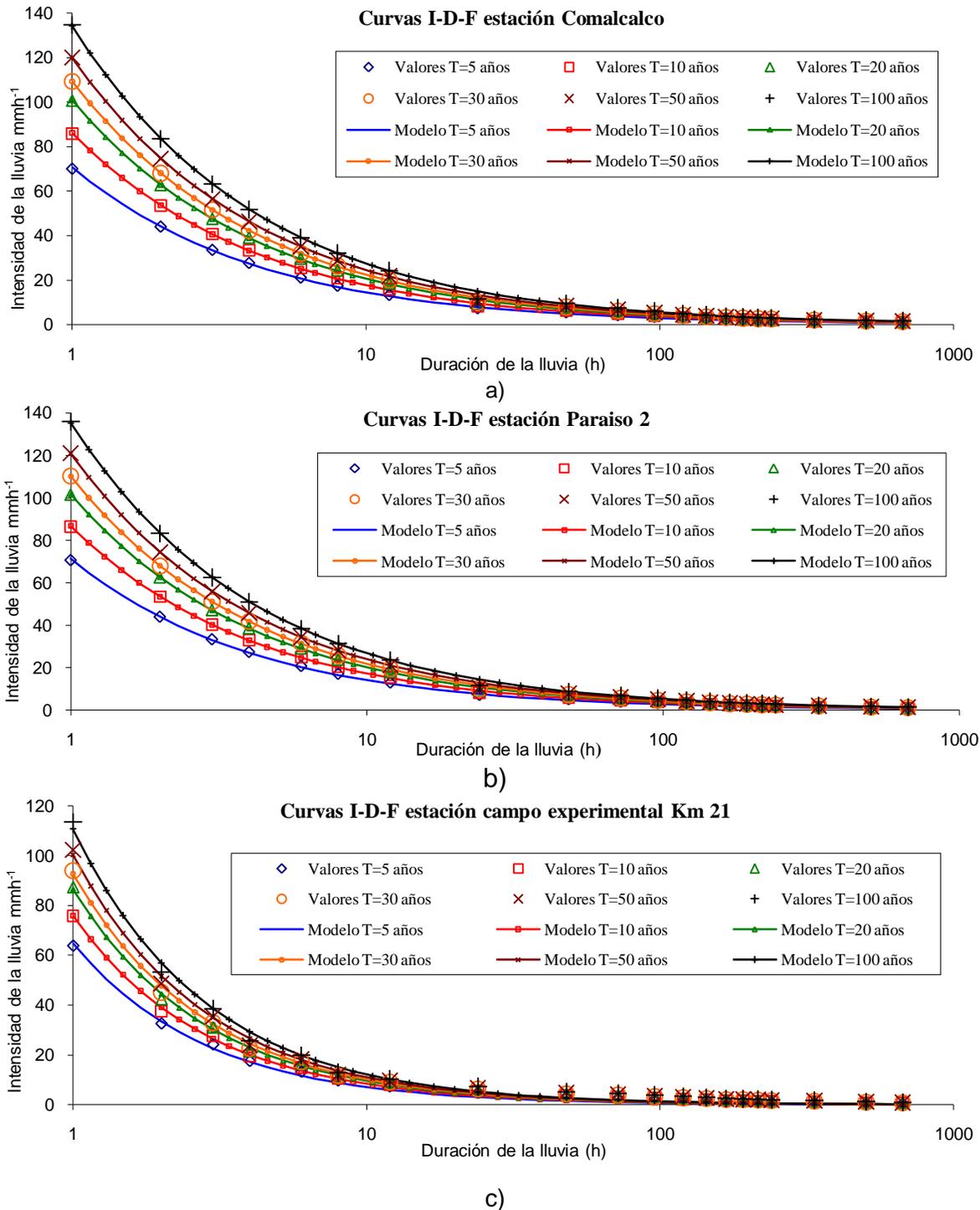


Figura 1.5. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de las estaciones meteorológicas a) Comalcalco, b) Paraíso 2 y c) Colegio de Posgraduados km.21.

De esta manera, el uso de las curvas de IDF obtenidas permite pronosticar la intensidad de lluvia para un determinado número de años de periodo de retorno y de duración de lluvia, en las estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas-

Comalcalco, o bien en sitios muy próximos a ellas. De tal forma que, en la estación km 21, con cinco años de periodo de retorno y con una duración de la lluvia de 10 horas se esperaría una intensidad de lluvia de 7 mm h^{-1} y una acumulación de 70 mm durante el evento de lluvia, alcanzando por lo tanto una lámina de 7 cm. En contraste con la estación de Comalcalco que para el mismo período de retorno y la misma duración de lluvia, se esperaría una lámina de agua de 14.5 cm. De igual forma, en el resto de estaciones meteorológicas se podría calcular la cantidad de láminas de agua esperadas para diferentes períodos de retorno y diferentes duraciones de eventos de lluvia.

Ulloa y Oropeza (1994), en un estudio realizado sobre las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia en la cuenca del río Tonalá y parte de la cuenca Cárdenas-Comalcalco, reportan valores inferiores a los obtenidos en el presente estudio en algunas estaciones meteorológicas como son: 144 mm, 200 mm, 199 mm, etc. de las precipitaciones máximas para una lluvia de 24 h de duración y con 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años de periodo de retorno. Lo anterior se debe a que en los años de 1995 y 1999, posteriores al estudio realizado por estos autores, se tuvieron precipitaciones máximas en la cuenca Cárdenas-Comalcalco provocando serios problemas de inundación.

Las curvas IDF obtenidas en el presente estudio son herramientas que tienen una amplia aplicación en obras de ingeniería. Koutsoyiannis *et al.* (1998), sugieren su uso para la planeación, diseño y operación de proyectos hidráulicos, así como para la protección de obras de ingeniería contra avenidas máximas. Smith (1993) y Campos (2005), refieren su uso en el diseño de obras que controlan los escurrimientos generados por las tormentas, incluyendo sistemas de alcantarillado municipales, vertederos, puentes y sistemas de drenaje agrícola. Willems (2000), menciona que la relación IDF de precipitaciones extremas se utiliza para estimar las avenidas de diseño en los sitios donde se construirán obras hidráulicas. Quej (2007), utilizó las curvas de IDF para estimar las necesidades generales de drenaje superficial en el estado de Campeche.

1.5.7 Isoyetas de lluvias máximas (extremas) para diferentes duraciones y periodos de retorno en el área de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

En las Figuras 1.6 a la 1.8 se presentan los mapas de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia para distintas precipitaciones y tiempos de duración, y con diferentes períodos de retorno en años. Estos mapas permiten observar la distribución espacial de las precipitaciones extremas en la Cuenca.

En el caso de la Figura 1.6 se muestra el plano en formato ráster de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia para una precipitación de 48 horas de duración con un período de retorno de 100 años, es decir, con una probabilidad de ocurrencia en un año dado de 1/100 (en promedio se presentará una lluvia con esas características una vez cada cien años).

Con base en la interpolación empleada se calcularon valores de intensidad máxima de lluvia para cada una de las celdas en las que se subdivide el área total de la Cuenca, de tal forma que se pudieron realizar cálculos con estos valores a fin de estimar el volumen de agua de lluvia. Resultado de ello, las zonas con mayor precipitación lo conforman el municipio de Comalcalco y una parte del municipio de Huimanguillo, con una intensidad de la lluvia de 9-10 mm h⁻¹ y alcanzando una precipitación acumulada en 48 horas de 480 mm, este valor es equivalente a una cuarta parte de la precipitación promedio anual que es de 2000 mm (INEGI, 2001).

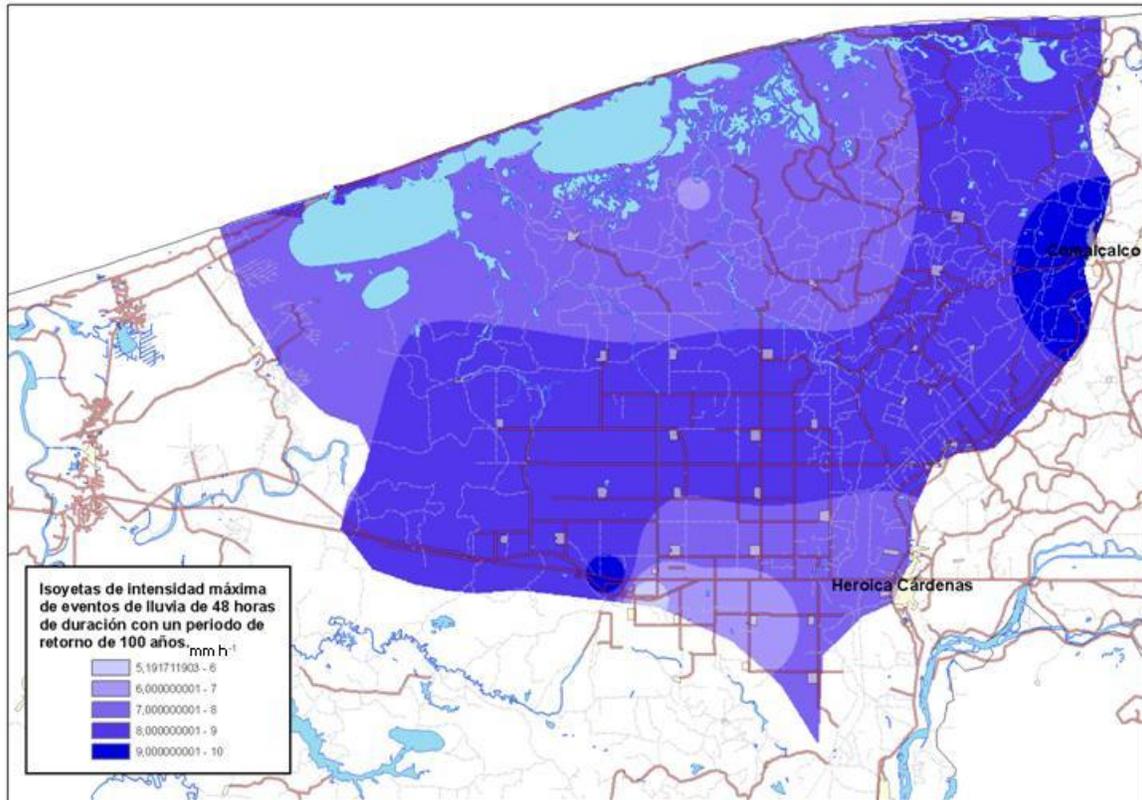


Figura 1.6. Mapa de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 100 años para la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

En la Figura 1.7 se incluyen las isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 24 horas de duración con un período de retorno de 30 años, es decir, con una probabilidad de ocurrencia en un año dado de $1/30$ (que en promedio se presentará una lluvia con esas características una vez cada 30 años).

En este caso, la zona con mayor intensidad de precipitación ($11-12 \text{ mm h}^{-1}$) corresponde a los poblados del municipio de Cárdenas, alcanzando una precipitación acumulada de 288 mm.

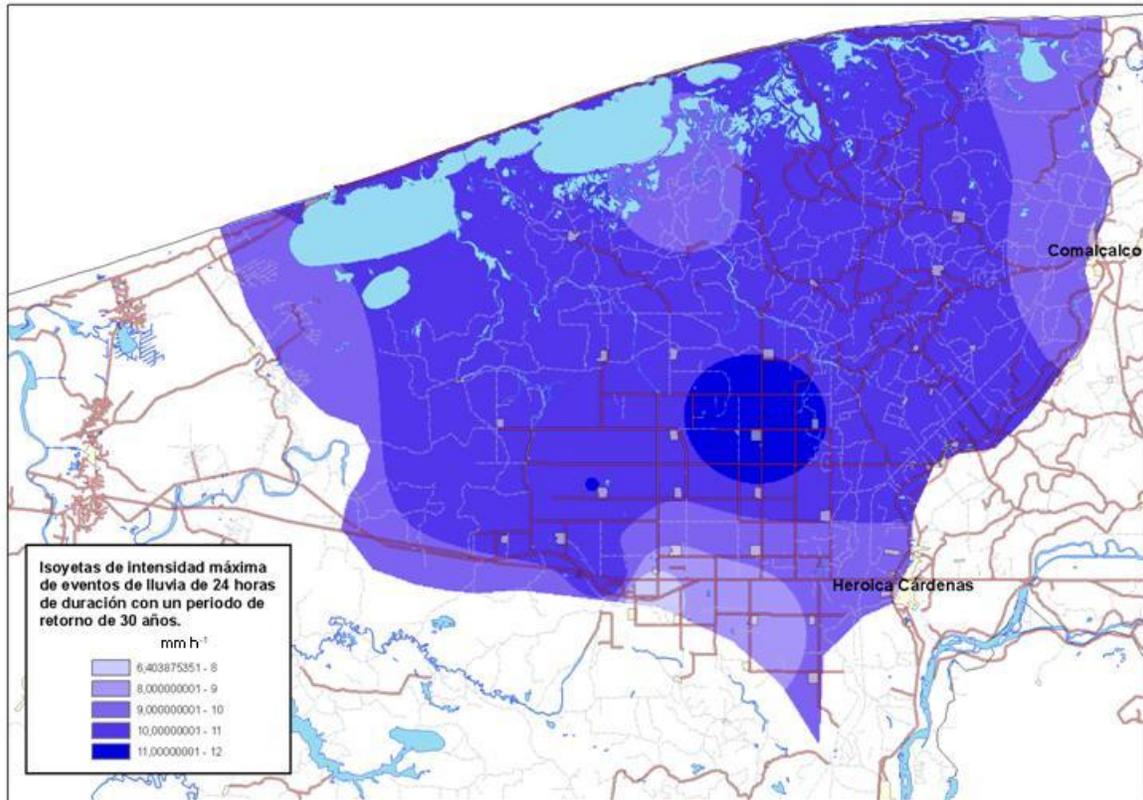


Figura 1.7. Mapa de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 30 años, en el área de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

En la Figura 1.8 se representa las isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un período de retorno de 5 años, es decir, con una probabilidad de ocurrencia en un año dado de 1/5 (en promedio se presentará una lluvia con esas características una vez cada 5 años), como se puede observar, la zona con mayor intensidad de lluvia (5.5 mm h^{-1}), corresponde a los municipios de Comalcalco, Paraíso y parte de Cárdenas, alcanzando una precipitación acumulada de 264 mm.

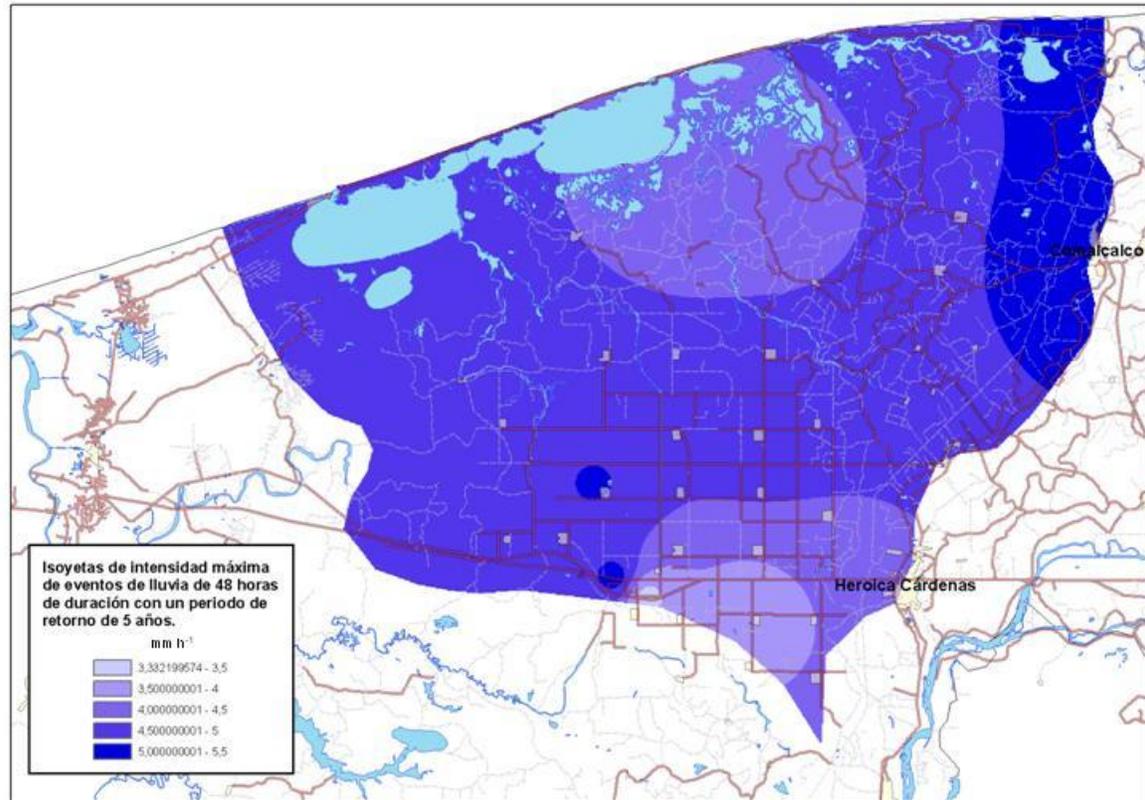


Figura 1.8. Mapa de isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 5 años, en el área de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

La distribución espacial de las precipitaciones extremas es útil para conocer las zonas con riesgo a inundaciones, además sirve para la planeación de proyectos hidráulicos, redes de drenaje, alcantarillados, puentes, sistema de drenaje agrícola, erosión de suelos, de esta manera, teniendo un buen desalojo del agua precipitado disminuyen la zonas con riesgo a inundaciones (Anaya *et al.*, 1977; Vázquez *et al.*, 1987; Koutsoyiannis *et al.*, 1998; Beguería y Lorente 1999; Willems, 2000; y Quej 2007)

1.6 CONCLUSIONES

Las funciones de distribución de probabilidades, Normal, Log normal, Gamma y Gumbel evaluadas en esta investigación, así como el empleo de la prueba de bondad de ajuste con el test Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, permitió demostrar que los datos de las 11 estaciones meteorológicas pertenecientes a la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, la función de distribución Gumbel, fue la que presentó el mejor coeficiente de determinación de 0.97.

Las intensidades máximas de eventos de lluvia con diferentes duraciones y períodos de retorno en cada estación meteorológica, pueden ser estimadas mediante el modelo obtenido a partir de la FDP Gumbel. Mientras que el modelo ajustado al propuesto por Koutsoyiannis *et al.* (1998), permite determinar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia para cualquier duración.

Las zonas con eventos de lluvia de mayor intensidad (5.5 mmh^{-1}) para duraciones de 48 h y con 5 años de periodo de retorno, se ubican en los municipios de Comalcalco y Paraíso.

Las zonas con eventos de lluvia de mayor intensidad (11 mm h^{-1}) para una duración de la lluvia de 48 h y con 100 años de periodo de retorno, se presentan en el municipio de Comalcalco y parte del municipio de Huimanguillo.

La información generada relativa a las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, para las 11 estaciones meteorológicas de la Cuenca Cárdenas Comalcalco, permitirá analizar otros eventos de lluvia con diferentes duraciones y períodos de retorno.

1.7 BIBLIOGRAFIA

- Álvarez M., J. Puertas, B. Soto y F. Díaz, 1999. Análisis regional de las precipitaciones máximas en Galicia mediante el método del índice de avenidas. *Ingeniería del agua* 6, 283-290.
- Anaya G. M., M. M. Martínez, C.A. Trueba, S. B. Figueroa y M. O. Fernández, 1977. Manual de conservación de suelo y de agua. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 577 pp.
- Arnáiz M., 1976. Componentes primarios del ciclo hidrológico. En Custodio, E. y Llamas, M.R. (ed.). *Hidrología subterránea*. Editorial Omega. Barcelona. 283-350.
- Beguiria S. y A. Lorente, 1999. Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés occidental. *Geographicalia* 37, 17-36.
- Box G. E. P. y G. Jenkins, 1970. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. San Francisco. Holden Day. 553 pp.
- Brooks N. K., F. P. Folliott, M. H. Gregersen y L. J. Thames, 1991. Iowa State University. *Hidrology and the Management of Watersheds*. 392 pp.
- Campos A. D., 2005. *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. Ed. Trillas. México D.F. 320 pp.
- Campos A. D., 2008. Ajuste Regional de la Distribución GVE en 34 Estaciones Pluviométricas de la Zona Huasteca de San Luis Potosí, México. *Agrociencia*, 42, 57-70.
- Chow T., D. Maidment y L. Mays, 1994. *Hidrología Aplicada*. Ed. Mc Graw-Hill. 584 pp.
- Cid L., C. Mora y M. Valenzuela, 1990. *Estadística matemática. Probabilidades e Inferencia estadística*. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de matemáticas. 319 pp.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2005. *Productos climatológicos*. Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/>. Consultado diciembre 2008.
- Escudero A. B., 2007. *Caracterización de la Sequia en el Estado de Tabasco, México*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 126 pp.
- ESRI. (Environmental System Research Institute), 2004. *ArcGIS 9. Getting Started With ArcGIS*. Sistema de información. USA. 265 pp.
- García E., 2003. Distribución de la precipitación en la república mexicana. *Investigaciones geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 50, 67-76.

- García E., 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Num. 6. México D.F. 90 pp.
- Gumbel E. J., 1958. Statistics of Extremes. Columbia University Press, New York, USA.
- Hazen A., 1914. Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply. Transactions of the American Society of Civil Engineers. 77, 1539 -1669 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2008. Anuario estadístico Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco. México. 597pp.
- INEGI. 2001. Síntesis de información Geográfica del estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- Infante G. S. y G. L. Zárate, 1990. Métodos Estadísticos: Un enfoque Interdisciplinario. Editorial Trillas. México, D.F. 610 pp.
- Kite G., 1977. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins, Colorado. Water Resources Publications. 224 pp.
- Koutsoyiannis D., 2004. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall, 1: Theoretical investigation. Hydrol. Sci. J. 49(4), 575–590.
- Koutsoyiannis D. and G. Baloutsos, 2000. Analysis of a Long Record of Annual Maximum Rainfall in Athens, Greece, and Design Rainfall Inferences. Natural Hazards, 29, 29-48.
- Koutsoyiannis D., D. Kozonis and A. Manetas, 1998. A Mathematical Framework for Studying Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships. J. Hydrology, 206, 118-135.
- León Z. S. A., 1976. Bondad de ajuste de algunas funciones probabilísticas a la distribución de la lluvia. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad en Riego y Drenaje. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. México. 104 pp.
- León Z. S. y V. O. Palacios, 1977. Bondad de ajuste de algunas funciones probabilísticas a la distribución de lluvia. Agrociencia, 27, 51-6.
- Linsley R., M. Kohler y J. Paulhus, 1988. Hidrología para Ingenieros. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. Latinoamericana. D.F. México. 386 pp.
- Lugo H. J. y C. Córdova, 1992. Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 25, 25-63.

- Maderey R. L. y A. Jiménez, 2005. Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía. UNAM, 1, 100 pp.
- Marquardt D. W., 1963. An Algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. J. Soc. Indust. Appl. Math. 11(2) 431-441.
- Massey F. J., 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. J. Amer. Statist. Ass. 46, 70 pp.
- Méndez G. J.; C. J. Navarro y O. V. González, 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 65, 38-55.
- Mintegui J. y F. López, 1990. La ordenación Agrohídrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria Gasteiz. España. 306 pp.
- MOPT, 1992. Guía para la elaboración de estudio del medio físico. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. 809 pp.
- Peralta H. A.R., R. C. Balling y L. R. Barba, 2009. Comparative analysis of indices of extreme rainfall events: Variations and trends from southern México. *Atmósfera*. 22(2), 219-228.
- Pereyra D.D.; S.J. A. Pérez y R. L. Gómez, 2004a. Ecuaciones que estiman las curvas intensidad-duración-período de retorno de la lluvia. *GEOS*, 24 (1), 46-56.
- Pereyra D.D., M. Ubando y B. Natividad, 2004b. Influencia de la Niña y el Niño sobre la Precipitación en el la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 20 (39), 33-38 pp.
- Pizarro R., A. Abarza y J. Flores, 2001. Determinación de las curvas intensidad-duración-frecuencia IDF para 6 estaciones pluviográficas de la VII región del Maule, Chile. *Revista virtual de la UNESCO*. 48 pp.
- Quej C.V., 2007. Análisis pluviométrico y determinación de las necesidades generales de drenaje superficial en el estado de Campeche. Tesis de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical. Campus Campeche del Colegio de Postgraduados. San Francisco de Campeche, Campeche, México. 76 pp.
- Rodríguez, C. A., H. M. D. Encinas, D. Frías y S. Nieto, 2000. Impacto de índices climáticos en las variaciones de precipitación acumulada en los meses febrero, marzo y abril.

- Sáenz C. J.A., 2009. Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los periodos de retorno mediante R. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén. Informe Técnico para Imca. Ingenieros y arquitectos, S. A. 1- 12 pp.
- Salas R. L. y Y. A. Fernández, 2006. Nueva metodología para el análisis de la variable intensidad máxima anual de precipitación. *Ecología*, 20, 435-444.
- Salas M. A. y E.M. Jiménez, 2007. Inundaciones, serie fascículos s/n. CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastre). 53 pp.
- Shan Y. P., Y. T. Chang y L. C. Chin-Sheng, 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *J. Hydrology*, 295, 108-123.
- Shao S., 1970. Estadística para economistas y administradores de empresas. Editorial Herrero Hermanos, S.A. México. 786 pp.
- Smith J.A., 1993. Handbook of Hydrology, Precipitation, McGraw-Hill, Inc. primera edición, USA. Capítulo III.1-47 pp.
- Ulloa R.N. J y M. J. L. Oropeza, 1994. Estudio hidrológico de la Cuenca del río Tonalá Caracterización física y análisis estadístico de las precipitaciones máximas. Serie ingeniería agrícola, 1, 15-18.
- Vázquez R., A. Redaño y J. Lorente, 1987. Curvas de IDF en Barcelona-Fabra. *Revista de obras publicas*, 99-102.
- Velázquez V. G., 2001. Las inundaciones en Tabasco. Ensayo monográfico. Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco, México. 188 pp.
- Weisstein E. W., 1999. Gamma Distribution. From MathWorld-A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/GammaDistribution.html>. Consultado marzo 2010.
- Willems P., 2000. Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two season and two storm types. *J. of Hydrology*. 233, 189-205.
- William W. S., 1989. Time Series Analysis. Univariate and Multivariate Methods. Addison-Wesley Publishing Company, 207-275.

CAPÍTULO II

MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN PARA ESTIMAR ZONAS CON RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO

MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN PARA ESTIMAR ZONAS CON RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

2.1 RESUMEN

La Cuenca Cárdenas-Comalcalco es afectada constantemente por inundaciones que generan daños ambientales, humanos y económicos; algunos de ellos se podrían minimizar o prevenir mediante la identificación de las zonas de mayor riesgo a este fenómeno. Esto fue el motivo por lo cual se determinó el escurrimiento superficial del agua en la Cuenca, asociado al Modelo Digital de Elevación (MDE), en presencia de intensidades máximas de la precipitación pluvial y periodos de retorno. Para alimentar al modelo se realizaron estimaciones de las precipitaciones extremas, obtención del MDE, uso de modelos hidrológicos, llenado de depresiones, dirección y acumulación del flujo, cálculo del escurrimiento superficial del agua. Los resultados obtenidos a través del MDE se compararon con las áreas afectadas por la inundación en octubre y noviembre del 2007. Las mayores áreas con riesgo de inundación se localizan al norte y noreste de la Cuenca, rodeando a las Lagunas: Arrastradero, Paso del Ostión, El Cocal, Redonda y parcialmente la del Carmen. Los centros de población con más riesgo a inundación son Villa Carlos Green, Villa Tecolutilla, el Guayo, el Milagro y el Golpe.

Palabras clave: Escurrimiento superficial, Modelo Digital de Elevación, Riesgo, Inundaciones.

DIGITAL ELEVATION MODEL FOR ESTIMATING FLOOD RISK AREAS IN THE CARDENAS-COMALCALCO BASIN

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

2.2 ABSTRACT

Cárdenas-Comalcalco basin is constantly affected by floods that generate environmental, human and financial damage; some of them could be minimized or prevented through identifying high risk areas sensible to these phenomena. The former situation was the background to estimate the water runoff associated with the Digital Elevation Model (DEM) in the presence of maximum intensities of rainfall and return periods. To run the model, estimations of extreme rainfall and the MDE were obtained, using hydrological models, filling depressions, defining flow direction and accumulation and calculation of surface runoff water. The results obtained through the MDE were compared with those affected areas by flooding in October and November 2007. The greatest flood risk areas are located north and northeast of the basin surrounding the lakes: Arrastradero, Paso de Ostión, the Cocal, and partially of the Carmen. Localities and villages with higher risk of flooding are Villa Carlos Green, Villa Tecolutilla, the Retiro, the Guayo, the Milagro and the Golpe.

Keywords: Runoff, Digital Elevación Model, Flood risk.

2.3 INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son uno de los desastres naturales que produce el mayor número de víctimas y daños en todo el mundo (Douben, 2006; Salas y Jiménez, 2007). El riesgo a inundaciones está íntimamente relacionado con el incremento de eventos meteorológicos, huracanes, actividades antropogénicas y con las altas intensidades de la precipitación pluvial que arrastran grandes cantidades de materiales azolvando ríos, arroyos y drenes que sirven para desalojar el agua precipitada en la cuenca (Ayala y Olcina, 2002; Horcajada *et al.*, 2000; Salas y Jiménez, 2007).

La Cuenca Cárdenas-Comalcalco ha sido afectada constantemente en los últimos años por huracanes y tormentas tropicales como el Opal, Roxanne, Isidoro, Brenda y Stand, la depresión tropical 11 y los frentes fríos cuatro y cinco ocurridos a finales de octubre y principios de noviembre en el año 2007, los cuales ocasionaron serios problemas de inundación en la zona (Velázquez, 2001; ERN, 2007; Salas y Jiménez, 2007; SENADO, 2008). Esta Cuenca forma parte de una de las zonas más lluviosas del país con más 2000 mm anuales (INEGI, 2001 y Peralta *et al.*, 2009); el escurrimiento de las altas precipitaciones de la región Norte del estado de Chiapas, mayores de 3000 mm anuales, el paso de huracanes y tormentas tropicales en el Golfo de México (García, 2003), así como la falta de desalojo eficaz del agua precipitada, son factores que incrementan los riesgos a inundación en la Cuenca.

Una forma de conocer las zonas con posibilidad de inundarse en una Cuenca hidrológica es mediante la determinación del escurrimiento superficial del agua precipitada, el cual permite generar mapas de riesgos por inundaciones; Pujadas y Diez (2002) sugieren la generación de mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad, riesgos por daños y de áreas inundables.

El Mapa de riesgos por inundaciones es la representación gráfica que tiene por objetivo la clasificación de áreas potenciales de zonas inundables (Ribera, 2004; Chaparro y Renard, 2005). Es una herramienta de la planificación territorial que permite generar la valoración de las afectaciones, daños y de diversos escenarios de prevención en caso

de emergencia ante la ocurrencia de las inundaciones (Ribera, 2004; Chaparro y Renard, 2005; Chastagnaret y Gil, 2006; Salas y Jiménez, 2007).

Para la elaboración de los mapas de riesgo por inundaciones se han considerado tres métodos a) Método Histórico, que consiste en cartografiar las áreas inundables en episodios de las inundaciones pasadas, tomando en cuenta las marcas del nivel de las inundaciones ya registradas y caudales históricos; b) Método geomorfológico que considera los parámetros morfométricos de la Cuenca, red de drenaje, topografía de la cuenca y las llanuras de inundación; y c) Método hidrológico que delimita las áreas potencialmente inundables a partir de los registros pluviométricos, mediciones de los caudales y del comportamiento físico del agua en función de la morfología del terreno; con él es posible además calcular el periodo de retorno (Diez, 2002 y 2008; Lastra *et al.*, 2008).

Para determinar la precisión de los mapas de riesgo por inundación en una Cuenca hidrológica, es necesario considerar factores climáticos que afectan el escurrimiento superficial del agua, intensidad, duración y distribución espacial de la precipitación, antecedentes de la precipitación, evaporación, infiltración, y humedad del suelo, así como los factores de temperatura, humedad relativa, y morfométricos, que incluyen la superficie, forma, pendiente, altitud, uso y cubierta de suelo, tipo de suelo, geología y topográficos (Kraijenhoff y Van, 1977; Linsley *et al.*, 1988; Maderey y Jiménez, 2005).

El escurrimiento superficial del agua precipitada en una Cuenca hidrológica, se define como la parte de la precipitación que fluye sobre la superficie hacia cuerpos de aguas mayores, como son los arroyos y ríos, para desembocar en el mar. Sin embargo, antes de que el escurrimiento ocurra, la lluvia debe satisfacer las demandas inmediatas de infiltración, evaporación, intercepción, almacenamiento y/o detención superficial en pozos, zanjas y depresiones de la superficie del terreno (Linsley *et al.*, 1988; Chow *et al.*, 1994; NRCS, 2002; Maderey y Jiménez, 2005). La proporción de estas demandas dependerá del relieve y los factores climáticos y edáficos de la zona, destacando en estos últimos el contenido de humedad en el perfil del suelo (López, 1998). En otros casos, para el cálculo del escurrimiento en una Cuenca hidrológica es necesario

recurrir a Modelos Digital de Elevación (MDE) (Belmonte y Núñez, 2006), los cuales son una estructura de datos numérico que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno, donde se describen la forma del paisaje y la topografía del suelo (Felicísimo, 1994; Fernández y Geller, 2004; Salgado, 2004; Niño, 2008; Martínez y Campos, 2010).

Es evidente que la relación entre la precipitación pluvial y el escurrimiento es muy compleja, depende de las características físicas de la Cuenca, de la distribución espacial y el tiempo (Linsley *et al.*, 1988; Ponce, 1989). Por ello, dada la complejidad de éste fenómeno, se han desarrollado diversos métodos para relacionar la lluvia con el escurrimiento, entre ellos, los más utilizados han sido: a) El método Número de Curvas desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los E.E.UU. (NRCS, 2002), que permite demostrar la relación entre el escurrimiento de una Cuenca y la precipitación; y b) el método HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modeling System) que utiliza una distribución espacial en divisiones de la Cuenca en subcuencas e integra diferentes métodos hidrológicos y por cambios de uso de suelo para el cálculo del escurrimiento (Williams and Berndt, 1977; Fuentes *et al.*, 1981; Domínguez *et al.*, 1999; Woodward *et al.*, 1999; Hawkins *et al.*, 2001; Aparicio, 2002; Al-Abed *et al.*, 2005; Kurczyn *et al.*, 2007).

Por otra parte, en la determinación de los mapas de riesgo por inundaciones se debe considerar la relación de los Modelos Hidrológicos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que facilitan tanto el manejo de los datos espaciales como el procesamiento de datos (Treviño y Morad, 2001; Mendoza *et al.*, 2002). Una de las herramientas que permite evaluar las zonas de riesgo a inundaciones es Arc Hydro, que consta de un modelo de datos geoespacial y temporal para información hidrológica y opera dentro del software ArcGIS (Maidment, 2002; ESRI, 2007). Los SIG o GIS por sus siglas en inglés (Geographic Information System) facilitan el manejo de la información generada durante el proceso de caracterización y evaluación, dado que esta etapa requiere de suficiente tiempo para su desarrollo, principalmente por el gran volumen de datos que eventualmente pueden generarse (Aral y Babar, 2000). Algunos autores definen a los SIG como una colección organizada de hardware, software y

datos geográficos, diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada (Gutiérrez y Gould, 2000; ESRI, 2006).

Por lo anteriormente mencionado, y considerando que la cuenca Cárdenas–Comalcalco es afectada constantemente por inundaciones se considera necesario la generación de mapas de riesgos por inundación. De esta manera, el propósito de la presente investigación consistió en determinar el escurrimiento superficial del agua asociado al Modelo Digital de Elevación (MDE), en presencia de intensidades máximas de la precipitación pluvial y periodo de retorno, para identificar las zonas con riesgo a inundación, bajo la hipótesis de que el escurrimiento superficial del agua ocasionado por intensidades máximas de precipitación puede provocar inundaciones en zonas bajas.

2. 4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Área de estudio

La zona de estudio corresponde a la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, cuyos suelos predominantes, según Palma y Triano (2002), son los Gleysoles, Histosoles y Solonchaks, en la llanura de inundación; ésta se caracteriza como una superficie inundada e inundable, cuya fisiografía está dada por un relieve cóncavo y un drenaje deficiente, ubicada al norte y noroeste en las zonas más bajas de la Cuenca. También se localizan suelos Vertisoles, Fluvisoles y Cambisoles, que corresponden a un área plana de origen aluvial con sedimentos arcillosos y limosos profundos que fueron acumulados por ríos y arroyos. Las características de la Cuenca se describen con mayor detalle en la Figura 1.1 en la sección 1.4.1 del Capítulo I.

2.4.2 Estimación de las precipitaciones extremas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

El análisis de las precipitaciones extremas se consideró el resultado de las isoyetas de intensidades máximas de precipitación pluvial con una duración de 48 h y 100 años de periodo de retorno reportados por González (González *et al.*, 2010)

2.4.3 Obtención del Modelo Digital de Elevación (MDE)

Para la elaboración del MDE de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, se utilizaron los datos del MDE del INEGI (INEGI, 2009) y de la NASA (NASA, 2009), así como fotografías aéreas escala 1:40 000 analizadas mediante el uso de fotogrametría digital. Los MDE de la NASA y del INEGI tuvieron una resolución espacial de 90 y 60 metros, respectivamente, mostrando el MDE de la NASA una mejor calidad en cuanto a detalle fisiográfico.

2.4.4 Uso del Modelo Hidrológico

El mapa de las áreas susceptibles a inundaciones se generó mediante el procedimiento descrito por Murillo (2002), Pusineri *et al.* (2004), McKinney and Czekanski (2006) y Gülay *et al.* (2010).

2.4.5 Llenado de depresiones

Para corregir los errores de asignación de valores a la elevación de algunas celdas durante la construcción del MDE, se utilizó el módulo *r.fill.fir* del software GRASS que permite localizar celdas individuales con datos de elevación erróneos y llenarlas para evitar depresiones anormales y además que intuye si la elevación de la celda individual analizada es correcta o no en el modelo digital de elevación (ver Figura 2.1.)

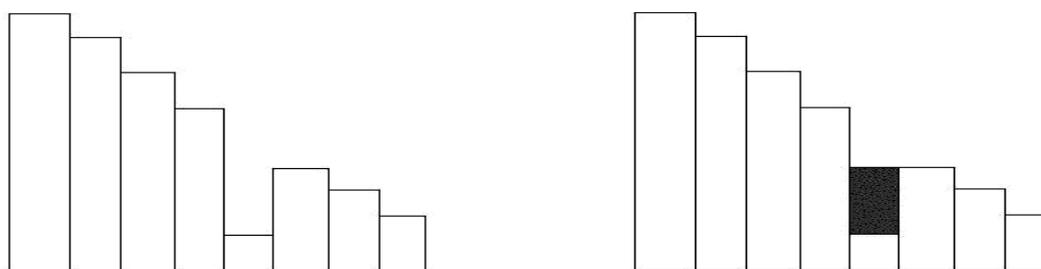


Figura 2.1. Perfil de un Modelo Digital de Elevación antes y después de llenar una depresión.

2.4.6 Direcciones y acumulación del flujo superficial de agua

Se determinó la dirección del flujo superficial que tomaría una gota de agua a su paso por cada celda, mediante el uso del comando *Flow direction* del Software Arc Hydro. En dicho comando se definió que el agua puede fluir de una celda hacia otra en ocho posibles direcciones, las cuales están determinadas por la pendiente superficial del terreno (Figura 2.2). Por consiguiente, cada una de las celdas del modelo digital de

elevación adquiere uno de los ocho valores posibles (o códigos) que representan la dirección del flujo para la celda analizada, y se genera un plano de direcciones de flujo, también en formato raster, en el que los colores indican el valor del código de dirección de cada una de las celdas del MDE.

La dirección del flujo se utilizó en cada celda para crear el plano de acumulación del flujo mediante el uso del comando *Flow accumulation* del Software Arc Hydro (Figura 2.3). A cada celda se le asignó un valor igual al número de celdas que fluyen hacia

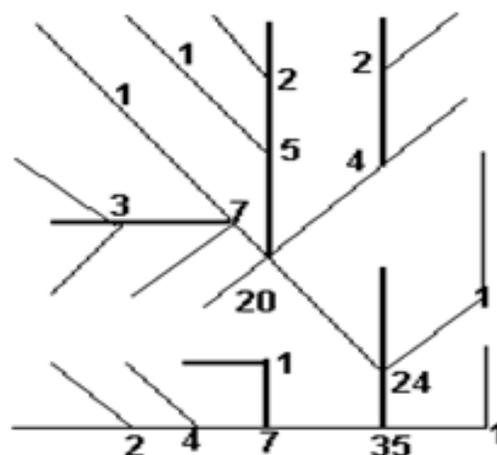
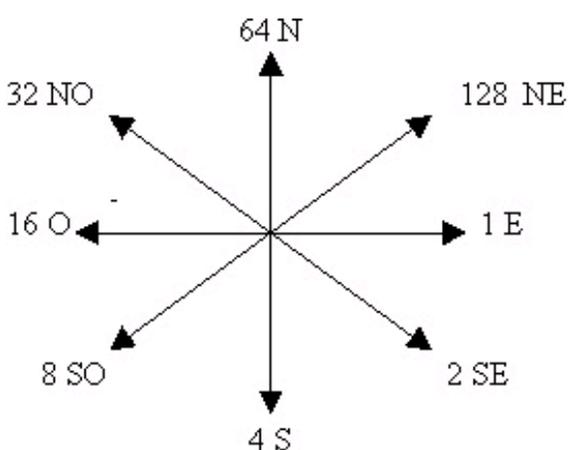


Figura 2.2. Dirección de flujo superficial del agua.

Figura 2.3. Acumulación de flujo superficial del agua

2.4.7 Microcuenca y redes de drenaje superficial

Una vez determinada la dirección y acumulación de flujo superficial del agua, el programa Arc Hydro permitió delimitar las microcuencas y las redes de escurrimiento superficial. Para la delimitación de las Cuenca se utilizó el comando *Watershed*, al que se asigna un valor para establecer el tamaño y el número de microcuencas que serán calculadas. El programa identifica las celdas cuyo flujo superficial converge en un solo punto (la desembocadura en caso de Cuencas abiertas, o el centro de la Cuenca si ésta es endorreica), lo que permite establecer el parte aguas de la Cuenca (o límite de la Cuenca) y el área de las Cuencas que se forman como resultado del relieve.

La red de drenaje superficial de agua en las Cuencas se construyó empleando el resultado obtenido de la aplicación del comando *Flow Accumulation* y la instrucción

Stream Definition. En este caso, también se le asignó un valor para establecer el nivel de detalle con el que será construida la red de drenaje superficial.

2.4.8 Cálculo del volumen de escurrimiento superficial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

A partir de las isoyetas en formato raster de la intensidad máxima de la precipitación pluvial, se procedió a calcular el volumen de agua precipitado en cada celda de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, y también se estimó el volumen de escurrimiento superficial. Para ello se realizaron operaciones algebraicas con los valores asignados (de intensidad de lluvia, de elevación, o cualquier otro) a cada celda de la cueca.

Para el cálculo del escurrimiento superficial se requirió del valor del coeficiente de escurrimiento asociado a cada celda, que representa la fracción del volumen de agua precipitado que escurre por la superficie de una celda hacia otra celda vecina. Este valor del coeficiente de escurrimiento depende de muchos factores, entre los que se pueden citar: la textura, profundidad, estructura, grado de compactación, pendiente, cobertura vegetal y uso del suelo, así como de la intensidad y duración de la lluvia que se presente en su superficie.

En este estudio se utilizaron los valores del coeficiente de escurrimiento en función de la textura, pendiente y uso del suelo (Tabla 2.1) y la expresión matemática (Ecuación 1) reportada por Treviño *et al.* (2002).

$$Ves_i = \frac{I_i * d * A_c * Ce}{1000} \quad (1)$$

Donde: Ves_i = Volumen de escurrimiento superficial en la i -ésima celda (m^3); I_i = Intensidad de la lluvia en la i -ésima celda (mm/h); d = Duración de la lluvia (h); A_c = Área de la celda (m^2); Ce = Coeficiente de escurrimiento (adimensional) y 1000 = factor que se utiliza para convertir a milímetros la intensidad de la lluvia.

La suma de los volúmenes de escurrimiento superficial de cada una de las microcuencas proporcionó el valor estimado de escurrimiento superficial en toda el área:

$$Vt = \sum_{i=1}^n Ves_i \quad (2)$$

Donde: Vt = Volumen total de escurrimiento superficial en la microcuenca (m^3); $i = 1, 2 \dots n$; n = Número de celdas en la cuenca.

Tabla 2.1. Valores de Prevert considerados para conocer el valor del coeficiente de escurrimiento asociado a cada celda.

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura		
		Gruesa	Mediana	Fina
Bosque	0 a 5 (plano)	0.1	0.3	0.4
	6 a 10 (ondulado)	0.25	0.35	0.5
	11 a 30 (escarpado)	0.3	0.4	0.6
	más de 30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0 a 5 (plano)	0.15	0.35	0.45
	5 a 10 (ondulado)	0.3	0.4	0.55
	10 a 30 (escarpado)	0.35	0.45	0.65
	más de 30	0.37	0.47	0.68
Agricultura	0 a 5 (plano)	0.3	0.5	0.6
	5 a 10 (ondulado)	0.4	0.66	0.7
	10 a 30 (escarpado)	0.5	0.7	0.8
	más de 30	0.53	0.74	0.84

2.4.9 Estimación de las áreas susceptibles a la inundación

A partir de las intensidades máximas de precipitación pluvial asociadas a diferentes duraciones y períodos de retorno, se plantearon diferentes escenarios de eventos de lluvia con diferentes probabilidades de ocurrencia para estimar el volumen total de escurrimiento superficial.

En la estimación de las áreas con riesgo a inundaciones, se calculó la elevación a la que llegaría el agua si se acumulara en la superficie de las partes bajas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, apoyándose en el modelo empleado por Quej (2007), y definido por la expresión:

$$Vt = \sum_{i=1}^n [(h - z_i) A_c] \quad (3)$$

donde: V_t = Volumen total de escurrimiento superficial en la microcuenca (m^3); h = Elevación del agua acumulada sobre la superficie (msnm); z_i = Cota de la celda i -ésima (msnm); n = Número de celdas en la cuenca analizada; y A_c = Área de la celda (m^2)

La evaluación de la sumatoria en la Ecuación (3) únicamente se realizó sobre los valores positivos del paréntesis ($h-Z_i$) a la derecha del signo de la sumatoria, para los cuales el valor de la elevación del agua sobre la superficie fue mayor o igual que la cota de la celda. Posteriormente, se utilizó el comando *setnull* del software ArcGis para eliminar los datos de las celdas con valores negativos. Finalmente se realizó la suma sobre la totalidad de las celdas restantes de la Cuenca.

El valor de la elevación del agua h se estimó por tanteos, proponiendo diferentes valores para h hasta hacer que la sumatoria de la Ecuación (3) fuese igual al volumen de escurrimiento superficial calculado con la Ecuación (1).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Estimación de las precipitaciones extremas de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

Mediante el uso de las de intensidades máximas de lluvia con una duración de 48 h y 100 años de periodo de retorno, se pudieron estimar los volúmenes de agua que pueden precipitarse en las diferentes regiones de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. Y a partir de ello se procedió a calcular los volúmenes de agua susceptibles de escurrir y causar problemas debido a su acumulación en la superficie y provocar inundaciones en las zonas más bajas. Estos datos son descritos con mayor detalle en el apartado 1.5.7, Figura 1.6 del Capítulo I.

2.5.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)

En la Figura 2.4 se representa el modelo digital de elevación de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. Los colores representan las elevaciones de cada uno de los cuadrados en los que se subdividió la superficie total de la Cuenca. El color negro destaca las zonas altas cercanas a 31 msnm, localizadas al sur y sureste de la Cuenca, y corresponden a diques naturales del río Seco (West *et al.*, 1985). Las franjas de color gris oscuro destacan los diques naturales de los ríos Cocohital, Tular, Santana, Naranjeño y

Blasillo; así como la terraza de Benito Juárez y la planicie costera de bordos de playa (Ortiz *et al.*, 2005); estos relieves son de altura intermedia en la Cuenca y en general presentan buen drenaje. Las zonas de color gris claro, ubicadas en la zona media y al norte de la Cuenca, revelan las llanuras de inundación y cubetas de decantación (Ortiz *et al.*, 2005) receptoras de agua en la época de lluvia, debido a que topográficamente se ubican por debajo de los diques naturales de los ríos. Las zonas de color claro a blanco, representan las llanuras palustres o depresiones que ocupan las posiciones mas bajas de la Cuenca. Cabe aclarar que el modelo ubica a algunas zonas de manglares en torno a las lagunas costeras con color gris oscuro, lo que se interpreta como zonas altas por el efecto de mangles arbóreos compactos de mas de 10 m de altura; sin embargo, Ortiz *et al.* (2005), mencionan que estas áreas costeras se clasifican como llanuras bajas de inundación lagunar y están sujetas a desbordes de los ríos y las mareas.

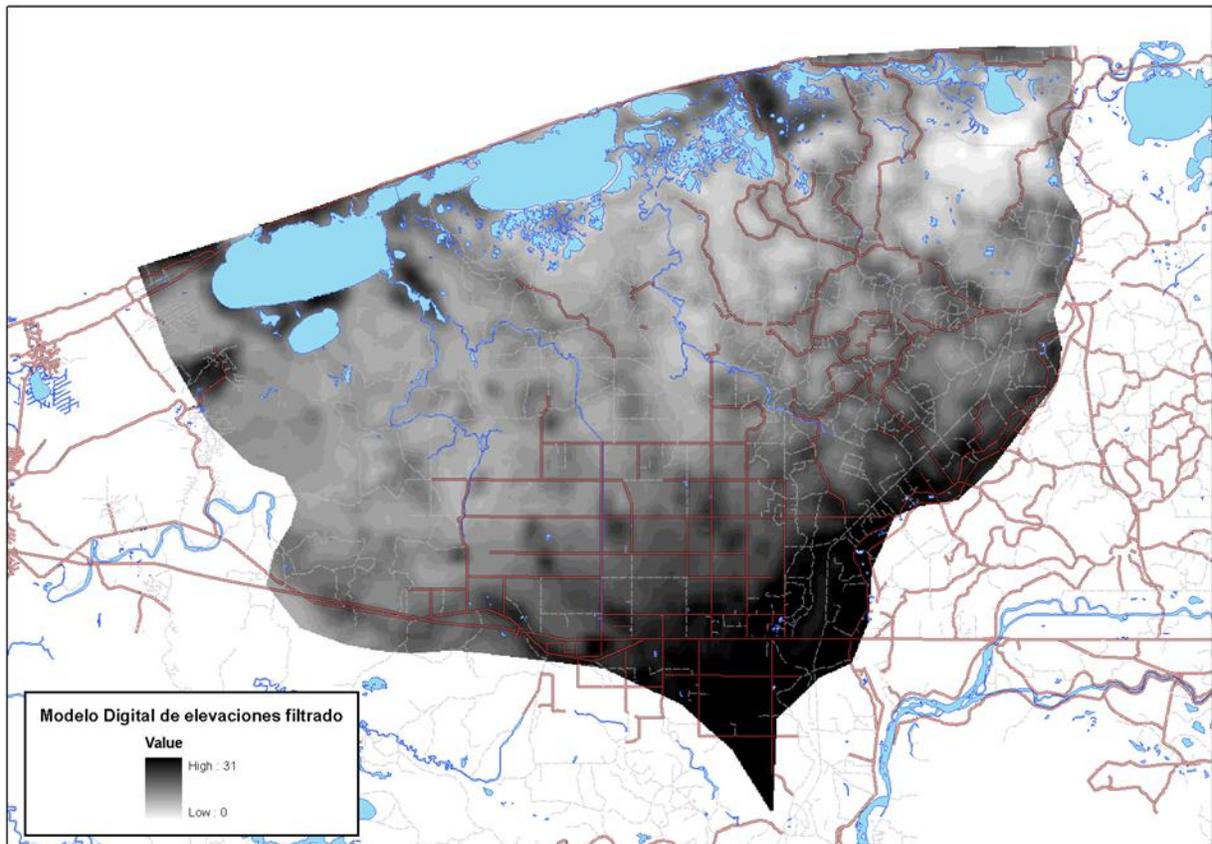


Figura 2.4. Modelos Digital de Elevaciones de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

2.5.3 Cálculo del volumen de escurrimiento superficial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco

En la Figura 2.5 se muestra el volumen de escurrimiento superficial, donde los colores de mayor intensidad, corresponden a zonas con un volumen de escurrimiento cercano o igual a 3599 m³, localizados al sur y sureste de la cuenca y en concordancia con las zonas altas del modelo. Las zonas de escurrimiento intermedio se ubican al centro, este y oeste de la Cuenca, y las zonas de bajo escurrimiento se localizan al norte, junto al Golfo de México, indicando que tienen volúmenes cercanos a 291 m³, y son los volúmenes de menor intensidad.

En esta figura se presenta el escurrimiento superficial de la precipitación pluvial máxima con una duración de 48 horas y 100 años de periodo de retorno. Para ello se adoptó un sólo coeficiente de escurrimiento para toda la superficie, asignándole un valor de 0.15%. El valor adoptado es, de manera conservadora, inferior al promedio de los valores reportados para dicho coeficiente en los trabajos de Murillo (2002), Treviño *et al.* (2002) y Quej (2007), quienes considerando que la topografía de la cuenca es en general plana utilizaron el mismo coeficiente de escurrimiento sin considerar factores de evaporación y de infiltración.

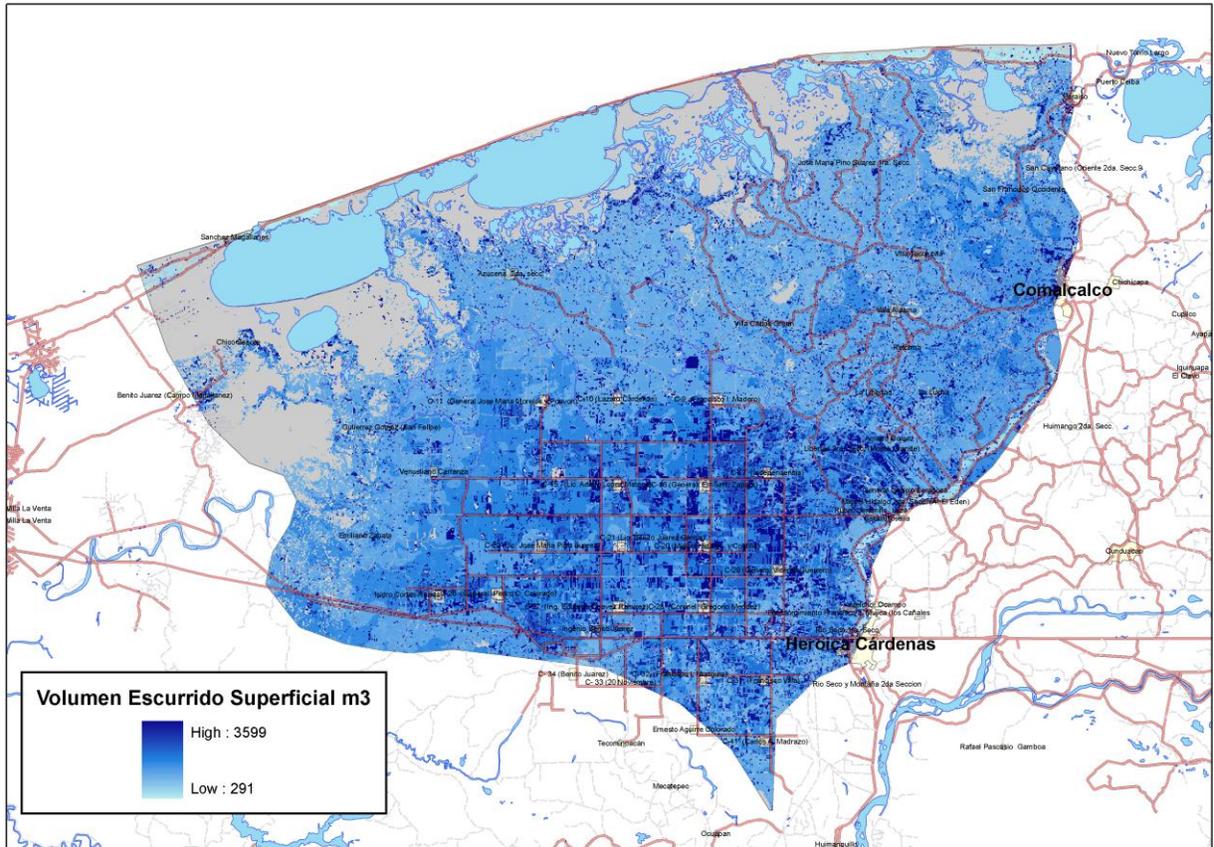


Figura 2.5. Volumen del escurrimiento superficial a ocurrir en cada celda del plano en formato raster de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, como respuesta al evento de lluvia bajo análisis.

El escurrimiento superficial es una información de gran importancia debido a las inundaciones que constantemente enfrenta la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, pues a partir de su determinación se puede alertar a la población sobre la llegada de la creciente, pudiendo así reducir el riesgo a desastres por inundaciones (Salas y Jiménez, 2007). Aun cuando los colores de menor intensidad que se observan en la Figura 2.5, indican un escurrimiento menor en la cuenca debido que la planicie tiene una pendiente general menor a 1% (Lugo y Córdova, 1992), estos representan las zonas con mayor riesgo a inundarse debido a la falta de desalojo del agua precipitada, y se consideran inundaciones lentas. En la cuenca es importante señalar que muchos de los caminos construidos por la explotación petrolera y las actividades antropogénicas han modificado el escurrimiento superficial.

2.5.4 Uso del Modelo Hidrológico

Dado que la pendiente en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco es menor a 1% y su altura sobre el nivel del mar varía entre 0 y 30 m (Lugo y Córdova, 1992), no se pudieron utilizar los comandos Flow direction, Flow accumulation, Watershed, Flow Accumulation y Stream Definition incluidos dentro del software Arc Hydro, lo que impidió la construcción de la red de drenaje superficial de la Cuenca. El análisis hidrológico se basó por lo tanto en la identificación de depresiones aisladas dentro de la Cuenca usando el Modelo Digital de Elevación, aplicando el módulo r.fill.dir de GRASS, a partir del cual se identificaron las depresiones topográficas donde se puede acumular el agua (Srinivasan, 2006; Neteler and Mitsova, 2005).

En la Figura 2.6 se observan las depresiones topográficas de la Cuenca donde se puede llegar a acumular el agua. Las zonas con mayores riesgos de inundación se localizan al noreste, noroeste y centro de la Cuenca, representando 9, 209.8 ha (3.3%) del total de la superficie. En un estudio realizado por Ruyver y Maathuis (2005) en una zona del Pantanal, en Brasil, donde la cuenca presenta una red de drenaje muy compleja y con pendiente muy débil variando de 80 a 180 msnm, utilizaron el MDE y el llenado de depresiones y lograron modelar las zonas inundables. En el caso de la Cuenca de Cárdenas-Comalco también se pudo modelar las zonas inundables, aun cuando presenta una pendiente menor de 1%, obteniéndose que las zonas con mayor riesgo a inundaciones se localizan en diversas partes de los municipios de Cárdenas y Paraíso.

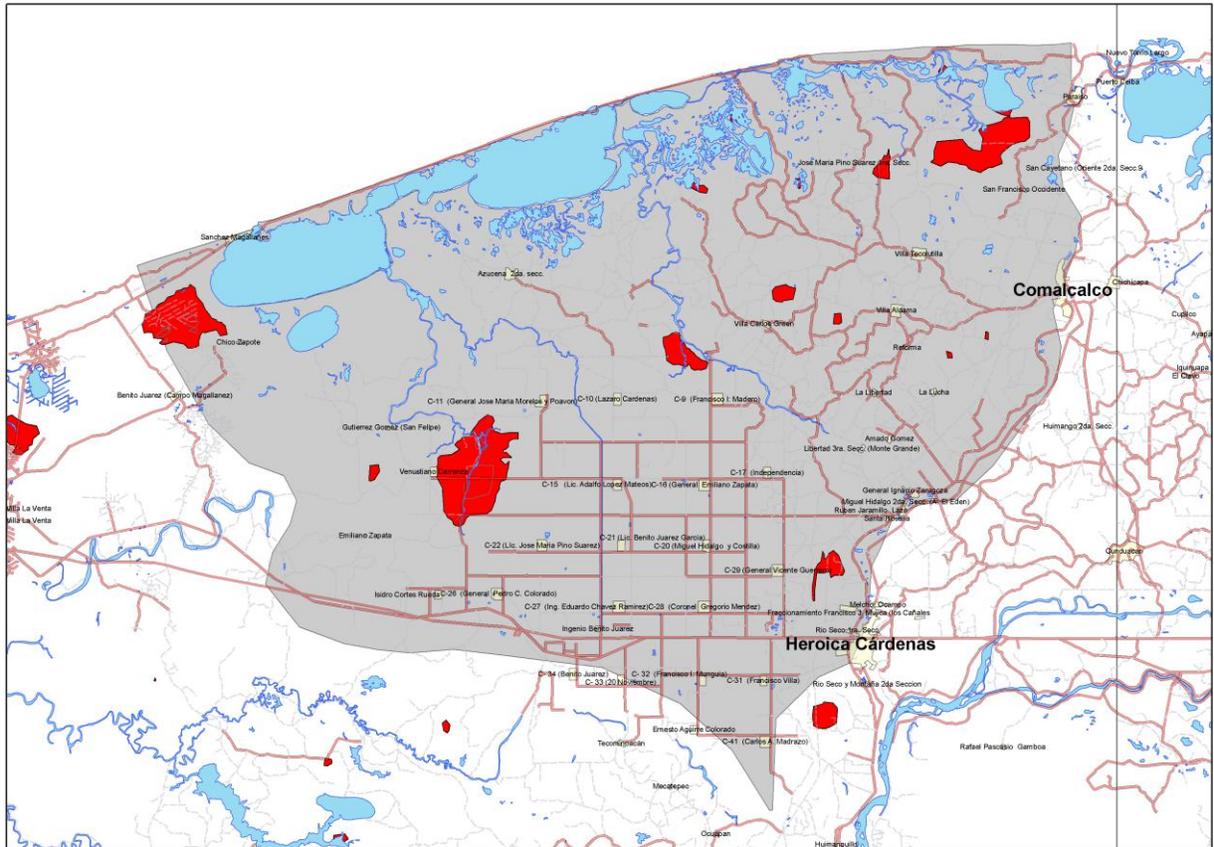


Figura 2.6. Depresiones topográficas (en rojo) aisladas dentro de la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

2.5.5 Determinación de las zonas con riesgo a inundación

En la Figura 2.7 se muestran las zonas con riesgo a inundación calculadas mediante el empleo de la ecuación (16), lo anterior permitió estimar la altura del agua acumulada en la superficie de las zonas bajas de la Cuenca que podría inundar las zonas productivas, o áreas pobladas, en caso de presentarse una lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 100 años. Las zonas de color rojo, localizadas al noreste y norte de la cuenca en los municipios de Comalcalco y Paraíso, presentan mayor riesgo a inundaciones abarcando una superficie de 14, 263.98 ha (5.2%). De acuerdo con un estudio realizado por Quej (2007), utilizando el mismo modelo matemático conocieron las zonas inundables del estado de Campeche, sin embargo en el caso de la Cuenca Cardenas-Comalcalco, este modelo permitió únicamente identificar las zonas más bajas, y no permitió identificar las depresiones aisladas más altas.

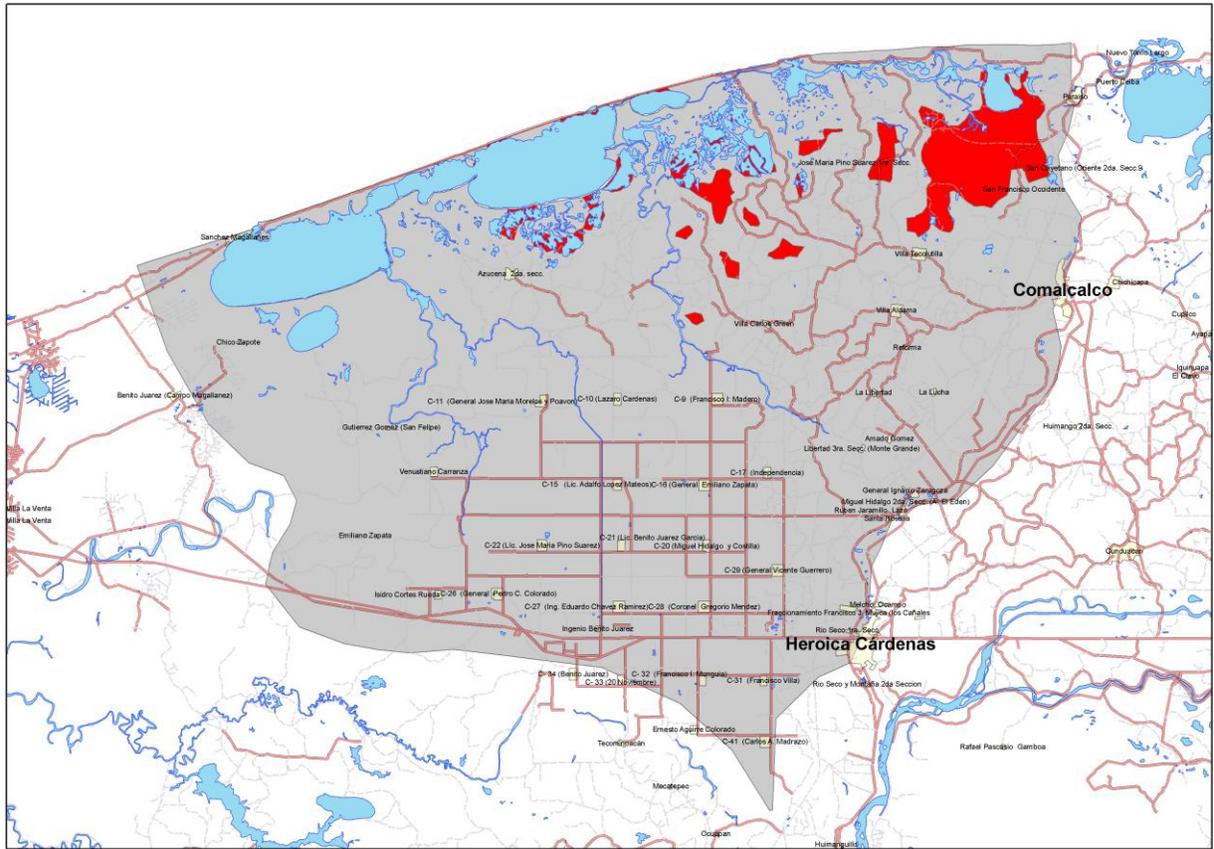


Figura 2.7. Zonas propensas a inundarse en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco de presentarse eventos de lluvia de 48 horas de duración con un período de retorno de 100 años.

En la Figura 2.8 se muestra las áreas con mayor riesgo a inundarse en la Cuenca definidas a partir de la superposición de las Figuras 2.6 y 2.7, esto permitió definir las áreas con mayor riesgo a inundarse en la Cuenca según el análisis pluviométrico considerando eventos de lluvia de 48 horas de duración y 100 años de periodo de retorno, y el llenado de las depresiones utilizando el modelo digital de elevación (MDE).

Las áreas de la Cuenca con mayores riesgos a inundación representadas en color rojo, se localizan al noreste entre el municipio de Paraíso y algunas zonas aisladas del municipio de Cárdenas, con una extensión de 23,473.84 ha (8.5%); mientras que los centros de población con mayor riesgo a inundación corresponden a Villa Carlos Green, Villa Tecolutilla, el Retiro, el Guayo, el Milagro y el Golpe.

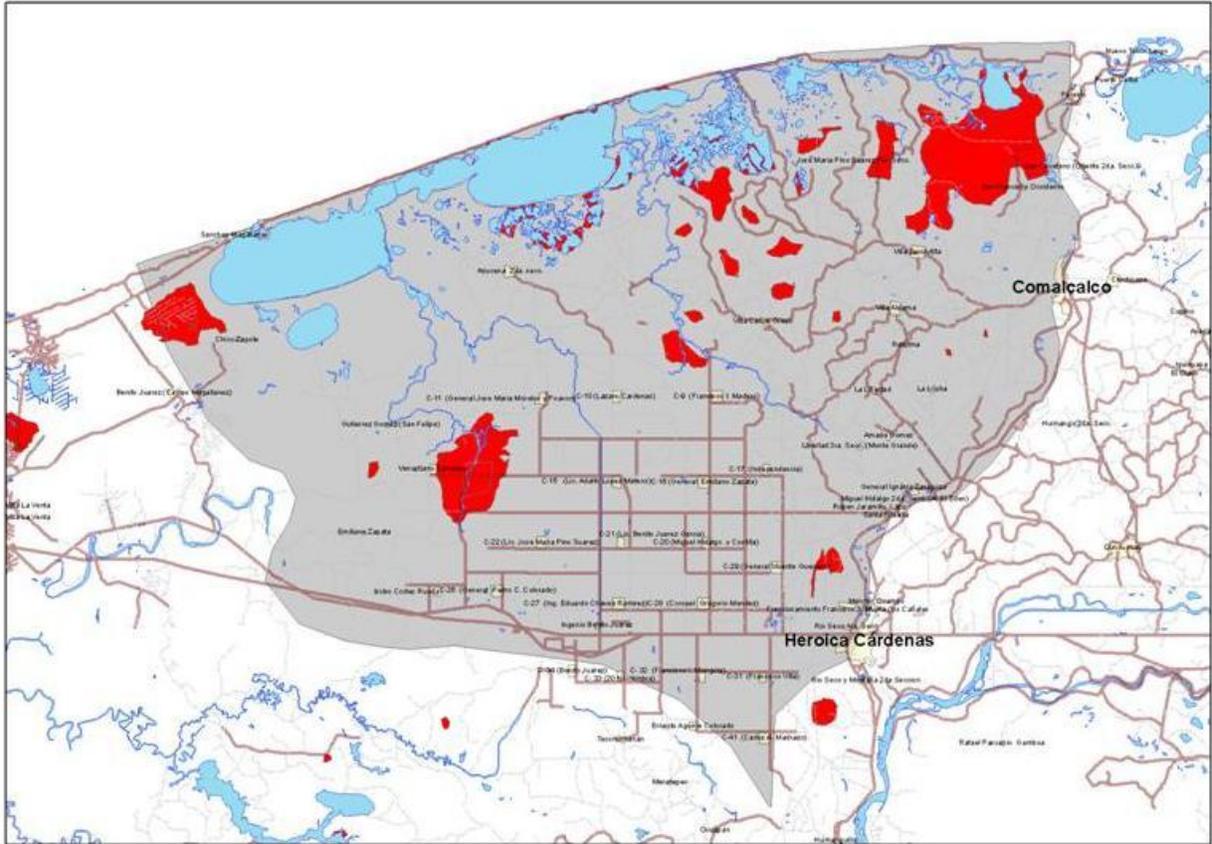


Figura 2.8. Área susceptible a inundación (en rojo) en la Cuenca Cárdenas–Comalcalco, definidas con base en el modelo digital de elevaciones para eventos de lluvia de 48 horas de duración con un período de retorno de 100 años.

2.5.6 Verificación de la precisión del procedimiento usado

Se compararon las áreas con riesgos a inundación calculados con la ecuación 16 y el llenado de depresiones del MDE, con las áreas realmente afectadas por las inundaciones ocurridas en la cuenca en el periodo de octubre y noviembre del 2007, declaradas como parte de la zona de desastre con más daños en la historia (ERN, 2007), tal como lo sugieren Diez (2002 y 2008) y Lastra *et al.* (2008). Estos autores sugieren tomar en consideración las inundaciones históricas para la realización de mapas de riesgos por inundaciones. En la Figura 2.9 se presentan las zonas afectadas por la inundación en el 2007 (ECOSUR, CCYTET, SAOP, INEGI, SEDAFOP, SEPLAN, INEGI, MapAction, COPLADE, Administración y Finanzas, 2007), cuyo mapa fue elaborado con imágenes de radar y spot tomadas durante el periodo de inundación. La superficie inundada afectó 38, 768.27 ha (14.1%) de la Cuenca.

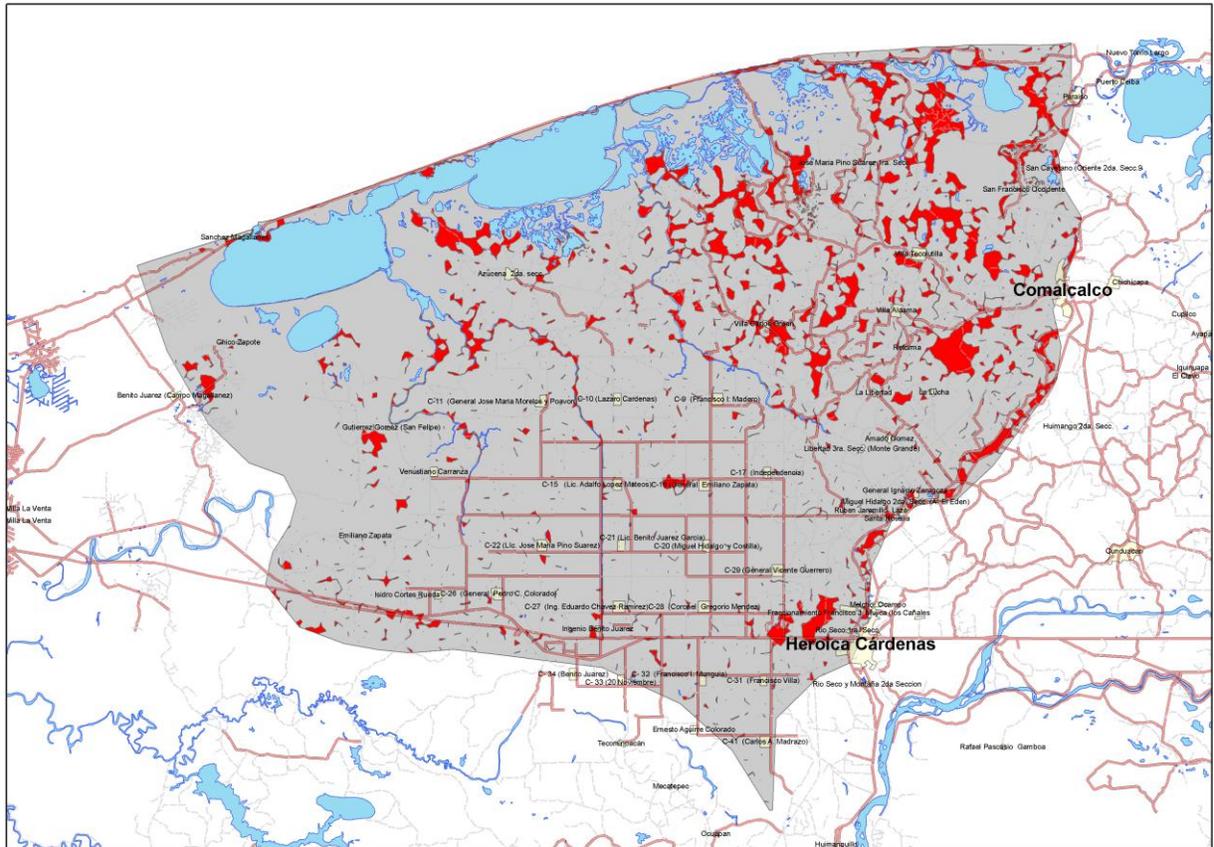


Figura 2.9. Áreas afectadas por inundación en la Cuenca Cárdenas–Comalcalco en octubre de 2007, como resultado de la ocurrencia de eventos de lluvia extremos.

En la Figura 2.10 se muestra el mapa obtenido de la superposición de los mapas indicados en las Figuras 2.6 y 2.7, en el que se aprecian coincidencias notables entre las zonas con riesgo a inundaciones generadas con el MDE y las zonas de inundación reales de 2007. Las zonas con riesgo a inundaciones generadas a través del MDE se indican en color rojo, y con color amarillo las zonas con afectaciones reales de la inundación de 2007 en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. No obstante, estos datos indican que las inundaciones estimadas con el MDE subestiman las áreas realmente inundadas en un 65.9%.

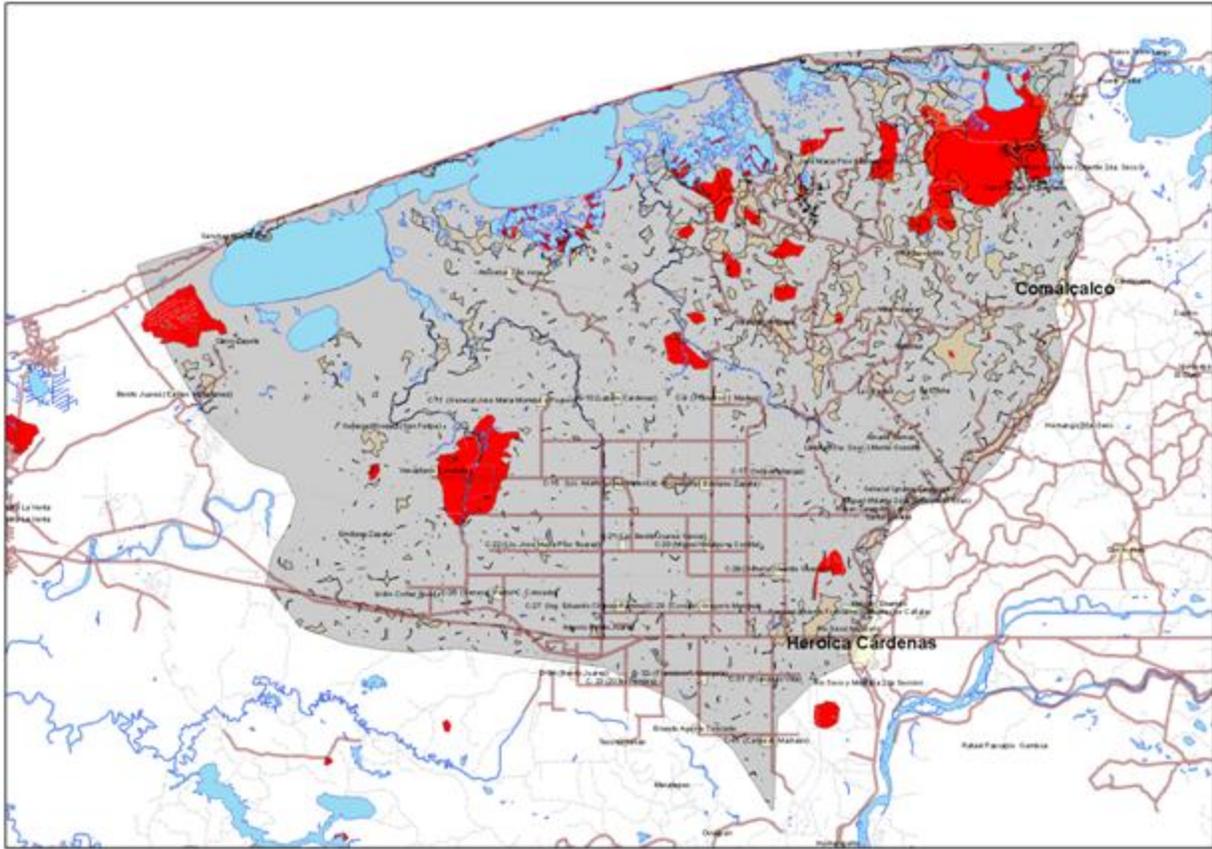


Figura 2.10. Comparación de las áreas susceptibles a la inundación definidas con base en el modelo digital de elevaciones y las afectadas realmente por inundaciones en octubre y noviembre de 2007 en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco.

2.6 CONCLUSIONES

El Modelo Digital de Elevación (MDE) permitió identificar varios niveles de altitud en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, localizándose la zona más alta a los 31 msnm, al sur de la Cuenca; y las zonas con menor altitud a los 0 msnm, en la costa; aún cuando se presentaron errores mínimos debido a la deficiencia en el filtrado de las masas arboladas en la orillas de las lagunas del Carmen y la Machona.

Los mayores escurrimientos superficiales se ubicaron en el municipio de Cárdenas, con un volumen igual o menor a 3599 m³, y en el resto de la Cuenca el escurrimiento fue igual o mayor a 291 m³.

Con el llenado de depresiones del Modelo Digital de Elevación (MDE) y el modelo matemático se localizaron las zonas con riesgos a inundación al noreste y noroeste, con una extensión de 23,473.84 ha.

El riesgo a inundación se incrementa en depresiones cercanas a la costa, siendo los centros de población más susceptibles: Villa Carlos Green, Villa Tecolutilla, el Retiro, el Guayo, el Milagro y el Golpe.

Las áreas de inundaciones estimadas con el MDE obtenido coinciden en un 34.1% con las áreas inundadas en el año 2007.

2.7 BIBLIOGRAFÍA

- Al-Abed, N., F. Abdulla, and A. K. Abu, 2005. GIS-hydrological models for an aging water resource in the Zarqa River basin. *Environmental Geology*, 47, 405-411.
- Aparicio F., 2002. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Ed. Limusa, Noriega Editores, 303 pp.
- Aral M. and A. Babar, 2000. *Geographic Information System Integrated Groundwater Flow and Contaminant Fate and Transport Modeling*. Disponible en: <http://mes13.ce.gatech.edu/mes1/research/saints/index.html>. Consultado abril del 2009.
- Ayala F. y J. Olcina, 2002. Riesgos naturales: Utilidad de los fractales en la prevención de riesgos naturales, su aplicación en sismicidad, deslizamientos e inundaciones (P. Gumiel). Cap. 8, 73-190 pp.
- Belmonte S. y V. Núñez, 2006. Desarrollo de modelos hidrológicos con herramienta SIG. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la información Geográfica*, 6, 15-27.
- Chaparro E. y M. Renard, 2005. Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenaza socionaturales. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, 91, 145 pp.
- Chastagnaret G. y A. O. Gil, 2006. *Riesgo por inundaciones en el mediterráneo occidental*. Casa Velázquez. Universidad de Alicante. Madrid, España. 295 pp.
- Chow T., D. Maidment y L. Mays, 1994. *Hidrología Aplicada*. Ed. Mc Graw-Hill. 584 pp.
- Díez H. A., 2008. ¡Doctor, Doctor.... que se me inunda la casa!. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(1), 35-42.
- Díez H. A., 2002. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales. Ed. En Laín Huerta, Luis. *Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y en el medio ambiente*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Medio Ambiente, 87-112.
- Douben K.J., 2006. Characteristics of river floods and flooding: A global overview, 1985–2003. *Irrigation and drainage*, 55, 9–21.
- Domínguez M. R. D. Pereyra, L. Gómez, I. Sosa y J. A. A. Pérez, 1999. Estimación de las características de infiltración puntual en los diversos suelos de la Cuenca del río Ídolos y su relación con la infiltración global de dicha Cuenca. Universidad Veracruzana e Instituto de Ingeniería de la UNAM. *Informe Técnico*, 53 pp.

- ERN (Evaluación de Riesgos Naturales), 2007. Inundación en Tabasco por eventos meteorológicos. Disponible en línea. <http://www.ern.com.mx/pdf/Inundacion/ERN-071107-I01.pdf>. Consultado julio 2009.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2007. ArcHydro for ArcGis 9. Redlands, California, USA.
- ESRI. (Environmental System Research Institute). 2006. ArcGIS 9. Getting Started With ArcGIS. Sistema de información. USA.
- Felicísimo A. M. 1994. Modelos Digitales de Terreno: introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Ed. Pentalfa. Oviedo-España.122 pp.
- Fernández T. R. y R. T. Geller, 2004. Modelo Digital de Elevación de la zona emergida del ecosistema sabana Camagüey, Cuba. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra, 94, 1-14.
- Fuentes O., R. Domínguez y V. Franco, 1981, Relación entre Precipitación y Escurrimiento. Manual de diseño de obras civiles, Sección Hidrotecnia. C.F.E. 66 pp.
- García A. E., 2003. Distribución de la precipitación en la república mexicana. Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 50, 67-76.
- González R., Juárez F., Obrador J., Carrillo E. y J. Zavala, 2010. Distribución temporal y la probabilidad de ocurrencia de valores extremos de la precipitación pluvial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. Artículo sometido a la revista Atmosfera.
- Gülay O.L., Nilgün H. and G. Ali, 2010. A hydrologic and hydraulic combined modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. Nat. Hazards, 54, 245-260.
- Gutiérrez P. J. y M. Gould, 2000. Sistema de Información Geográfica. Universidad Complutense de Madrid. Ed. Síntesis, 1, 11-39.
- Hawkins R.H., J. Ruiyun, E. D. Woodward, T. A. Hjelmmfelt, E.J. VanMullen y B. Montana, 2001. Runoff Curve Number Method; examination of the initial abstraction ratio (en línea): University of Arizona, School of Renewable Natural Resources. Disponible en línea: <ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/support/water/hydrology/Hawkins.doc>, consultado: 5 de febrero de 2009.
- Horcajada H. T., M. S. Cruz y P. A. Dorta, 2000. La constatación y validación de los mapas de riesgo de avenidas en pequeñas Cuencas hidrográficas mediante Sistema de Información Geográfica. Propuesta metodológica y aplicación a la ordenación del territorio. Boletín de la A.G.E., 30,135-154.

- INEGI. 2001. Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags, México.
- INEGI, 2009. Modelos digitales de elevación escala 1:50 000. Generalidades y especificaciones. Aguascalientes, Ags, México.
- Kraijenhoff D. A. y S. Van, 1977. Relación lluvia escurrentía y modelos para el calculo. In: Principios y aplicaciones de drenaje. ILRI Internacional Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, Holanda, 2, 263-342.
- Kurczyn R. A. Jorge, Kretschmar Thomas, y A. H. Corona, 2007. Evaluación del escurrimiento superficial en el noroeste del Valle Guadalupe, B.C., México., usando el método de Curvas Numeradas y Datos de Satélite. Ciencias Geológicas, 24 (1), 1-14.
- Lastra J. E. Fernández, A. Diez y J. Maquines, 2008. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. Nat. Hazards, 45, 277–293.
- Linsley J. R. K., M. H. Kohler y S. Paulhus, 1988. Hidrología para ingenieros. 2da. Ed. 362 pp.
- López C. F., 1998. Restauración Hidrológico-Forestal de Cuencas y control de la erosión. Ingeniería Medioambiental.
- Lugo H. J. y C. Córdova, 1992. Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 25, 25-63.
- Maderey R. L. y A. Jiménez, 2005. Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía, UNAM, 1, 100 pp.
- Maidment R. D. 2002. Arc Hidro Gis for water resources. Published by ISRRI. New York, 203 pp.
- Martínez M.S. y D. A. Campos, 2010. Algoritmo para estimar características físicas en Cuencas rurales y su aplicación en el método racional, en la Región hidrológica. No. 12 parcial (Río Santiago). Agrociencia, 44, 393-408.
- McKinney C. D. y B. A. Czekanski, 2006. Introduction to Arc-Hidro: ACEH Basin Pilot Study. Center for Research in Water Resources. University of Texas EEUU. This document is available online vía World Wide Web at. <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>. Consultado septiembre 2009.

- Mendoza M. E. G. Boceo, C. Siebe y M. A. Ortiz, 2002. Modelación Hidrológica espacialmente distribuida: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en Cuencas no instrumentadas. *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 47, 36-58.
- Murillo S. E., 2002. Estudio del efecto del Cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la subcuenca 24Bf Monterrey. Aplicando SIG. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Nuevo León, México. 199 pp.
- NASA., 2009. <ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/>. Consultado en enero del 2009.
- Neteler, M. and H. Mitasova, 2005. *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Second Edition Springer Science. Boston.* 417 pp.
- Niño N. A., 2008. Ortofoto precisión y usos. Universidad distrital de Colombia. En línea. <http://www.cartesia.org/article.php?sid=409>. Consultado diciembre 2009.
- Ortiz, P.M.A., C Siebe y S. Kram, 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. *En: Bueno, J.,F. Álvarez y S. Santiago (Eds.). Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México.* 14, 386 pp.
- Palma D. J. y S. Triano, 2002. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco, Vol. II. Ed. Colegio de Posgraduados–ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 180 pp.
- Peralta H. A.R., R. C. Balling y L. R. Barba, 2009. Comparative analysis of indices of extreme rainfall events: Variations and trends from southern México. *Atmósfera* 22(2), 219-228.
- Ponce V. M., 1989. *Engineering Hydrology: Principles and Practices. Prentice-Hall, Inc., USA,* 640 pp.
- Pujadas F. J. y A. H. Díez, 2002. Los mapas de riesgos de inundaciones. En Ayala-Carcedo, F.J.; Olcina Cantos, J. (coord.). *Riesgos naturales. Barcelona: Ariel Ciencia.* 997-1012 pp.
- Pusineri G., R. Pedraza y C. Lozeco, 2004. Uso de modelos digitales de elevación y de sistemas de información geográficas (SIG) en la modelación hidrológica. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fé Argentina. 8 pp.
- Quej C.V., 2007. Análisis pluviométrico y determinación de las necesidades generales de drenaje superficial en el estado de Campeche. Tesis de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical. Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. San Francisco de Campeche, Campeche, México. 76 pp.

- Ribera M. L., 2004. Los mapas de riesgos de inundaciones, Representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. Doc. Anàl. Geogr. 43, 153-171.
- Ruyver R. y B. Maathuis, 2005. Optimización de un Modelo de Elevación Digital (DEM) para modelado hidrológico en la Región del Pantanal, Brasil. XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza, Argentina. 21 pp.
- Salas S. A y E. M. Jiménez, 2007. Inundaciones. Centro de prevención de desastres. Secretaría de Gobernación. Serie de fascículo. 9, 53 pp.
- Salgado T. A., 2004. El MDE de celda hexagonal en la definición de Cuencas y redes de cauces. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos Texcoco Edo. De México. 82 pp.
- SENADO, 2008. Comisión de Asuntos Hidráulicos. Informe de las inundaciones del 2007, en el estado de Tabasco. 48 pp.
- Srinivasan R., 2006. r.fill.dir. Filters and generates a depression less elevation map and a flow direction map from a given elevation layer. Módulo incluido en Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS).
- Treviño G.E., R. C. Muñoz, C. C. Cavazos y C. L. Barajas, 2002. Evaluación del flujo hídrico superficial en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. Ciencia UANL. 5 (4), 525-530.
- Treviño P. A. y M. Morad, 2001. Sistemas de información Geográfica y modelizaciones hidrológicas, una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación. Universidad de Alicante, España. Boletín de la A.G.E, 31, 23-46.
- NRCS (Natural Resources Conservation Service), 2002. National Soil Survey Handbook. en línea: title 430-VI, <http://soils.usda.gov/technical/handbook/>. Consultado el 20 de julio 2009.
- Velázquez V.G., 2001. Las inundaciones en Tabasco. Ensayo monográfico. Universidad Popular de la Chontalpa., H. Cárdenas, Tabasco, México. 188 pp.
- West R.C., Psuty N. y. Thom B.G., 1985. Las tierras bajas de Tabasco en el Sureste de México. Instituto de Cultura de Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco. México, D.F., México. 409 pp.
- Williams. J. R. and H. D. Berndt, 1977. Sediment yield prediction base on watershed hydrology. Transactions of ASAI. 200 pp.

Woodward, D.E.R., H. Hawkins, A. T. Hjelmfelt, J. E VanMullen y Q. D. Quan, 1999. Curve Number Method; Origins, applications and limitations (en línea): United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Disponible en línea: [ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/support/water/hydrology/ Woodward.doc](ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/support/water/hydrology/Woodward.doc). Consultado: 9 de abril de 2009.

CAPÍTULO III

PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN ZONAS CON RIESGOS A INUNDACIONES EN LOS POBLADOS C-16, C-17 Y LA RANCHERÍA SANTANA 4TA. SECC. DEL MUNICIPIO DE CÁRDENAS, TABASCO

**PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN ZONAS CON RIESGOS A
INUNDACIONES EN LOS POBLADOS C-16, C-17 Y LA RANCHERÍA SANTANA
4TA. SECC. DEL MUNICIPIO DE CÁRDENAS, TABASCO**

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

3.1 RESUMEN

Este trabajo examina la percepción de la vulnerabilidad de las zonas en riesgos a inundaciones asociado a intensidades máximas de la precipitación pluvial, comprendiendo los poblados C-16, C-17 y Santana 4ta. Sección del municipio de Cárdenas, Tabasco, México. El objetivo de esta investigación consistió en conocer la percepción de las personas y la vulnerabilidad de las zonas con riesgos a inundaciones asociado a las intensidades máximas de la precipitación pluvial con 24 horas de duración y 30 años de periodo de retorno. Para la obtención de la información se aplicaron encuestas estructuradas a las personas mayores de 18 años y analizando a nivel de hogar. Para la obtención el tamaño de la muestra se utilizó datos estadísticos del INEGI, con un $\alpha=01$ de confianza, teniendo un tamaño de muestra de 65 personas. Para la elaboración del cuestionario se identificaron diez variables con sus respectivas hipótesis, que posteriormente fueron útiles para la estructuración. De las personas encuestadas, el 89% perciben ser vulnerables ante los riesgos a inundaciones.

Palabras Clave: Percepción, Vulnerabilidad, Riesgo, Inundaciones

**PERCEPTIONS OF VULNERABILITY IN FLOOD RISK AREAS IN THE VILLAGES
C-16, C-17 AND RANCHING SANTANA 4TH SECC. THE CITY OF
CARDENAS, TABASCO**

Rigoberto González Mancillas, MC.

Colegio de Postgraduados 2010

3.2 ABSTRACT

This paper examines the people's perception of the vulnerability of flood-risk areas associated with maximum intensities of rainfall, comprising the town C-16, C-17 and Santana 4th Section of the municipality of Cardenas, Tabasco, Mexico. The aim of this study was to examine the settler or people's perception and the vulnerability of flood-risk areas associated with the maximum intensities of rainfall with 24-hour and 30-year return period. In order to obtain structured information data sheet surveys were applied to persons aged 18 years and older, looking at the household level. To obtain the sample size statistical data from INEGI, with $\alpha = 01$ of confidence was used, having a sample size of 65 people. The questionnaire applied identified ten variables with their respective hypotheses, which later proved be useful for its structuring the questionnaire. Of those surveyed, 89% perceive to be vulnerable to flood risks.

Keywords: Perception, Vulnerability, Risk, Flooding

3.3 INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son de los fenómenos naturales más destructivo en nuestro planeta y frecuentemente han incrementado el riesgo a muchas poblaciones en todo el mundo (Douben, 2006). Este fenómeno causa muerte de seres humanos y pérdidas económicas; así como alteraciones en el medio ambiente, destruyendo importantes centros de población, carreteras, tierras de cultivo, viviendas rurales y erosión de suelos (Cutter, 1999; CEPAL, 2000; Ferrando, 2003).

Debido a su frecuencia, los desastres asociados a las inundaciones en todo el mundo han recibido mayor atención para su reducción y mitigación. De acuerdo a las investigaciones realizados por Garnica y Alcántara (2004), en todo el mundo alrededor de 7 477 552 personas fueron víctimas por inundación entre los años 1900-2001, en tanto que la población total afectada alcanzó la cifra de 2 379 092 236 habitantes, y en el caso de México, entre los años 1971 a 2001 se registraron 27 inundaciones que se convirtieron en desastres, ocasionando 4 941 de pérdidas humanas, 1 906 148 de habitantes damnificados, y las pérdidas materiales ascendieron a más de 412 millones de dólares.

De acuerdo con la base internacional de datos de desastres elaborada por la CRED (OFDA-CRED, Database 2010), entre los años comprendidos de 2000-2009 se registraron en todo el mundo, 1 063 518 295 (Mil sesenta y tres millones quinientos dieciocho mil doscientos noventa y cinco) habitantes damnificados, y en México durante ese mismo periodo (2000- 2009) se registraron 16 inundaciones, damnificando 1, 896 124 habitantes y con 344 pérdidas humanas, siendo los estados de Tabasco y Chiapas los más afectados por este fenómeno con 1 600 000 habitantes damnificados.

Brunswik (1956), Rock (1995), Matlin y Foley (1996), Chardon (1997) y Ribera (2005), definen la percepción como el intento de comprender aquellos aspectos de las observaciones del mundo y de las personas que dependen de la naturaleza, como resultado de las interacciones cerebrales espontáneas originadas por la estimulación sensorial; además es el conocimiento, aprehensión de conceptos e ideas del mundo real y son percibidas en función de un proceso sociocultural en el que intervienen tanto

los valores del individuo, sus experiencias pasadas, su grado de exposición al riesgo, así como su nivel social, económico y cultural. Para comprender la percepción del riesgo ante los diversos fenómenos naturales, como es el caso de las inundaciones, es necesario retomar las nociones sobre la percepción individual pues ésta difiere de un individuo a otro dado que cada individuo está condicionado por factores sociales, culturales, económicos y políticos, y la familiaridad con la amenaza (Vallejo y Vélez, 2002).

De igual forma, para conocer la construcción del significado del riesgo, tanto de las comunidades expuestas y de las autoridades gubernamentales encargadas en su gestión y mitigación, se requiere incluir cuestionamientos sobre las características culturales, organizaciones existentes que favorezcan la prevención y mitigación del riesgo, actitudes, motivaciones individuales y colectivas, pues cada una de ellas pueden variar de manera notable de un contexto a otro. Así, el riesgo se construye con base en la percepción de dicha situación y en su interpretación desde la óptica del grupo social e individual, lo que implica controlarlo, reconstruirlo, resignificarlo y ejecutar acciones para enfrentar cualquier fenómeno desestabilizador (Maskrey, 1997; Cardona, 2001; Ríos y Murgida, 2004). Así, la construcción social del riesgo es uno de los tópicos, donde las sociedades proyectan sentidos, valores sobre ciertos eventos y prácticas.

El riesgo se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, trayendo consecuencias negativas a la población afectada, que pueden ser económicas, sociales y ambientales en un sitio en particular y durante un tiempo determinado de exposición (Cardona, 1996; Evans *et al.*, 2003). El riesgo se obtiene de relacionar la amenaza (o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con una intensidad específica) con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, que pueden ser de origen natural, geológico, hidrológico, atmosférico, tecnológico y provocado por el hombre (Lavell, 1993; Ferrando, 2003; Bosque *et al.*, 2004). La CENAPRED (1994 y 2001), menciona que el riesgo está estrechamente ligado a las actividades humanas, pues para existir un riesgo debe haber una probabilidad de que ocurran daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades

o sus bienes, y esto es mediante la exposición de los mismos a los agentes perturbadores. La definición anterior involucra tres aspectos relacionados con la vulnerabilidad, exposición y peligro. En esta relación, la exposición se refiere al número de vidas humanas amenazadas o, en general, a cualquiera de los elementos económicos (capital, inversión, capacidad productiva, etcétera) expuestos a un evento destructivo.

La vulnerabilidad es una medida del porcentaje del valor que puede ser perdido en el caso de que ocurra un evento destructivo determinado, y el peligro o peligrosidad es la probabilidad de que un área en particular sea afectada por fenómenos naturales como el vulcanismo, las sequías e inundaciones. La vulnerabilidad se define como la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada, o bien de sufrir daños en caso de un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico, y el tiempo que tarda en recuperarse desde el inicio del evento hasta su recuperación total; además se dice que si no está en riesgo no es vulnerable (Blaikie, 1994; Cardona, 2001, Rodríguez, 2002; Lavell, 2003; Laguna y Sánchez, 2006). Por su parte, Ferrando (2003), menciona que la vulnerabilidad se puede reducir evitando el nivel de exposición en las localizaciones que son comúnmente afectados por fenómenos naturales. Sin embargo la vulnerabilidad aumenta conforme incrementa el crecimiento demográfico (Rodríguez, 2002; Llanes, 2003).

El desastre se define como la alteración significativa que se causa sobre las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente, debido al daño causado por un fenómeno de origen natural como las inundaciones, sismos y deslaves, y ocurren cuando estos fenómenos se presentan repentinamente y la capacidad de respuesta de las autoridades y de las sociedades es incapaz de soportar las fuerzas del fenómeno (Cardona, 1996; Rodríguez, 2002; Laguna y Sánchez, 2006).

Las inundaciones, que son declaradas como desastres, han afectado frecuentemente al estado de Tabasco, provocando pérdidas incontables, como las ocurridas en los años: 1955, 1969, 1973, 1980, 1995, 1999, 2007, 2008 y 2009 (Velázquez, 2001; Salas

y Jiménez, 2007 y OFDA-CRED Database, 2010). Se reporta que el estado de Tabasco presenta una precipitación promedio anual de 2 432.7 mm (CNA, 2005), ubicándose como uno de los estados con más altas precipitaciones del País. Sin embargo, una de las características particulares de esta precipitación es su distribución, ya que se presentan algunos meses extremadamente lluviosos como son septiembre, octubre y principios de noviembre (Escudero, 2007 y Velázquez, 2001). Además, la asociación entre las altas precipitaciones que se registran en el estado y las tormentas tropicales y el paso de huracanes por el Golfo de México, intensifican mucho más las precipitaciones, dando como resultado lluvias torrenciales que incrementan los riesgos a inundaciones en las zonas bajas, siendo éstas más dañinas debido al crecimiento demográfico espontáneo no regulado de la población (Arranz, 2008, Velázquez, 2001).

Por lo anteriormente expuesto y conociendo la problemática que se tiene constantemente en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco sobre la vulnerabilidad ante los riesgos a inundación, es que se desarrolla este trabajo de investigación, en él se argumenta la percepción de la vulnerabilidad ante los riesgos a inundaciones mediante un estudio estructurado para conocer la comprensión de este fenómeno, la dinámica social, la percepción del riesgo de inundación, los daños por inundaciones, la actuación y gestión del riesgo ante un desastre. De esta manera, el objetivo de la presente investigación se sustenta en conocer la percepción y la vulnerabilidad en zonas con riesgos a inundaciones asociado a las intensidades máximas de lluvia con una duración de 24 horas de duración y 30 años de periodo de retorno, bajo la hipótesis de que las personas perciben ser vulnerables ante los riesgos a inundaciones.

Para lograr este objetivo, se recopiló información de la zona estudiada mediante la aplicación de encuestas, que posteriormente se organizaron y analizaron para conocer los datos sociodemográficos de la zona de estudio, la percepción del riesgo a las inundaciones, la percepción de la vulnerabilidad social, la percepción de la resiliencia después de ocurrida una inundación, la percepción de la mitigación del riesgo y la percepción de la vulnerabilidad ambiental.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Área de estudio y metodología

El estudio de la percepción del riesgo a inundaciones se realizó en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, comprendiendo los municipios de Paraíso, Comalcalco, parte de Huimanguillo y casi todo el municipio de Cárdenas. El tipo de clima predominante en el área de estudio, de acuerdo a la clasificación Köopen, modificada por Enriqueta García (2004), es del tipo Am (f), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con una temperatura promedio de 26 °C y precipitación media anual de 2000 mm (INEGI, 2008).

La zona de estudio fue seleccionada de acuerdo al estudio realizado por González *et al.* (2010), donde se presenta una precipitación pluvial máxima con 24 horas de duración y 30 años de periodo de retorno, donde la mayor intensidad de la precipitación alcanza 12 mm h⁻¹ y con 24 horas de duración se tiene una acumulación de 288 mm, y además si el agua no es desalojada eficientemente puede provocar inundaciones en las partes bajas. Las zonas con mayor riesgo a una inundación pluvial comprenden los poblados C-16, C-17 y la Ranchería Santana 4ta. Sección perteneciendo al Municipio de Cárdenas, Tabasco (ver Figura 3.1).

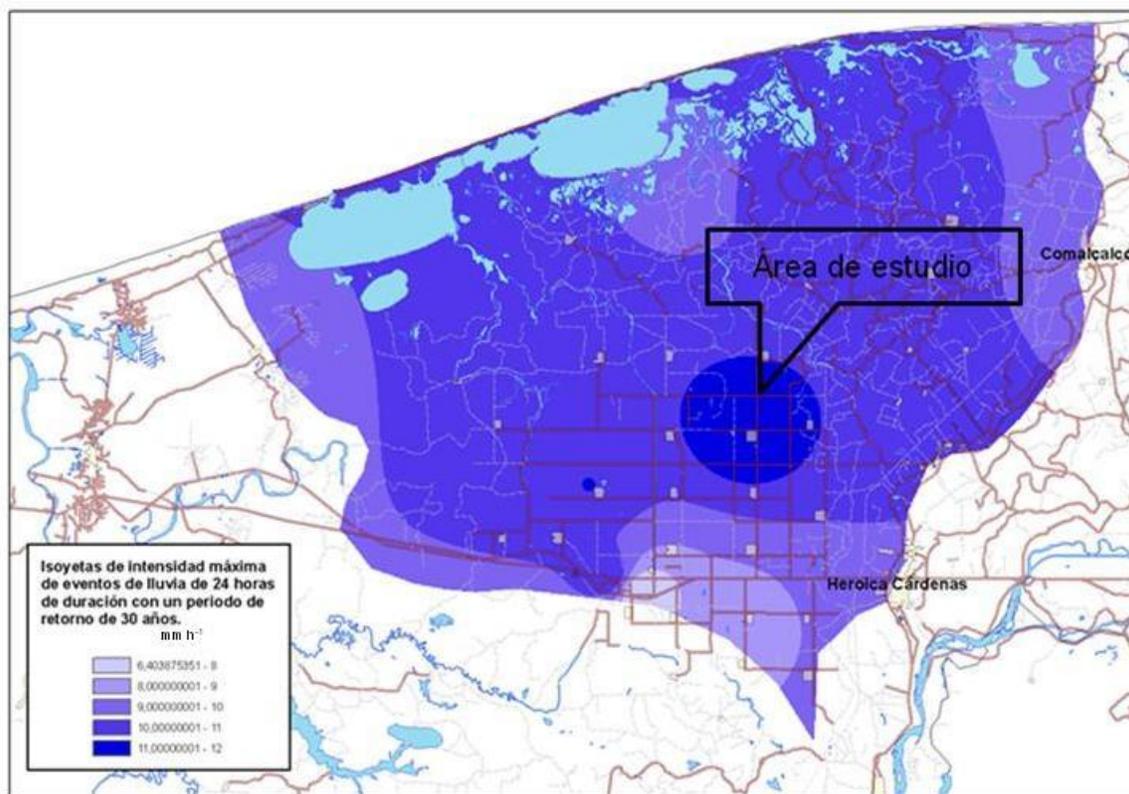


Figura 3.1. Zona de estudio con intensidades de lluvia máximas de 24 horas de duración y 30 años de periodo de retorno

La metodología que se considero para conocer las percepciones de la vulnerabilidad y riesgos sobre las inundaciones en la zona consistió en recopilar información mediante la aplicación de un número determinado de encuestas, utilizando para ello como instrumento de evaluación un cuestionario con 65 preguntas relacionadas con los temas de análisis y evaluación (datos sociodemográficos, percepción del riesgo, vulnerabilidad social, resiliencia mitigación del riesgo y la vulnerabilidad ambiental).

En la realización del estudio se tomaron muestras representativas de las personas adultas mayores de 18 años de acuerdo a la población reportada por INEGI (INEGI, 2005). El tamaño de la muestra se determino utilizando la fórmula estadística del muestreo simple aleatorio, citadas por Ojeda (2001) y Munch y Ángeles (2005) para una población finita. El tamaño de la población total fue de 3 564, con un nivel de confianza de 90% ($\alpha=0.1$), y considerando un margen de error del 10% se tiene un tamaño de muestra de 65 personas a encuestar.

Para la validar y estructurar oportunamente el cuestionario se realizó una prueba piloto con 20 encuestas efectuadas a personas distintas al lugar de estudio, y posteriormente en el mes de febrero del 2010 se aplicaron las encuestas en el área de estudio

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Datos sociodemográficos

De acuerdo a la muestra total de 65 personas encuestadas para conocer la percepción de la vulnerabilidad de las zonas con riesgos a inundaciones, los resultados se analizaron e interpretaron a nivel de hogar. Del total de encuestados, el 58% correspondió al genero femenino y 42% al masculino. Las viviendas de la zona han sido construidas en mayor parte con material de block y cemento con un 66% (Figura 3.2), el 17% utiliza madera y en menor porcentaje adobe (6%), carrizo o bambú (3%), material de desecho (3%) y el 5% lámina de asbesto y/o metálica (zinc).

Con respecto a su campo laboral (Figura 3.3), el 60% de las personas encuestadas se ocupa en labores del campo (campesino), el 16% esta comprendido por jornaleros (8%) y obreros (8%), el 5% son comerciantes y el resto se ocupa en diversas actividades con porcentajes menores comprendidos entre el 1% y 3%. Entre estas actividades se pueden citar a las labores domésticas, campesino profesional, campesino-comerciante, vigilantes, mecánicos entre otras

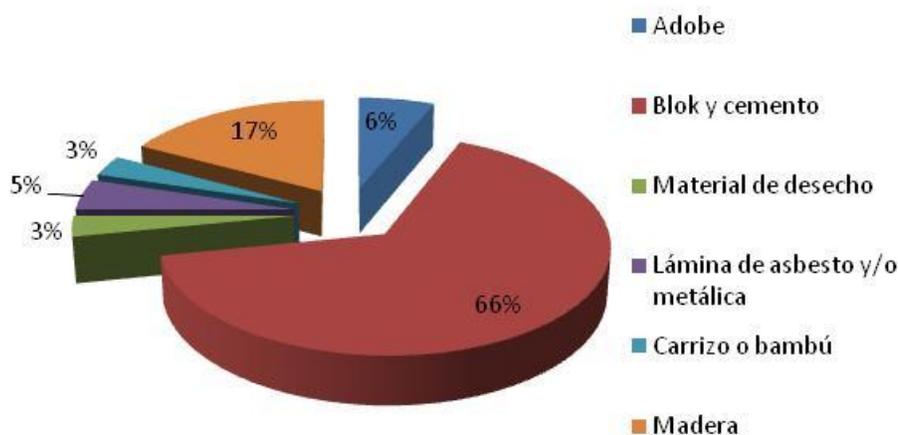


Figura 3.2. Material utilizado para la construcción de las viviendas.

En las encuestas se refleja que el 75% de los hogares son sostenidos por el jefe de familia, y el resto de hogares (25%) por otros integrantes de la familia; de igual manera en las encuestas realizadas en otras localidades de la Cuenca (Gómez, 2010) se encontró que la mayoría de los hogares es comandado por la jefatura masculina.

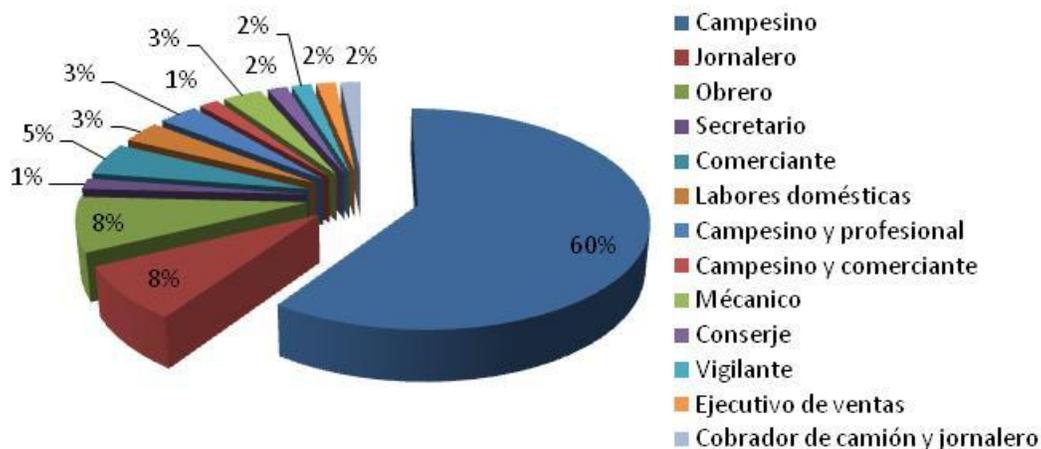


Figura 3.3. Ocupación de las personas encuestadas

3.5.2 Percepción del riesgo a inundaciones

Con base en la información recabada de las encuestas y con el análisis de la misma, se determinó que las personas que se perciben con mayores daños debido a inundaciones son las de un bajo nivel económico y cuyas casas están construidas de madera y piso de tierra (Figura 3.4). Esta información es semejante a la reportada por Karlin (2004), quien en un estudio realizado en Costa Rica, sustenta que las personas más pobres son más vulnerables ante las inundaciones, debido a que sus hogares no tienen la capacidad de resistir este fenómeno. No obstante, cabe destacar que la percepción sobre riesgos a inundaciones difiere de un individuo a otro, y que ésta se encuentra condicionada por factores sociales, económicos y de calidad de vida (Vallejo y Vélez, 2002).



Figura 3.4. Habitación vulnerable a las inundaciones.

En la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, el 89% de la población percibe que su vivienda está en riesgo a inundaciones y el 11% manifiesta que no está en riesgo. Del total de la población que se percibe vulnerable ante este fenómeno, el 65% argumenta que su vivienda se localiza en una zona baja, el 8% en las orillas de un río, el 5% no rellenaron lo suficiente, el 5% en las orillas de lagunas, el 3% mencionó un mal drenaje y el 3% se desconoce la razón. De esta manera, para verificar si las viviendas de los encuestados se encontraban en riesgo a inundación se les cuestiono si alguna vez habían experimentado algún tipo de daño por este fenómeno, recibiendo una respuesta afirmativa del 37% (Figura 3.5), los cuales sufrieron daños por inundación en noviembre del 2009, el 26% argumentó haber sufrido daños por las inundaciones del 2007, 2008 y 2009; y más del 50% de las personas encuestadas afirman haber sufrido daños por alguna de las inundaciones registradas, y únicamente el 11% de la población respondió que no ha sido afectada por las inundaciones registradas.

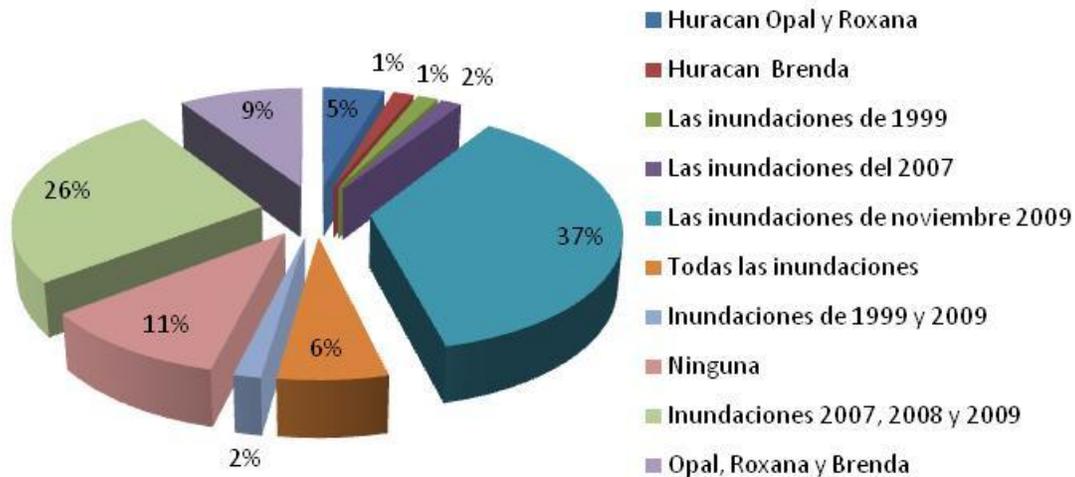


Figura 3.5. Eventos de inundación según los encuestados.

En la Figura 3.5 se puede observar que la mayoría de los hogares han sido afectados por las inundaciones, y en los últimos años se ha visto incrementado debido a la participación de los habitantes, ya que muchas de sus viviendas están establecidas en las llanuras de inundación, y en algunos casos están construidas en sitios que han sido rellenados, como lagunas y zonas bajas que sirven como vasos reguladores. Al respecto, en diversos estudios realizados sobre riesgos ante inundaciones se indica que los riesgos se incrementan cuando en una comunidad no existe un Plan de Ordenamiento Territorial, o bien que el Plan establecido no es el adecuado, pues no se debe permitir la construcción de viviendas en las llanuras de inundación y en zonas de alto riesgo (Cardona y Hurtado, 2000; Rodríguez, 2002).

Por ello, para mitigar y reducir el daño ante este fenómeno es necesario establecer estudios sobre percepción del riesgo a inundaciones; ya que en estudios realizados en diferentes partes del mundo se argumenta que la percepción del riesgo es un proceso estratégico idóneo para conocer los actores sociales involucrados en la dinámica de su territorio, y las capacidades y recursos que se disponen para prevenir y mitigar un desastre; por lo que la definen como el arte de unir fuerzas en función de la vida y el Desarrollo Humano Sostenible (PRODESAMH, 2000; Vallejo y Vélez 2002; Karlin, 2004; Salgado, 2005).

3.5.3 Percepción de la vulnerabilidad social

Los resultados, para conocer la participación de las diversas organizaciones internas no gubernamentales y los tres niveles de gobierno (Federal, Estatal y Municipal) en la prevención y mitigación de los riesgos a inundaciones, se describen en la Tabla 3.1

De los cuales, el 92% de las personas encuestadas coinciden que no existe ninguna organización social dentro de la comunidad (no gubernamental), de la misma manera presentan deficiencias en cuanto a la participación del gobierno federal (61%), estatal (63%) y municipal (73%) (Tabla 3.1).

En cuanto a la participación, el 3% afirma que existen organizaciones sociales en la prevención de este fenómeno, con respecto a la participación del gobierno Federal y Estatal el 23% respondió afirmativamente, únicamente el 12% tiene una respuesta afirmativa de la participación del gobierno Municipal (Tabla 3.1). De acuerdo a nuestros resultados obtenidos tanto de las organizaciones sociales y gubernamentales, es notable la falta de interés que tienen en la prevención y mitigación de riesgos a inundaciones.

Tabla 3.1. Porcentaje (%) de participación de las organizaciones sociales no gubernamentales y gubernamentales en la prevención y mitigación de las inundaciones.

Tipo de organización	Sin Participación (%)	Con participación (%)	No sabe (%)	Dato perdido (%)
Organización social (N.G)	3	92	2	3
Gobierno Federal	23	61	5	11
Gobierno Estatal	23	63	4	10
Gobierno Municipal	12	73	5	10

N.G: No gubernamental.

De las organizaciones gubernamentales que participan para prevenir el riesgo a inundaciones de las personas encuestadas el 34% percibe que no existe ninguna organización en los tres niveles de gobierno (Federal, Estatal y Municipal), de las organizaciones gubernamentales en la prevención y mitigación el riesgo a las inundaciones destacan con 17% de Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), el 14% la Marina y ejército, 9% protección civil (Figura 3.6) y las actividades son llevadas a cabo durante y después del desastre (38%).

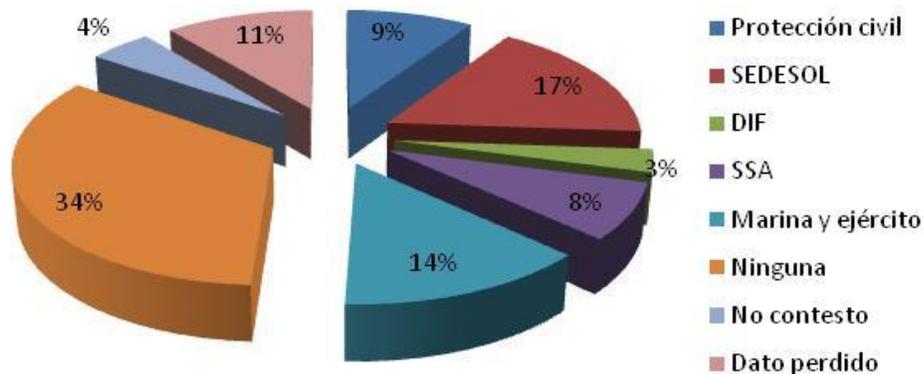


Figura 3.6. Organizaciones gubernamentales para prevenir el riesgo a inundaciones.

A nivel de hogar es de suma importancia conocer el grado de preparación para enfrentar una contingencia, de los cuales el 55% guarda alimentos, 36% tiene linternas, 6% posee cayucos, 63% guarda documentos, 35% tiene impermeables, 27% tiene paraguas y 27% se informa sobre el estado del tiempo.

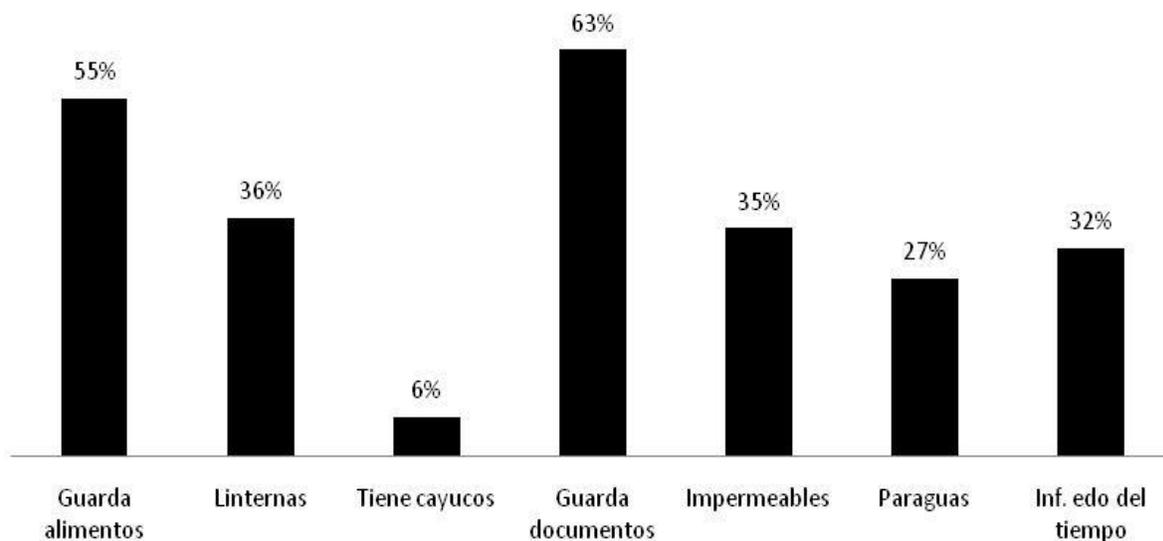


Figura 3.7. Preparación de los hogares para enfrentar una contingencia por inundación.

De acuerdo con la información generada, la posibilidad de un desastre en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco puede incrementarse debido a que existe una mínima participación de organizaciones sociales y gubernamentales y una escasa preparación de los habitantes para hacer frente a las contingencias; y de igual manera se detecto

una falta de organización y participación de organizaciones sociales y gubernamentales en la prevención y mitigación de desastres. Lo anterior conlleva a deducir que la población estudiada es altamente vulnerable ante las inundaciones, ya que en los estudios realizados por Karlin (2004) y Salgado (2005), sobre análisis del riesgo de inundaciones y deslizamientos, se establece que la vulnerabilidad social está relacionada a la cohesión interna que posee una comunidad. Por consiguiente, cuanto mejor y mayor se desarrollen las interrelaciones de manera cuantitativa y cualitativa entre los miembros de una comunidad, con el conjunto social y el fortalecimiento de organizaciones encargadas para prevenir y mitigar desastres, la comunidad será menos vulnerable.

3.5.4 Percepción de la resiliencia después de ocurrido una inundación

En la percepción sobre la resiliencia después de ocurrido una inundación fue necesario conocer si en alguna ocasión el inmueble o pertenencias del encuestado se había visto afectado por problemas de inundación. Según las encuestas aplicadas, el 75 % afirma haber sufrido una inundación y el 25% no había sido afectado por este fenómeno, y además manifestaron un tiempo de recuperación a este evento de días hasta más de dos años, siendo el tiempo de recuperación de seis meses (62%) y de días (8%) las respuestas con mayor porcentaje (Figura 3.8). Aunque también el tiempo de recuperación de más de 2 años (6%) presenta una respuesta porcentual próxima a la de días (8%).

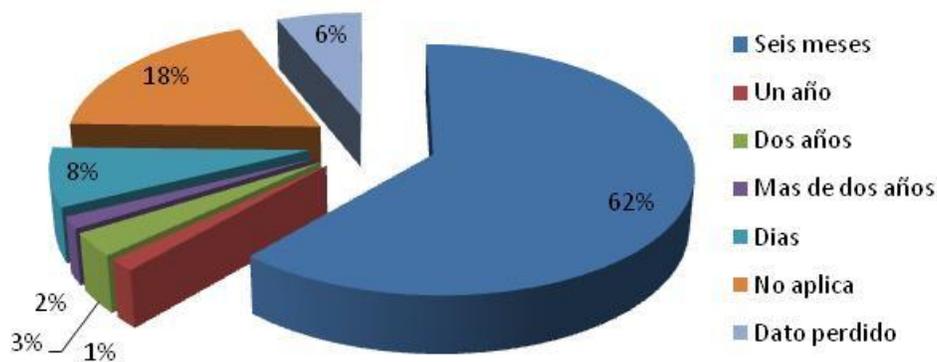


Figura 3.8. Tiempo de recuperación después de una inundación.

Las grandes diferencias y similitudes porcentuales entre las respuestas de los tiempos de recuperación por efecto de inundación puede explicarse considerando la situación económica de la población, dado que únicamente el 6% de los encuestados perciben su situación económica como buena, la mayoría se percibe como regular (46%), el 31% más o menos para vivir y el 15% se percibe con una situación mala. Al respecto, algunos autores que han evaluado la percepción del riesgos a inundaciones, afirman que el nivel económico de las sociedades afectadas por inundación tienen implicaciones distintas (Cardona, 2001; Rodríguez, 2007; Pacheco, 2009). En un país rico un desastre pueden pasar desapercibido por las pocas personas afectadas, mientras que en un país pobre este evento sería una catástrofe, siendo las sociedades de bajo nivel económico las más afectadas.

En la Cuenca Cárdenas-Comalcalco, algunas personas argumentan que en un tiempo corto es muy difícil de recuperarse de los daños y pérdidas ocasionadas por las inundaciones, principalmente cuando no se tienen ingresos fijos. Dentro del grupo de personas encuestadas con buena posición económica se indica que su recuperación fue rápida pues los daños recibidos eran menores, y por lo general sus viviendas están localizadas en zonas altas o tienen casas de dos plantas; mientras que las personas de bajo nivel económico declaran que sus viviendas son de una planta y se localizan en los márgenes de ríos, lagunas, en zonas bajas o bien no rellenaron lo suficiente para disminuir el daño. La construcción de sus casas en estas zonas es debido al precio de

los lugares seguros que es muy elevado y al no poder adquirirlos se establecen en las zonas de alto riesgo, y por lo tanto son los mayormente afectados por las inundaciones.

3.5.5 Percepción de la mitigación del riesgo

Contar con información oportuna acerca de los daños que existen, antes, durante y después de una inundación, es fundamental para prevenir pérdidas humanas o materiales. Por ello, en la encuesta se preguntó acerca de si las organizaciones gubernamentales, tanto federal, estatal como municipal, les han informado acerca del peligro o que hacer ante una inundación. El 49% afirmó que no han sido informados percibiéndose como una mala atención, el 31% percibe que se informan por medio del estado del tiempo en la radio y televisión y el 20% afirma que si han sido informados.

Una manera de evaluar la mitigación de los efectos de una inundación es valorar si existe algún tipo de ayuda que puedan aportar las autoridades gubernamentales, ya que dicha ayuda podría incrementar los niveles de resiliencia y acelerar la recuperación de las personas. En este sentido a los encuestados se les preguntó si habían recibido algún tipo de ayuda durante una inundación, según las respuestas analizadas indican que al menos un 61% había recibido ayuda durante alguna inundación, el 34% no aplicaron y 5% de los encuestados no contestó. Los apoyos recibidos durante alguna inundación correspondieron en atención de salud, víveres y albergues (17%), en víveres y ropa (12%), víveres, ropas y albergues (9%), en salud (8%), económicamente, víveres y ropa, salud y albergues (6%) y sólo un 2% había recibido ayuda en salud y económicamente (ver Figura 3.9).

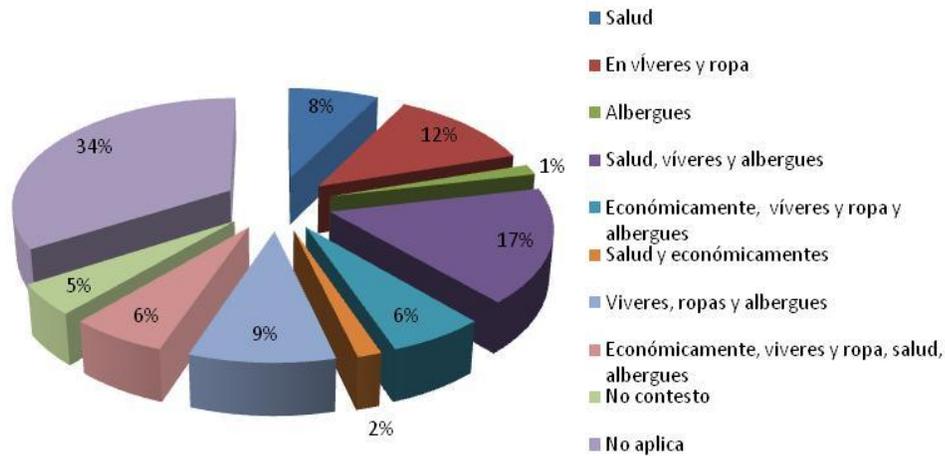


Figura 3.9. Apoyos brindados durante una inundación.

Diversas investigaciones sobre percepción de las inundaciones evalúan a las instituciones gubernamentales con las atenciones y la prevención y mitigación brindada a las sociedades durante las inundaciones (Vallejo y Vélez, 2002; Karlin, 2004; Salgado, 2005). En este caso en la Cuenca estudiada existe falta de atención sobre las inundaciones por parte de las instituciones gubernamentales o del gobierno Federal, Estatal y Municipal, por lo que se deberán diseñar políticas públicas para informar las medidas a seguir antes, durante y después de una inundación, y para brindar atención a la ciudadanía en su prevención y mitigación.

3.5.6 Percepción de la vulnerabilidad ambiental

El deterioro ambiental es un factor importante en el incremento de daños por inundaciones, por lo cual en las zonas de riesgo se deben realizar acciones para cuidar el entorno. Rosas *et al.* (2006) y Salas y Jiménez (2007), afirman que los cuidados medioambientales son de gran importancia para la prevención del riesgo por las inundaciones.

En la zona de estudio, el 62% de las personas encuestadas afirman que realizan actividades para cuidar el medio ambiente y el 38 % no realiza ninguna actividad (Figura 3.10). Dentro de las actividades realizadas para el cuidado y conservación del medio ambiente hubo una gran variabilidad en las respuestas, sin embargo se destaca que el 22% de los encuestados realizan actividades sobre la disminución en la tala de

árboles, el 15% argumenta que no la tiran la basura en los arroyos, ríos y lagunas (15%) y otros argumentan la limpieza de sus calles y que no tiran basura en los cuerpos de agua (Figura 3.10).

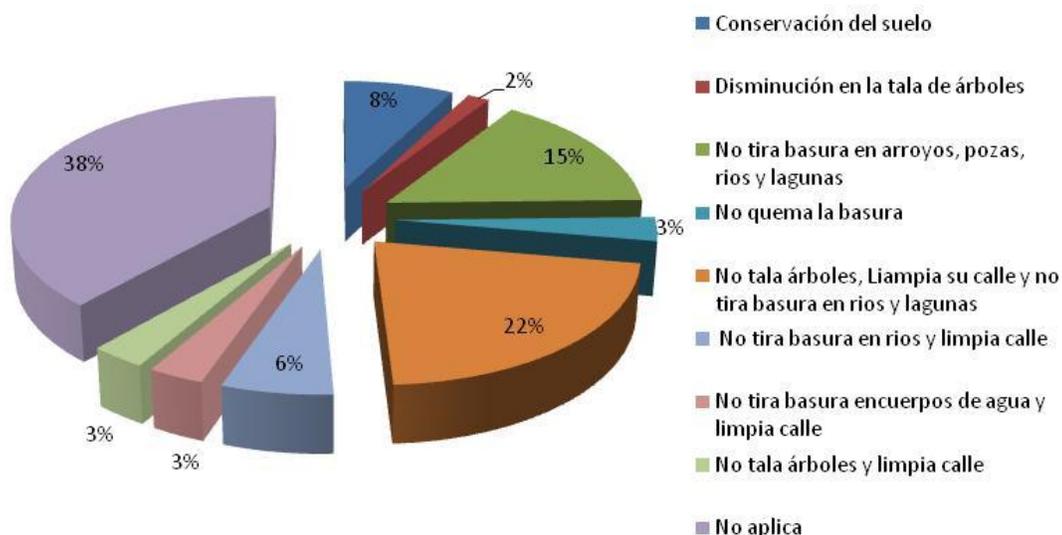


Figura 3.10. Actividades realizadas para el cuidado y conservación del medio ambiente.

La influencia de la cobertura vegetal del suelo en las inundaciones ha sido estudiada ampliamente por Camorani *et al.* (2005) y Rugai (2008). Es sabido que un cambio de la cobertura vegetal del suelo genera una alteración en el balance hídrico de las cuencas, por lo que incrementa el riesgo a inundación debido a la concentración del escurrimiento superficial del agua precipitado por falta de infiltración (Mendoza *et al.*, 2002; Pérez y Ortiz, 2002), ya que las coberturas naturales por medio de sus sistema de raíces ayudan a crear espacios de aire en el suelo ayudando significativamente a la infiltración (Rey *et al.*, 2004). Por el contrario, las coberturas de las grandes urbanizaciones incrementan el escurrimiento hasta seis veces en comparación con la cobertura natural, de igual forma los suelos compactados por la ganadería, sobre todo en los terrenos con pastizales, presentan serios problemas de infiltración ya que se presentan de manera lenta, ocasionando un mayor escurrimiento.

Debido a la falta del cuidado y conservación del medio ambiente en la Cuenca Cárdenas.-Comalcalco, según lo que manifiestan las personas encuestadas, se podría incrementar el riesgo a inundaciones, por lo que es necesario tomar medidas para concientizar a la población sobre los beneficios de la cobertura vegetal en la reducción del riesgo a inundaciones.

3.6 CONCLUSIONES

Con la realización de este Capítulo se generó información importante que permite establecer las siguientes conclusiones:

De acuerdo con las características de las viviendas de la Cuenca, los hogares con nivel económico bajo, se perciben como los más afectados en cuanto a daños materiales y humanos al momento de enfrentar una contingencia por inundación.

La falta de participación de las organizaciones sociales y gubernamentales en las inundaciones registradas, así como el manejo de la información antes, durante y después de ocurrido un desastre por inundación permiten establecer que la población se percibe socialmente como altamente vulnerable ante las inundaciones.

El crecimiento demográfico no regulado de la población, y la falta de un ordenamiento territorial adecuado, conllevan a que los nuevos pobladores se establezcan y ocupen zonas de alto riesgo a inundaciones (llanuras de inundación o rellenen lagunas que sirven como vasos reguladores), incrementándose los daños por este tipo de desastre.

La falta de apoyos de las instituciones gubernamentales antes, durante y después de una contingencia por inundación provoca que el tiempo de recuperación de las personas afectadas por las inundaciones sea lento y costoso.

Es necesario diseñar políticas públicas en los tres niveles de gobierno (Federal, Estatal y Municipal), donde se informen a los habitantes con riesgo a inundación, antes, durante y después de un desastre para su mitigación.

Es necesario establecer una red de albergues donde se ubiquen en zonas seguras y que las personas que habitan en zonas de alto riesgo puedan recurrir en épocas críticas y lluviosas.

Los cuidados medioambientales son importantes para reducir el riesgo a inundaciones, por lo que se debe concientizar a la población de la Cuenca para su reforestación, tanto de aguas arriba como de aguas abajo, ya que los sistemas de las raíces ayudarían a disminuir el escurrimiento superficial y la erosión de suelo.

3.7 BIBLIOGRAFÍA

- Arranz L. M., 2008. El riesgo de inundaciones y la vulnerabilidad en áreas urbanas. Análisis de casos en España. *Estudios geográficos*, 59 (265), 385-416.
- Blaikie P., Terry C., Lan D. y W. Ben, 1994. Vulnerabilidad el entorno social, político y económico de los desastres, 23-40.
- Bosque J., Díaz C., Díaz M., Gómez M., González D., Rodríguez V. y J. Salado, 2004. Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid. *GeoFocus*, 4, 44-78.
- Brunswik E., 1956. Perception and the representative desig of phsicology experiments. 2da. Ed. Univercty of California Press. U.S.A.
- Camaroni G., A. Castellarin y A. Brath, 2005. Effects of land-use changeson the hydrologic response of reclamation systems. *Physics and Chemistry the Earth*, 30, 561-574.
- Cardona O. y J. Hurtado, 2000. Modelación Numérica para la estimación holística del riesgo sísmico urbanos considerando variables técnicas, sociales, y económicas. Universidad de los Andes Bogotá Colombia.
- Cardona O., 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. CEDERI-Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. www.desenredando.org.
- Cardona O., 1996. Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados. En ciudades en riesgo, degradación ambiental riesgos urbanos y desastres. *La Red*. 57-74.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), 1994. Atlas Nacional de Riesgos. 121 pp.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), 2001. Diagnostico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. 225 pp.
- CEPAL (Comisión Económica de América Latina y el Caribe), 2000. La reducción de la vulnerabilidad un tema de desarrollo. 45 pp.
- Chardon A. C., 1997. La percepción del riesgo y los factores socioculturales de vulnerabilidad. *Desastres y sociedad*, 18, 1- 34.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2005. Productos climatológicos. Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/>.
- Cutter S. C., 1999. Environmental Risks and Hazardas. Rutgers University. India. 4-15.

- Douben K.J., 2006. Characteristics of river floods and flooding: A global overview, 1985–2003. *Irrigation and drainage*, 55, 9–21.
- Escudero B. L., 2007, Caracterización de la Sequia en el Estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 126 pp.
- Evans J., A. B. Fernández, A.G. Gavilán, I. I. Lema, M. C. Martínez, P. R. Romero y M. Zuk, 2003. Introducción al análisis de riesgos ambientales. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). 124 pp.
- Ferrando F. J., 2003. En torno a los desastres naturales: Tipología, conceptos y reflexiones. *Boletín del Instituto de la Vivienda*, 18 (47), 15-31.
- García E., 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Núm. 6. México D.F. 90 pp.
- Garnica P. R. y Alcántara A. I., 2004. Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.*, 55, 23-45.
- Gómez G. B. 2010. Potencial agroecológico de los huertos familiares en el municipio de H. Cárdenas, Tabasco: Permanencia y prospectiva de desarrollo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, Texcoco, estado de México, 71 pp.
- González R., F. Juárez, J. Obrador, E. Carrillo, y J. Zavala, 2010. Distribución temporal y la probabilidad de ocurrencia de valores extremos de la precipitación pluvial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. Artículo sometido a la revista *Atmosfera*.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2005. Censo de Población y Vivienda. www.inegi.gob.mx.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2008. Anuario estadístico Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco. México. 597 pp.
- Karlin Y., 2004. Análisis de vulnerabilidad a deslizamientos en el Distrito de Orosi, Provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis de maestría. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 168 pp.
- Laguna C. J. y A. A. Sánchez, 2006. La apreciación de los peligros de desastres en Cuba: tarea de toda sociedad. *Entorno geográfico*, 4, 89-105.
- Lavell A. T., 1993. Ciencias sociales y desastres naturales en América Latina: un encuentro inconcluso. En: *Los desastres no son naturales*. Marskey. A. comp. CO. La Red. 111-127.

- Lavell A., 2003. La Gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. CEPREDENAC-PNUD, Panamá. 102 pp.
- Llanes B. C., 2003. Los desastres nunca serán naturales. Boletín del Instituto de la vivienda, Universidad de Chile, 18(47), 41-53.
- Maskrey A., 1997. Comunidad y desastre en América Latina: Estrategias de intervención. En: Viviendo en riesgo: Comunidades vulnerables y prevención de desastre en América Latina. La RED. 14-39.
- Matlin W. y J. Foley, 1996. Sensación y Percepción. México D. F. 554 pp.
- Mendoza M., G. Bocco, E. López y M. Bravo, 2002. Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 49, 92-117.
- Munch G. L. y E. Ángeles, 2005. Métodos y técnicas de investigación. Ed. Trillas. México D. F. 125–145.
- OFDA/CRED., 2010. International Disasters Database. Office of US Foreign Disaster Assistance (OFDA) and the Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Université Catholique de Louvain. Brussels, Belgium. www.emdat.be/database. (Accesado septiembre 2010).
- Ojeda M. I., 2001. Evaluación de la eficiencia del programa de tránsito cruces uno por uno, en la ciudad de Orizaba, Veracruz, mediante la técnica de simulación. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Orizaba. México. 189 pp.
- Pacheco C. A. 2009. Identificación de riesgos por inundaciones en Tlapa, Guerrero. Tesis de maestría en Geografía. UNAM. Morelia, Michoacán. 96 pp.
- Pérez V. A y M. P. Ortiz, 2002. Cambio de la cubierta vegetal y la vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 48, 90-105.
- PRODESAMH (Proyecto de Desarrollo Ambiental de Honduras), 2000. Taller de mitigación de desastres. San Pedro Sula Honduras. 85 pp.
- Rey F., J. L. Ballais, A. Marre, y G. Rovéra, 2004. Rôle de la vegetation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. C. R. Geoscience 336, 991-998.
- Ribera M. L., 2005. El sector comercial de Girona y las inundaciones del río Onyar: vulnerabilidad, percepción y seguro. Gerencia de riesgos y seguros, 89, 21-29.

- Ríos D. y M. Murgida, 2004. Vulnerabilidad cultural y escenarios de riesgos por inundaciones. GEOUSP-Espaço e Tempo, 16, 181–192.
- Rock I., 1995. Perception Scintific American Library. U.S.A.
- Rodríguez E. J., 2007. La conformación de los desastres naturales. Construcción social del riesgo y variabilidad climática Mexicali, B.C: Colegio de la Frontera Norte, 19 (37), 83-112.
- Rodríguez E. J., 2002. Los desastres naturales en Mexicali, B.C: Diagnóstico sobre el riesgo y la vulnerabilidad urbana. Colegio de la Frontera Norte, 14 (27), 123-153.
- Rosas P. I., G. C. Ortiz, Y. N. Cruz y A. S. Larqué, 2006. La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. En: Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1(6), 123-141.
- Rugai D.S., 2008. Combined hydrological and hydrodynamic modeling for flood hazard assessment: a case study of upper Kaluganga catchment, Ratnapura, Sri Lanka. 88 pp.
- Salas M. A. y E. M. Jiménez, 2007. Inundaciones, serie fascículos s/n. CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastre). 53 pp.
- Salgado M. R., 2005. Análisis integral del riesgo a deslizamientos e Inundaciones en la microcuenca del río gila, Copán, Honduras. Tesis de maestría. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 272 pp.
- Vallejo A. y J. A. Vélez, 2002. Percepción del riesgo en los procesos de urbanización del territorio. Entorno Geográfico, 1(1), 70-78.
- Velázquez G., 2001. Las inundaciones en Tabasco. Ensayó monográfico. Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco. México. 350 pp.

IV BIBLIOGRAFIA GENERAL

- Al-Abed, N., F. Abdulla, and A. K. Abu, 2005. GIS-hydrological models for an aging water resource in the Zarqa River basin. *Environmental Geology*, 47, 405-411.
- Álvarez M., J. Puertas, B. Soto y F. Díaz, 1999. Análisis regional de las precipitaciones máximas en Galicia mediante el método del índice de avenidas. *Ingeniería del agua* 6, 283-290.
- Anaya G. M., M. M. Martínez, C.A. Trueba, S. B. Figueroa y M. O. Fernández, 1977. Manual de conservación de suelo y de agua. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 577 pp.
- Aparicio F., 2002. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa, Noriega Editores, 303 pp.
- Aral M. and A. Babar, 2000. Geographic Information System Integrated Groundwater Flow and Contaminant Fate and Transport Modeling. Disponible en: <http://mes13.ce.gatech.edu/mes1/research/saints/index.html>. Consultado abril del 2009.
- Arnáiz M., 1976. Componentes primarios del ciclo hidrológico. En Custodio, E. y Llamas, M.R. (ed.). *Hidrología subterránea*. Editorial Omega. Barcelona. 283-350.
- Arranz L. M., 2008. El riesgo de inundaciones y la vulnerabilidad en áreas urbanas. Análisis de casos en España. *Estudios geográficos*, 59 (265), 385-416.
- Ayala F. y J. Olcina, 2002. Riesgos naturales: Utilidad de los fractales en la prevención de riesgos naturales, su aplicación en sismicidad, deslizamientos e inundaciones (P. Gumiel). Cap. 8, 73-190 pp.
- Beguiria S. y A. Lorente, 1999. Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés occidental. *Geographicalia* 37, 17-36.
- Belmonte S. y V. Núñez, 2006. Desarrollo de modelos hidrológicos con herramienta SIG. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la información Geográfica*, 6, 15-27.
- Blaikie P., Terry C., Lan D. y W. Ben, 1994. Vulnerabilidad el entorno social, político y económico de los desastres, 23-40.
- Bosque J., Díaz C., Díaz M., Gómez M., González D., Rodríguez V. y J. Salado, 2004. Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid. *GeoFocus*, 4, 44-78.
- Box G. E. P. y G. Jenkins, 1970. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. San Francisco. Holden Day. 553 pp.

- Brooks N. K., F. P. Folliott, M. H. Gregersen y L. J. Thames, 1991. Iowa State University. Hidrology and the Management of Watersheds. 392 pp.
- Brunswik E., 1956. Perception and the representative design of psychology experiments. 2da. Ed. University of California Press. U.S.A.
- Camaroni G., A. Castellarin y A. Brath, 2005. Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems. Physics and Chemistry the Earth, 30, 561-574.
- Campos A. D., 2005. Agroclimatología cuantitativa de cultivos. Ed. Trillas. México D.F. 320 pp.
- Campos A. D., 2008. Ajuste Regional de la Distribución GVE en 34 Estaciones Pluviométricas de la Zona Huasteca de San Luis Potosí, México. Agrociencia, 42, 57-70.
- Cardona O. y J. Hurtado, 2000. Modelación Numérica para la estimación holística del riesgo sísmico urbanos considerando variables técnicas, sociales, y económicas. Universidad de los Andes Bogotá Colombia.
- Cardona O., 1996. Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados. En ciudades en riesgo, degradación ambiental riesgos urbanos y desastres. La Red. 57-74.
- Cardona O., 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. CEDERI-Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. www.desenredando.org.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), 1994. Atlas Nacional de Riesgos. 121 pp.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), 2001. Diagnostico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. 225 pp.
- CEPAL (Comisión Económica de América Latina y el Caribe), 2000. La reducción de la vulnerabilidad un tema de desarrollo. 45 pp.
- Chaparro E. y M. Renard, 2005. Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenaza siconaturales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 91, 145 pp.
- Chardon A. C., 1997. La percepción del riesgo y los factores socioculturales de vulnerabilidad. Desastres y sociedad, 18, 1- 34.
- Chastagnaret G. y A. O. Gil, 2006. Riesgo por inundaciones en el mediterráneo occidental. Casa Velázquez. Universidad de Alicante. Madrid, España. 295 pp.

- Chow T., D. Maidment y L. Mays, 1994. Hidrología Aplicada. Ed. Mc Graw-Hill. 584 pp.
- Cid L., C. Mora y M. Valenzuela, 1990. Estadística matemática. Probabilidades e Inferencia estadística. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de matemáticas. 319 pp.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2005. Productos climatológicos. Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/>. Consultado diciembre 2008.
- Cutter S. C., 1999. Environmental Risks and Hazardous. Rutgers University. India. 4-15.
- Díez H. A., 2002. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales. Ed. En Laín Huerta, Luis. Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y en el medio ambiente. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Medio Ambiente, 87-112.
- Diez H. A., 2008. ¡Doctor, Doctor.... que se me inunda la casa!. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 16(1), 35-42.
- Domínguez M. R. D. Pereyra, L. Gómez, I. Sosa y J. A. A. Pérez, 1999. Estimación de las características de infiltración puntual en los diversos suelos de la Cuenca del río Ídolos y su relación con la infiltración global de dicha Cuenca. Universidad Veracruzana e Instituto de Ingeniería de la UNAM. Informe Técnico, 53 pp.
- Douben K.J., 2006. Characteristics of river floods and flooding: A global overview, 1985–2003. Irrigation and drainage, 55, 9–21.
- Douben N. y M. W. Ratnayake, 2005. Characteristic data on river floods; facts and figures. In Floods, from Defence to Management, Symposium Papers, van Alphen J, van Beek E, Taal M (eds). Taylor y Francis Group: London, UK; 11–27
- ERN (Evaluación de Riesgos Naturales), 2007. Inundación en Tabasco por eventos meteorológicos. Disponible en línea. <http://www.ern.com.mx/pdf/Inundacion/ERN-071107-I01.pdf>. Consultado julio 2009.
- Escudero A. B., 2007. Caracterización de la Sequia en el Estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 126 pp.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2007. ArcHydro for ArcGis 9. Redlands, California, USA.
- ESRI. (Environmental System Research Institute), 2004. ArcGIS 9. Getting Started With ArcGIS. Sistema de información. USA. 265 pp.
- ESRI. (Environmental System Research Institute). 2006. ArcGIS 9. Getting Started With ArcGIS. Sistema de información. USA.

- Evans J., A. B. Fernández, A.G. Gavilán, I. I. Lema, M. C. Martínez, P. R. Romero y M. Zuk, 2003. Introducción al análisis de riesgos ambientales. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). 124 pp.
- Felicísimo A. M. 1994. Modelos Digitales de Terreno: introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Ed. Pentalfa. Oviedo–España.122 pp.
- Fernández T. R. y R. T. Geller, 2004. Modelo Digital de Elevación de la zona emergida del ecosistema sabana Camagüey, Cuba. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra, 94, 1-14.
- Ferrando F. J., 2003. En torno a los desastres naturales: Tipología, conceptos y reflexiones. Boletín del Instituto de la Vivienda, 18 (47), 15-31.
- Fuentes O., R. Domínguez y V. Franco, 1981, Relación entre Precipitación y Escurrimiento. Manual de diseño de obras civiles, Sección Hidrotecnia. C.F.E. 66 pp.
- García E., 2003. Distribución de la precipitación en la república mexicana. Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 50, 67-76.
- García E., 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Num. 6. México D.F. 90 pp.
- Garnica P. R. y Alcántara A. I., 2004. Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM., 55, 23-45.
- Gómez G. B. 2010. Potencial agroecológico de los huertos familiares en el municipio de H. Cárdenas, Tabasco: Permanencia y prospectiva de desarrollo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, Texcoco, estado de México, 71 pp.
- González R., Juárez F., Obrador J., Carrillo E. y J. Zavala, 2010. Distribución temporal y la probabilidad de ocurrencia de valores extremos de la precipitación pluvial en la Cuenca Cárdenas-Comalcalco. Artículo sometido a la revista Atmosfera.
- Gülay O.L., Nilgün H. and G. Ali, 2010. A hydrologic and hydraulic combined modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. Nat. Hazards, 54, 245-260.
- Gumbel E. J., 1958. Statistics of Extremes. Columbia University Press, New York, USA.
- Gutiérrez P. J. y M. Gould, 2000. Sistema de Información Geográfica. Universidad Complutense de Madrid. Ed. Síntesis, 1, 11-39.

- Hawkins R.H., J. Ruiyun, E. D. Woodward, T. A. Hjelmfelt, E.J. VanMullen y B. Montana, 2001. Runoff Curve Number Method; examination of the initial abstraction ratio (en línea): University of Arizona, School of Renewable Natural Resources. Disponible en línea: <ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/support/water/hydrology/Hawkins.doc>, consultado: 5 de febrero de 2009.
- Hazen A., 1914. Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply. Transactions of the American Society of Civil Engineers. 77, 1539 -1669 pp.
- Horcajada H. T., M. S. Cruz y P. A. Dorta, 2000. La constatación y validación de los mapas de riesgo de avenidas en pequeñas Cuencas hidrográficas mediante Sistema de Información Geográfica. Propuesta metodológica y aplicación a la ordenación del territorio. Boletín de la A.G.E., 30,135-154.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2005. Censo de Población y Vivienda. www.inegi.gob.mx.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2008. Anuario estadístico Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco. México. 597pp.
- INEGI, 2009. Modelos digitales de elevación escala 1:50 000. Generalidades y especificaciones. Aguascalientes, Ags, México.
- INEGI. 2001. Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags, México.
- Infante G. S. y G. L. Zárate, 1990. Métodos Estadísticos: Un enfoque Interdisciplinario. Editorial Trillas. México, D.F. 610 pp.
- Karlin Y., 2004. Análisis de vulnerabilidad a deslizamientos en el Distrito de Orosi, Provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis de maestría. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 168 pp.
- Kite G., 1977. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins, Colorado. Water Resources Publications. 224 pp.
- Koutsoyiannis D. and G. Baloutsos, 2000. Analysis of a Long Record of Annual Maximum Rainfall in Athens, Greece, and Design Rainfall Inferences. Natural Hazards, 29, 29-48.
- Koutsoyiannis D., 2004. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall, 1: Theoretical investigation. Hydrol. Sci. J. 49(4), 575–590.

- Koutsoyiannis D., D. Kozonis and A. Manetas, 1998. A Mathematical Framework for Studying Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships. *J. Hydrology*, 206, 118-135.
- Kraijenhoff D. A. y S. Van, 1977. Relación lluvia esorrentía y modelos para el calculo. In: Principios y aplicaciones de drenaje. ILRI Internacional Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, Holanda, 2, 263-342.
- Kurczyn R. A. Jorge, Kretschmar Thomas, y A. H. Corona, 2007. Evaluación del escurrimiento superficial en el noroeste del Valle Guadalupe, B.C., México., usando el método de Curvas Numeradas y Datos de Satélite. *Ciencias Geológicas*, 24 (1), 1-14.
- Kundzewicz Z. W. and Z. Kaczmarek, 2000. Coping with hydrological extremes. *Water International* 25, 66–75.
- Laguna C. J. y A. A. Sánchez, 2006. La apreciación de los peligros de desastres en Cuba: tarea de toda sociedad. *Entorno geográfico*, 4, 89-105.
- Lastra J. E. Fernández, A. Diez y J. Maquines, 2008. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Nat. Hazards*, 45, 277–293.
- Lavell A. T., 1993. Ciencias sociales y desastres naturales en América Latina: un encuentro inconcluso. En: Los desastres no son naturales. Marskey. A. comp. CO. La Red. 111-127.
- Lavell A., 2003. La Gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. CEPREDENAC-PNUD, Panamá. 102 pp.
- León Z. S. A., 1976. Bondad de ajuste de algunas funciones probabilísticas a la distribución de la lluvia. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad en Riego y Drenaje. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. México. 104 pp.
- León Z. S. y V. O. Palacios, 1977. Bondad de ajuste de algunas funciones probabilísticas a la distribución de lluvia. *Agrociencia*, 27, 51-6.
- Linsley R., M. Kohler y J. Paulhus, 1988. Hidrología para Ingenieros. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. Latinoamericana. D.F. México. 386 pp.
- Llanes B. C., 2003. Los desastres nunca serán naturales. *Boletín del Instituto de la vivienda*, Universidad de Chile, 18(47), 41-53.
- López C. F., 1998. Restauración Hidrológico-Forestal de Cuencas y control de la erosión. *Ingeniería Medioambiental*.

- Lugo H. J. y C. Córdova, 1992. Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 25, 25-63.
- Maderey R. L. y A. Jiménez, 2005. Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía. UNAM, 1, 100 pp.
- Maidment R. D. 2002. Arc Hidro Gis for water resources. Published by ISRRI. New York, 203 pp.
- Marquardt D. W., 1963. An Algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. J. Soc. Indust. Appl. Math. 11(2) 431-441.
- Martínez M.S. y D. A. Campos, 2010. Algoritmo para estimar características físicas en Cuencas rurales y su aplicación en el método racional, en la Región hidrológica. No. 12 parcial (Río Santiago). Agrociencia, 44, 393-408.
- Maskrey A., 1997. Comunidad y desastre en América Latina: Estrategias de intervención. En: Viviendo en riesgo: Comunidades vulnerables y prevención de desastre en América Latina. La RED. 14-39.
- Massey F. J., 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. J. Amer. Statist Ass. 46, 70 pp.
- Matlin W. y J. Foley, 1996. Sensación y Percepción. México D. F. 554 pp.
- McKinney C. D. y B. A. Czekanski, 2006. Introduction to Arc-Hidro: ACEH Basin Pilot Study. Center for Research in Water Resources. University of Texas EEUU. This document is available online vía World Wide Web at. <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>. Consultado septiembre 2009.
- Méndez G. J.; C. J. Navarro y O. V. González, 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 65, 38-55.
- Mendoza M. E. G. Boceo, C. Siebe y M. A. Ortiz, 2002. Modelación Hidrológica espacialmente distribuida: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en Cuencas no instrumentadas. Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 47, 36-58.
- Mendoza M., G. Bocco, E. López y M. Bravo, 2002. Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 49, 92-117.

- Mintegui J. y F. López, 1990. La ordenación Agrohídrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria Gasteiz. España. 306 pp.
- MOPT, 1992. Guía para la elaboración de estudio del medio físico. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. 809 pp.
- Munch G. L. y E. Ángeles, 2005. Métodos y técnicas de investigación. Ed. Trillas. México D. F. 125–145.
- Munich R., 1997. Flooding and Insurance. Münicher Rückversicherungs-Gesellschaft: Munich, Germany
- Murillo S. E., 2002. Estudio del efecto del Cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la subcuenca 24Bf Monterrey. Aplicando SIG. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Nuevo León, México. 199 pp.
- NASA., 2009. <ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/>. Consultado en enero del 2009.
- Neteler, M. and H. Mitasova, 2005. Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Second Edition Springer Science. Boston. 417 pp.
- Niño N. A., 2008. Ortofoto precisión y usos. Universidad distrital de Colombia. En línea. <http://www.cartesia.org/article.php?sid=409>. Consultado diciembre 2009.
- NRCS (Natural Resources Conservation Service), 2002. National Soil Survey Handbook. en línea: title 430-VI, <http://soils.usda.gov/technical/handbook/>. Consultado el 20 de julio 2009.
- OFDA/CRED., 2010. International Disasters Database. Office of US Foreign Disaster Assistance (OFDA) and the Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Université Catholique de Louvain. Brussels, Belgium. www.emdat.be/database. (Accesado septiembre 2010).
- Ojeda M. I., 2001. Evaluación de la eficiencia del programa de tránsito cruces uno por uno, en la ciudad de Orizaba, Veracruz, mediante la técnica de simulación. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Orizaba. México. 189 pp.
- OMM (Organización Mundial de Meteorología), 2006. Aspectos sociales y participación de los interesados en la gestión integrada de crecidas. Ginebra, Suiza. 96 pp
- Ortiz, P.M.A., C Siebe y S. Kram, 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. *En*: Bueno, J.,F. Álvarez y S. Santiago (Eds.). Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 14, 386 pp.

- Pacheco C. A. 2009. Identificación de riesgos por inundaciones en Tlapa, Guerrero. Tesis de maestría en Geografía. UNAM. Morelia, Michoacán. 96 pp.
- Palma D. J. y S. Triano, 2002. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco, Vol. II. Ed. Colegio de Posgraduados–ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 180 pp.
- Peralta H. A.R., R. C. Balling y L. R. Barba, 2009. Comparative analysis of indices of extreme rainfall events: Variations and trends from southern México. *Atmósfera*. 22(2), 219-228.
- Pereyra D.D., M. Ubando y B. Natividad, 2004b. Influencia de la Niña y el Niño sobre la Precipitación en el la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 20 (39), 33-38 pp.
- Pereyra D.D.; S.J. A. Pérez y R. L. Gómez, 2004a. Ecuaciones que estiman las curvas intensidad-duración-período de retorno de la lluvia. *GEOS*, 24 (1), 46-56.
- Pérez V. A y M. P. Ortiz, 2002. Cambio de la cubierta vegetal y la vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*. 48, 90-105.
- Pizarro R., A. Abarza y J. Flores, 2001. Determinación de las curvas intensidad-duración-frecuencia IDF para 6 estaciones pluviográficas de la VII región del Maule, Chile. *Revista virtual de la UNESCO*. 48 pp.
- Ponce V. M., 1989. *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Prentice-Hall, Inc., USA, 640 pp.
- PRODESAMH (Proyecto de Desarrollo Ambiental de Honduras), 2000. Taller de mitigación de desastres. San Pedro Sula Honduras. 85 pp.
- Pujadas F. J. y A. H. Díez, 2002. Los mapas de riesgos de inundaciones. En Ayala-Carcedo, F.J.; Olcina Cantos, J. (coord.). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel Ciencia. 997-1012 pp.
- Pusineri G., R. Pedraza y C. Lozeco, 2004. Uso de modelos digitales de elevación y de sistemas de información geográficas (SIG) en la modelación hidrológica. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fé Argentina. 8 pp.
- Quej C.V., 2007. Análisis pluviométrico y determinación de las necesidades generales de drenaje superficial en el estado de Campeche. Tesis de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical. Campus Campeche del Colegio de Postgraduados. San Francisco de Campeche, Campeche, México. 76 pp.
- Rey F., J. L. Ballais, A. Marre, y G. Rovéra, 2004. Rôle de la vegetation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *C. R. Geoscience* 336, 991-998.

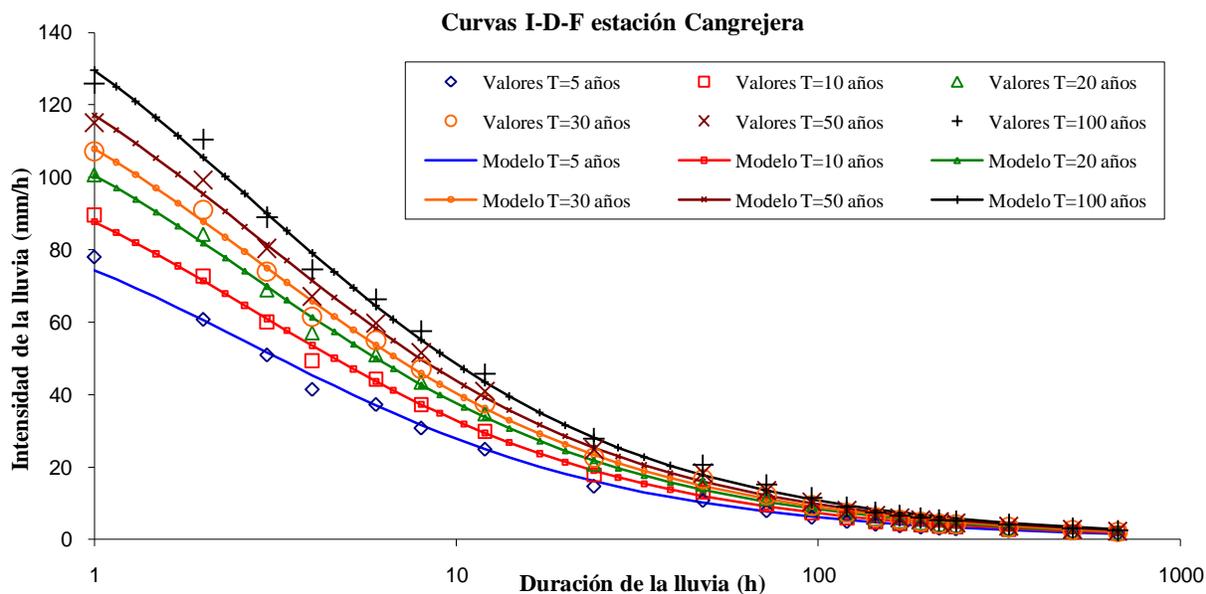
- Ribera M. L., 2004. Los mapas de riesgos de inundaciones, Representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Doc. Anàl. Geogr.* 43, 153-171.
- Ribera M. L., 2005. El sector comercial de Girona y las inundaciones del río Onyar: vulnerabilidad, percepción y seguro. *Gerencia de riesgos y seguros*, 89, 21-29.
- Ríos D. y M. Murgida, 2004. Vulnerabilidad cultural y escenarios de riesgos por inundaciones. *GEOUSP-Espaço e Tempo*, 16, 181–192.
- Rock I., 1995. *Perception Scintific American Library*. U.S.A.
- Rodríguez E. J., 2007. La conformación de los desastres naturales. Construcción social del riesgo y variabilidad climática Mexicali, B.C: Colegio de la Frontera Norte, 19 (37), 83-112.
- Rodríguez E. J., 2002. Los desastres naturales en Mexicali, B.C: Diagnóstico sobre el riesgo y la vulnerabilidad urbana. *Colegio de la Frontera Norte*, 14 (27), 123-153.
- Rodríguez, C. A., H. M. D. Encinas, D. Frías y S. Nieto, 2000. Impacto de índices climáticos en las variaciones de precipitación acumulada en los meses febrero, marzo y abril.
- Rosas P. I., G. C. Ortiz, Y. N. Cruz y A. S. Larqué, 2006. La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. En: *Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1(6), 123-141.
- Rugai D.S., 2008. Combined hydrological and hydrodynamic modeling for flood hazard assessment: a case study of upper Kaluganga catchment, Ratnapura, Sri Lanka. 88 pp.
- Ruyver R. y B. Maathuis, 2005. Optimización de un Modelo de Elevación Digital (DEM) para modelado hidrológico en la Región del Pantanal, Brasil. XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza, Argentina. 21 pp.
- Sáenz C. J.A., 2009. Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los periodos de retorno mediante R. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén. Informe Técnico para Imca. Ingenieros y arquitectos, S. A. 1- 12 pp.
- Salas M. A. y E. M. Jiménez, 2007. Inundaciones, serie fascículos s/n. CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastre). 53 pp.
- Salas R. L. y Y. A. Fernández, 2006. Nueva metodología para el análisis de la variable intensidad máxima anual de precipitación. *Ecología*, 20, 435-444.

- Salgado M. R., 2005. Análisis integral del riesgo a deslizamientos e Inundaciones en la microcuenca del río gila, Copán, Honduras. Tesis de maestría. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 272 pp.
- Salgado T. A., 2004. El MDE de celda hexagonal en la definición de Cuencas y redes de cauces. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos Texcoco Edo. De México. 82 pp.
- SENADO, 2008. Comisión de Asuntos Hidráulicos. Informe de las inundaciones del 2007, en el estado de Tabasco. 48 pp.
- Shan Y. P., Y. T. Chang y L. C. Chin-Sheng, 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. J. Hydrology, 295, 108-123.
- Shao S., 1970. Estadística para economistas y administradores de empresas. Editorial Herrero Hermanos, S.A. México. 786 pp.
- Smith J.A., 1993. Handbook of Hydrology, Precipitation, McGraw-Hill, Inc. primera edición, USA. Capítulo III.1-47 pp.
- Srinivasan R., 2006. r.fill.dir. Filters and generates a depression less elevation map and a flow direction map from a given elevation layer. Módulo incluido en Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS).
- Treviño G.E., R. C. Muñoz, C. C. Cavazos y C. L. Barajas, 2002. Evaluación del flujo hídrico superficial en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. Ciencia UANL. 5 (4), 525-530.
- Treviño P. A. y M. Morad, 2001. Sistemas de información Geográfica y modelizaciones hidrológicas, una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación. Universidad de Alicante, España. Boletín de la A.G.E, 31, 23-46.
- Ulloa R.N. J y M. J. L. Oropeza, 1994. Estudio hidrológico de la Cuenca del río Tonalá Caracterización física y análisis estadístico de las precipitaciones máximas. Serie ingeniería agrícola, 1, 15-18.
- Vallejo A. y J. A. Vélez, 2002. Percepción del riesgo en los procesos de urbanización del territorio. Entorno Geográfico, 1(1), 70-78.
- Vázquez R., A. Redaño y J. Lorente, 1987. Curvas de IDF en Barcelona-Fabra. Revista de obras publicas, 99-102.
- Velázquez G., 2001. Las inundaciones en Tabasco. Ensayo monográfico. Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco. México. 350 pp.

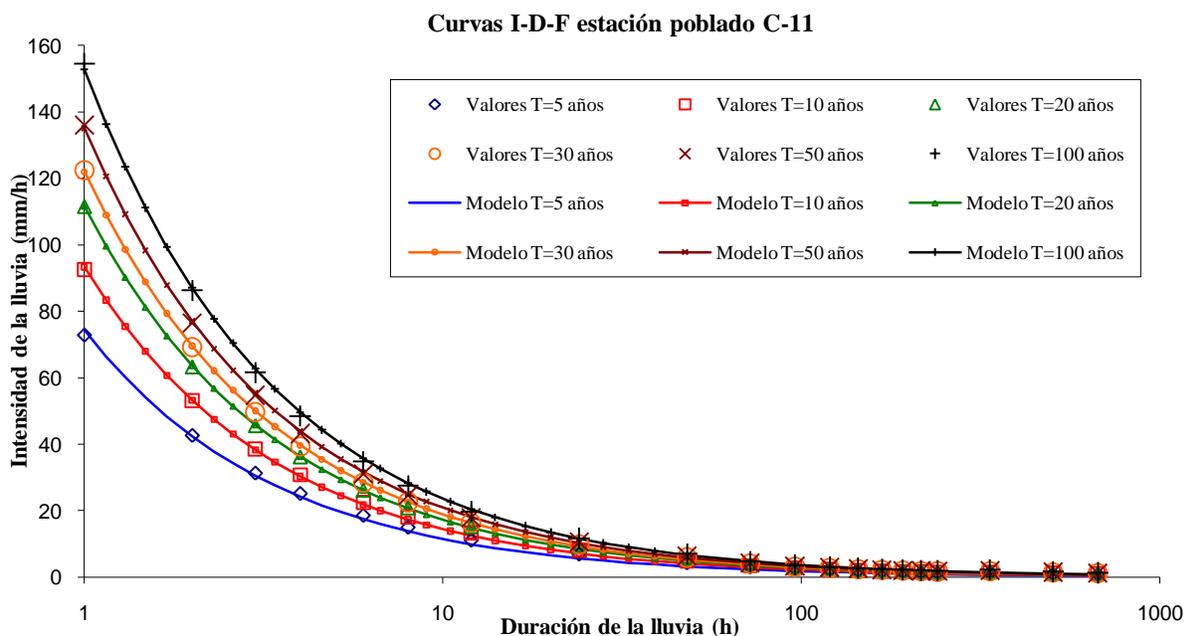
- Weisstein E. W., 1999. Gamma Distribution. From MathWorld-A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/GammaDistribution.html>. Consultado marzo 2010.
- West R.C., Psuty N. y. Thom B.G., 1985. Las tierras bajas de Tabasco en el Sureste de México. Instituto de Cultura de Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco. México, D.F., México. 409 pp.
- Willems P., 2000. Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two season and two storm types. J. of Hydrology. 233, 189-205.
- William W. S., 1989. Time Series Analysis. Univariate and Multivariate Methods. Addison-Wesley Publishing Company, 207-275.
- Williams. J. R. and H. D. Berndt, 1977. Sediment yield prediction base on watershed hydrology. Transactions of ASAI. 200 pp.
- Woodward, D.E.R., H. Hawkins, A. T. Hjelmfelt, J. E VanMullen y Q. D. Quan, 1999. Curve Number Method; Origins, applications and limitations (en línea): United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Disponible en línea: <ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/support/water/hydrology/Woodward.doc>. Consultado: 9 de abril de 2009.

V ANEXOS

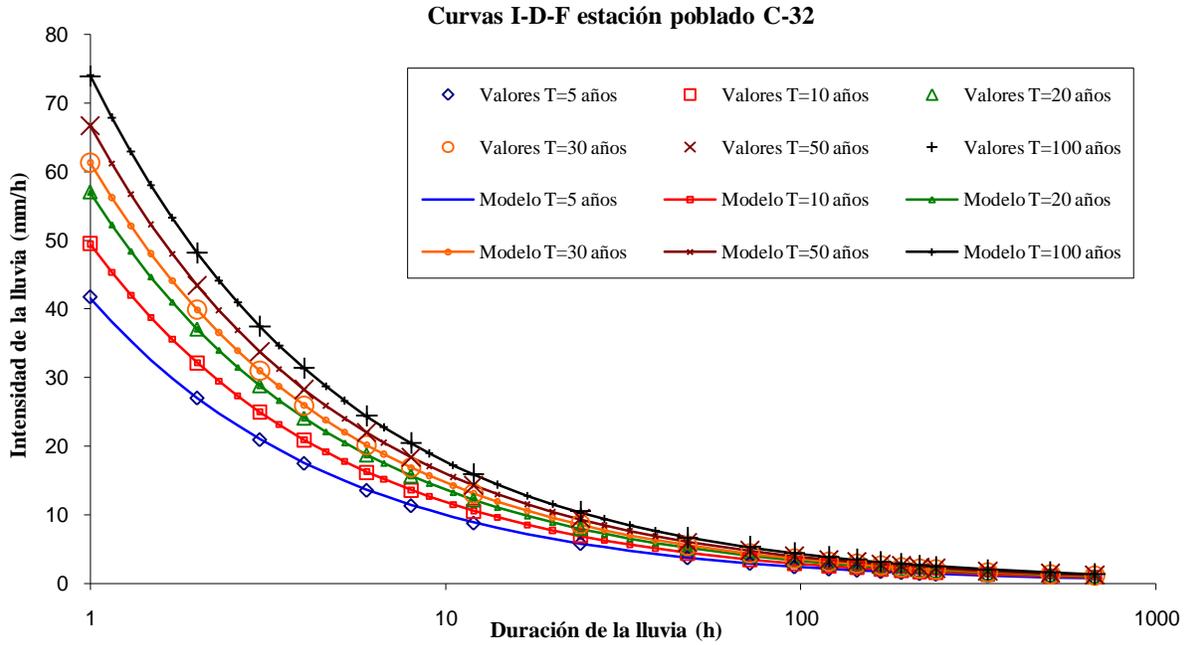
Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) de las estaciones meteorológicas. Los puntos son los valores calculados con la función Gumbel y las líneas son la representación gráfica del modelo adaptado de Koutsoyiannis et al., 1998.



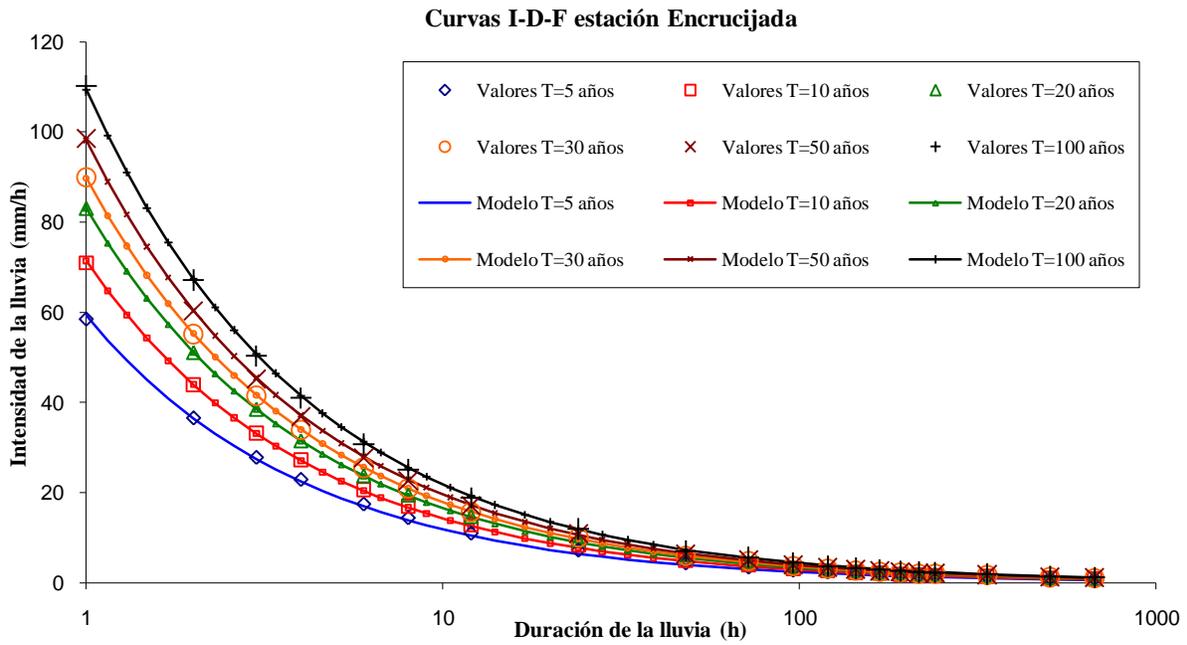
a) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la Estación meteorológica Cangrejera.



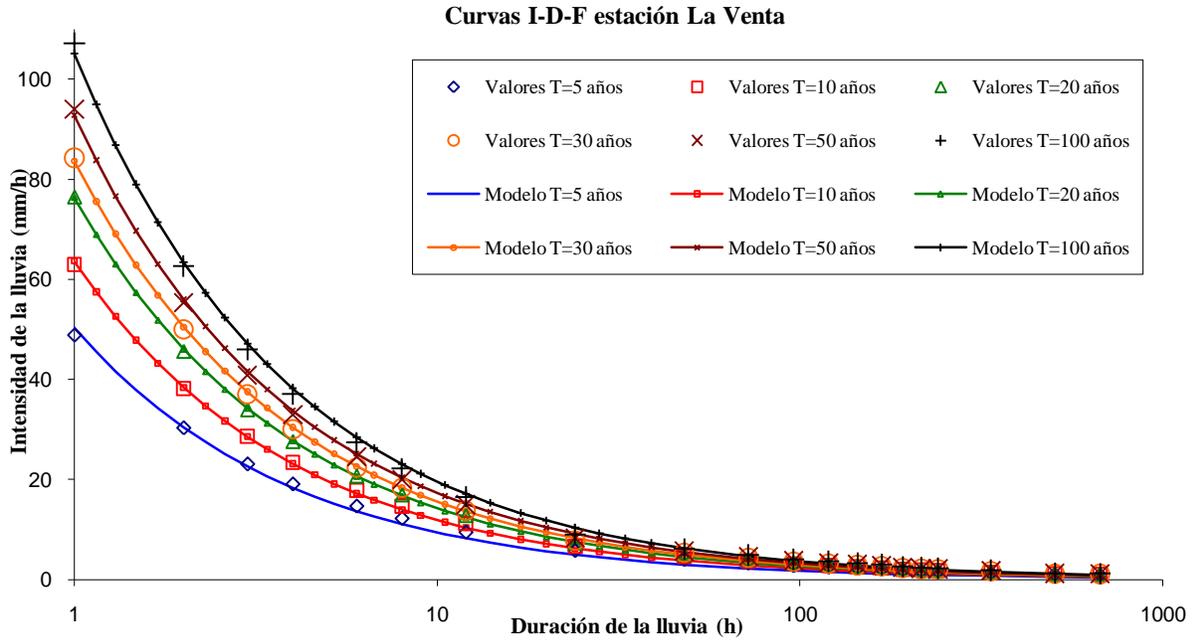
b) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la Estación meteorológica del Poblado C-11.



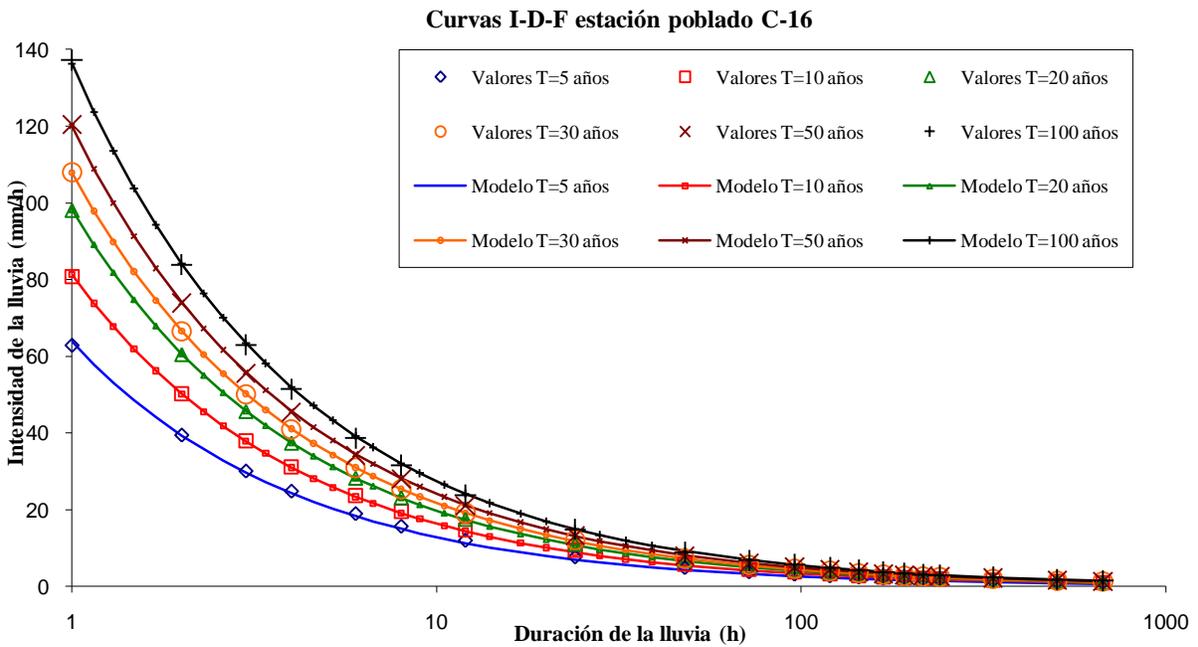
c) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la Estación meteorológica del poblado C-32.



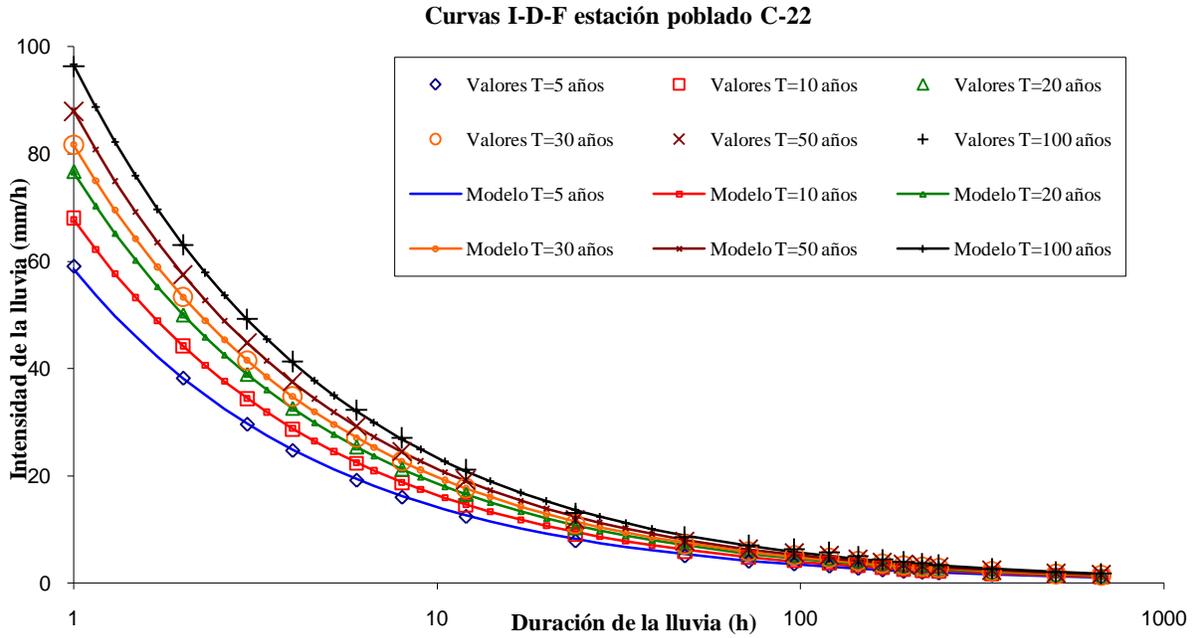
d) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la estación meteorológica encrucijada.



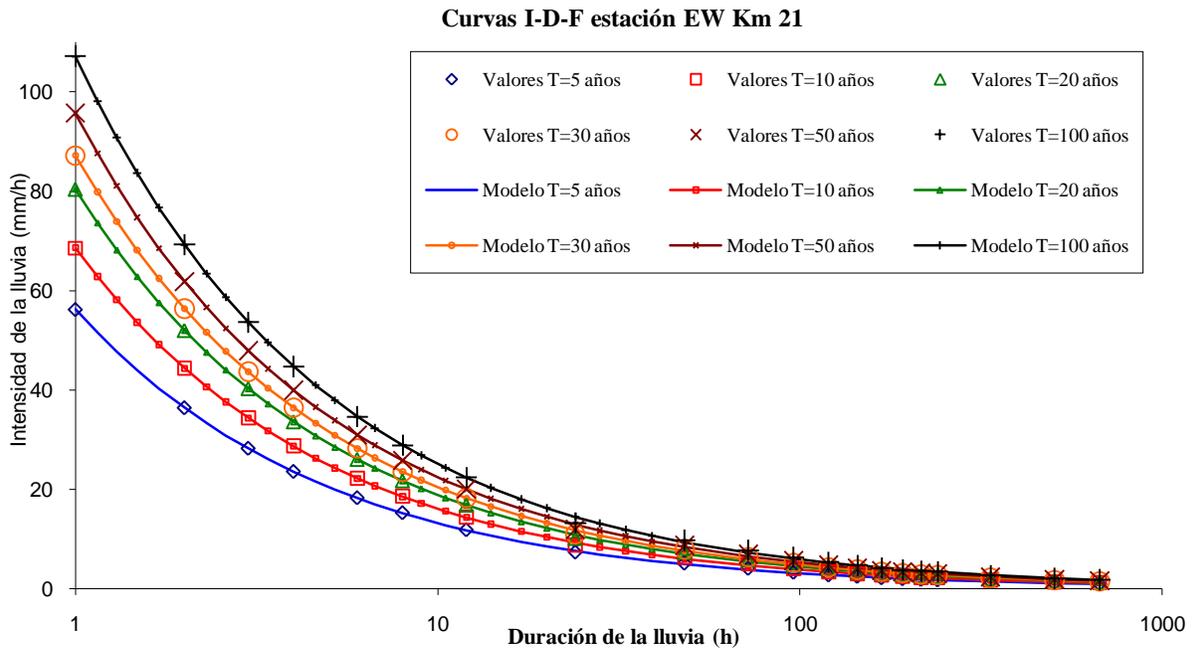
e) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la Estación meteorológica la Venta.



f) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la Estación meteorológica Poblado C-16.

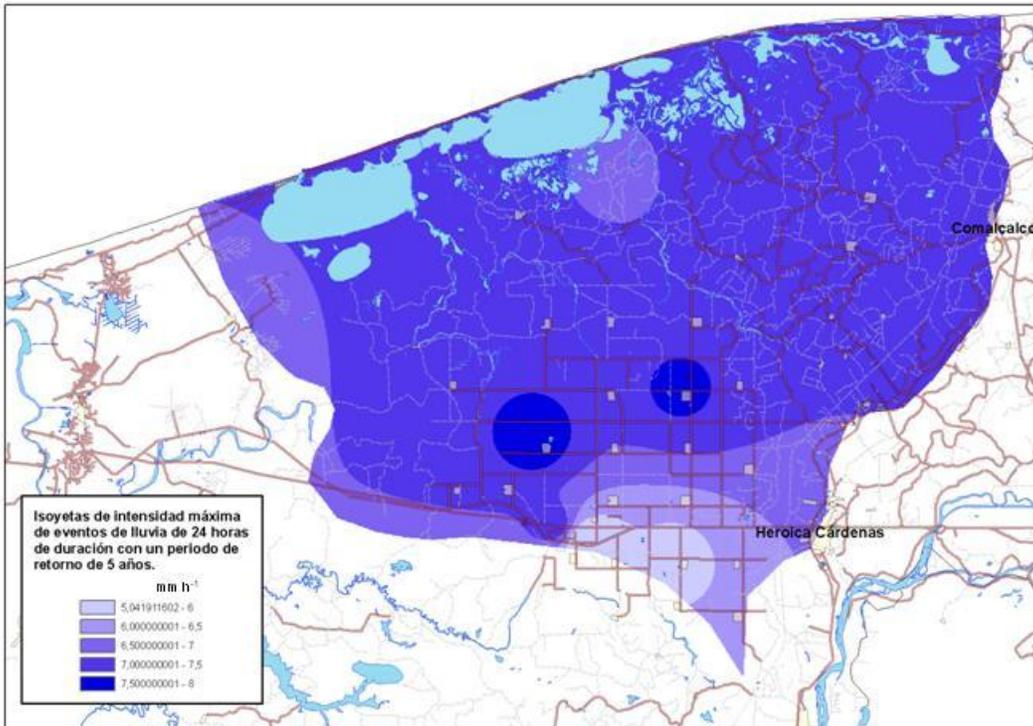


g) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la Estación meteorológica Poblado C-22.

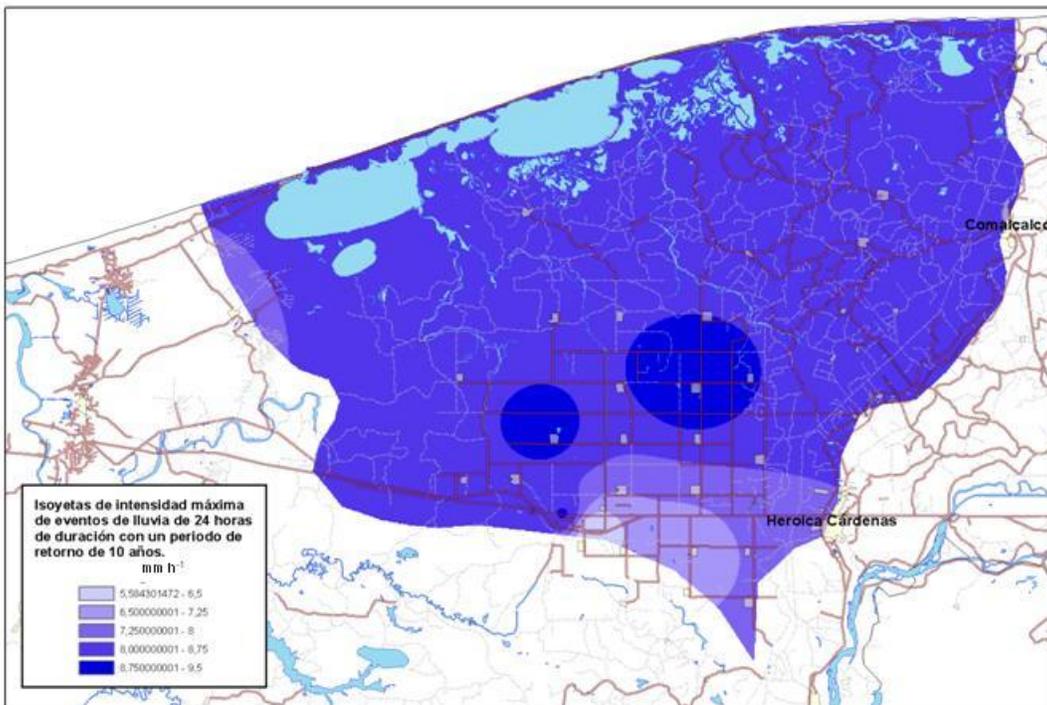


h) Curvas de intensidad-duración-frecuencia de la Estación meteorológica EW Km 21.

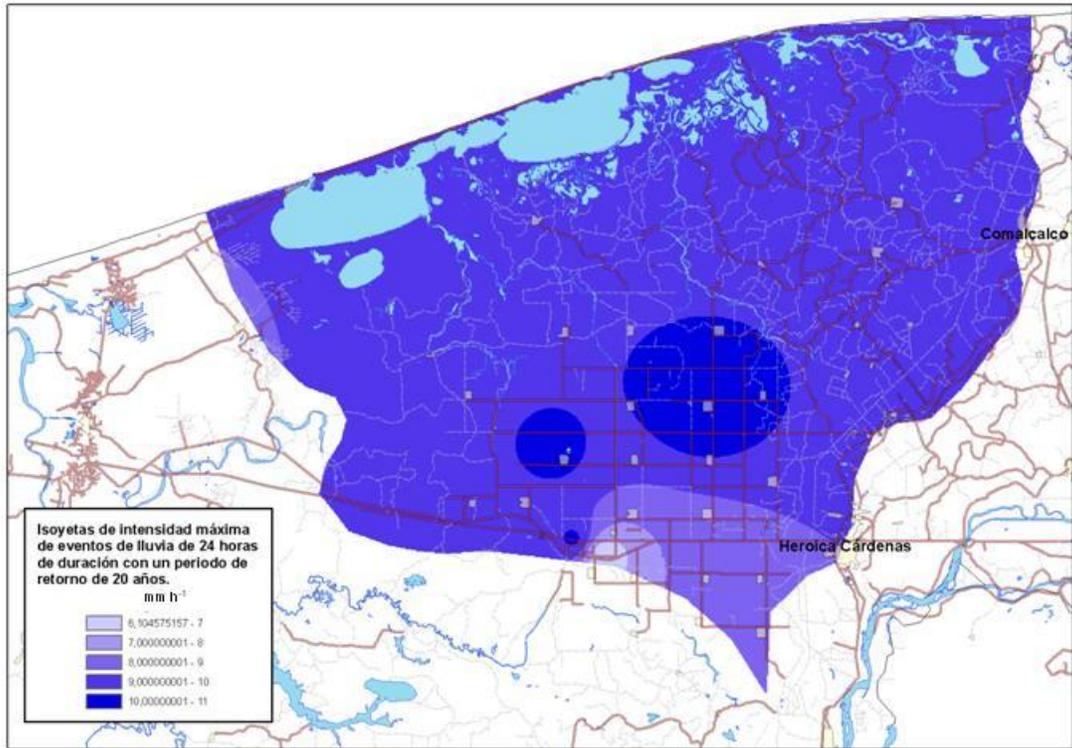
Isoyetas de intensidades máximas de la precipitación pluvial con diferentes duraciones y periodo de retorno.



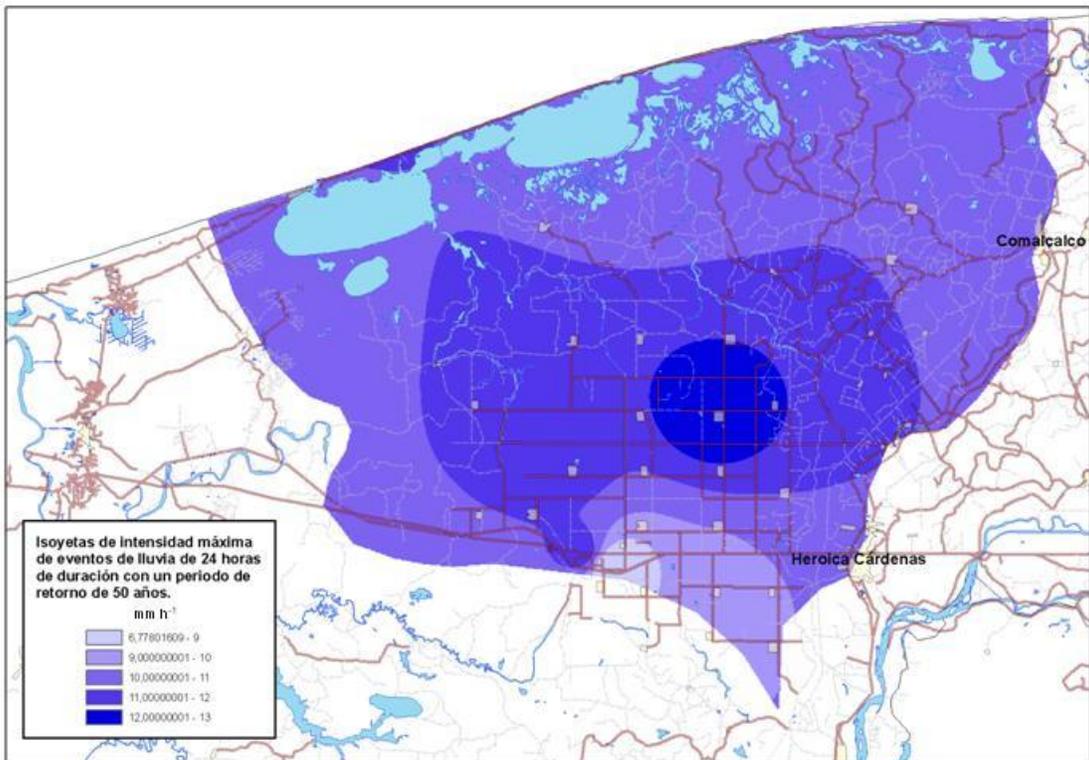
i). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 5 años.



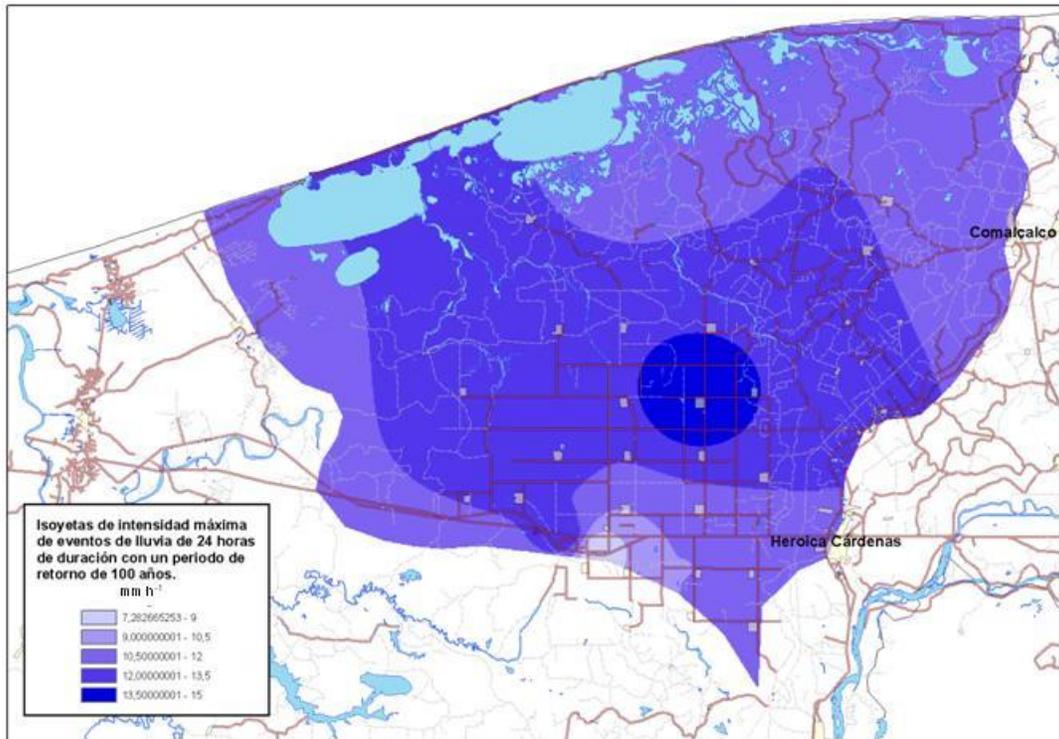
j). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 5 años.



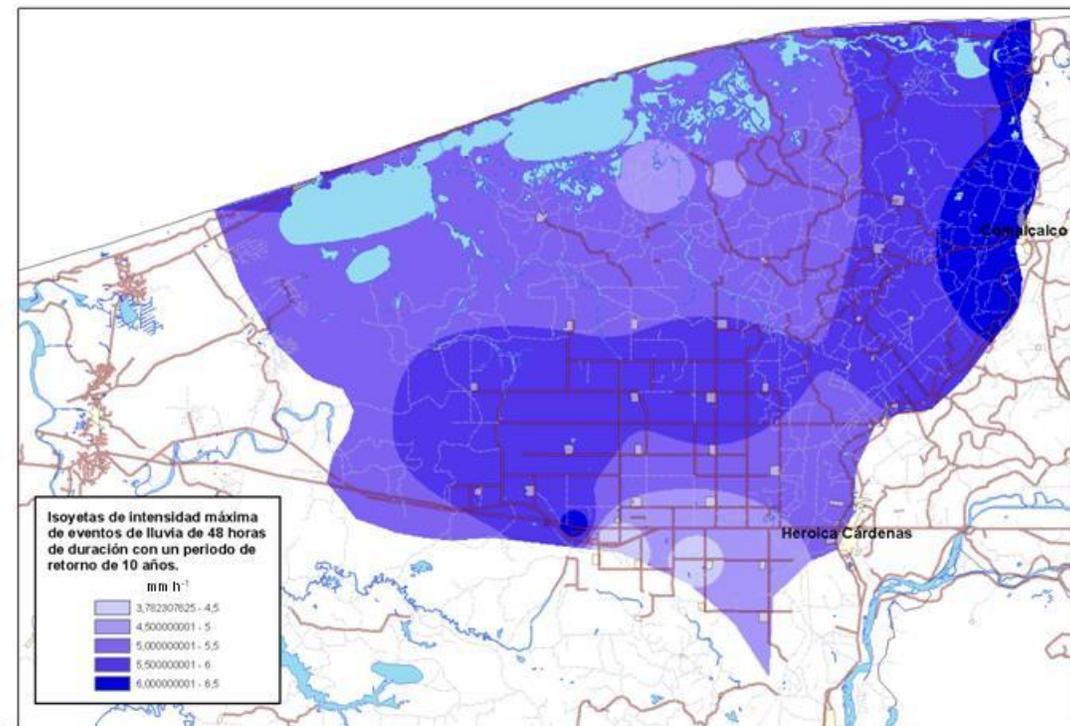
k). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 20 años.



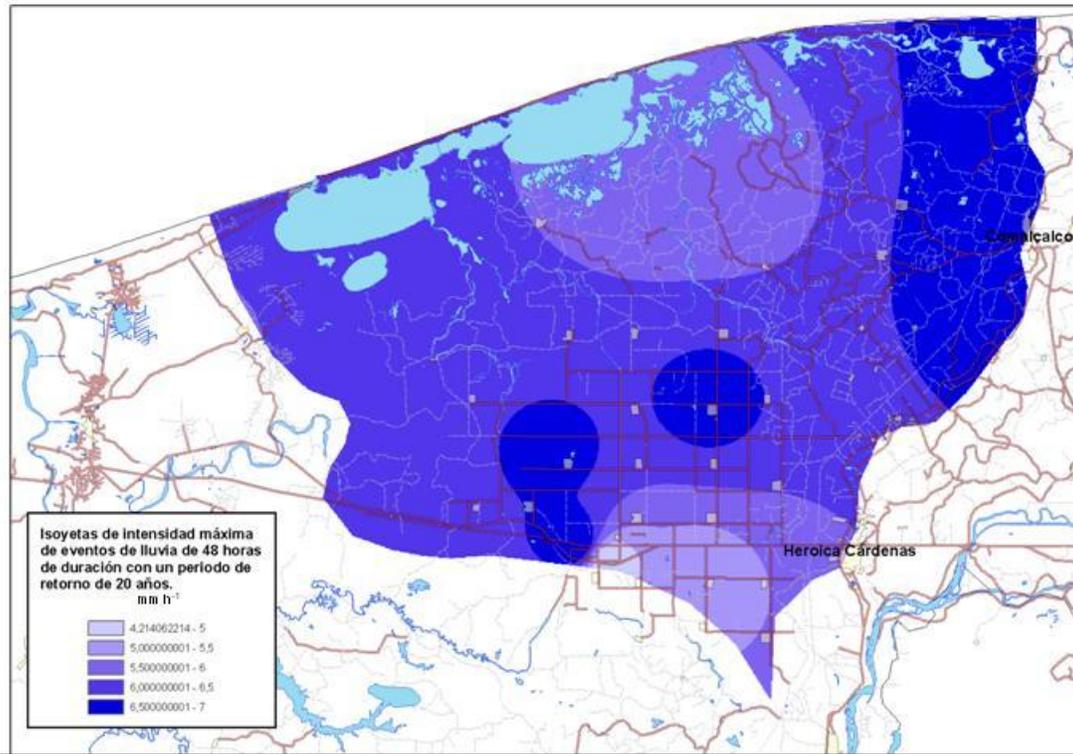
l). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 50 años.



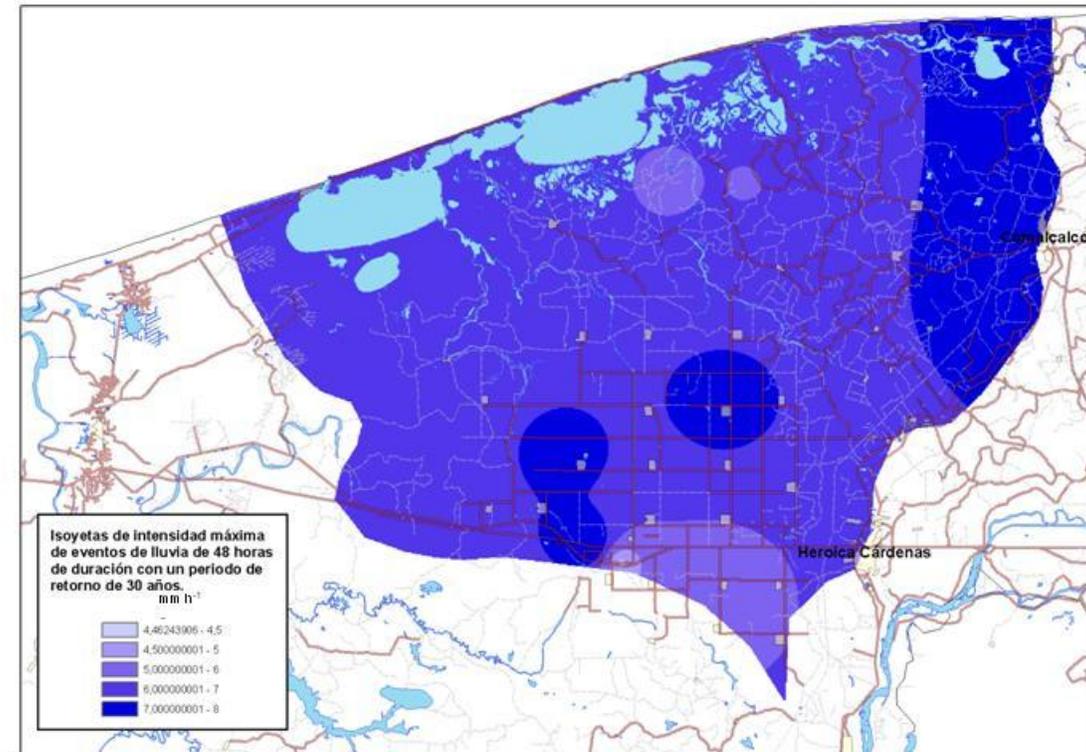
m). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 100 años.



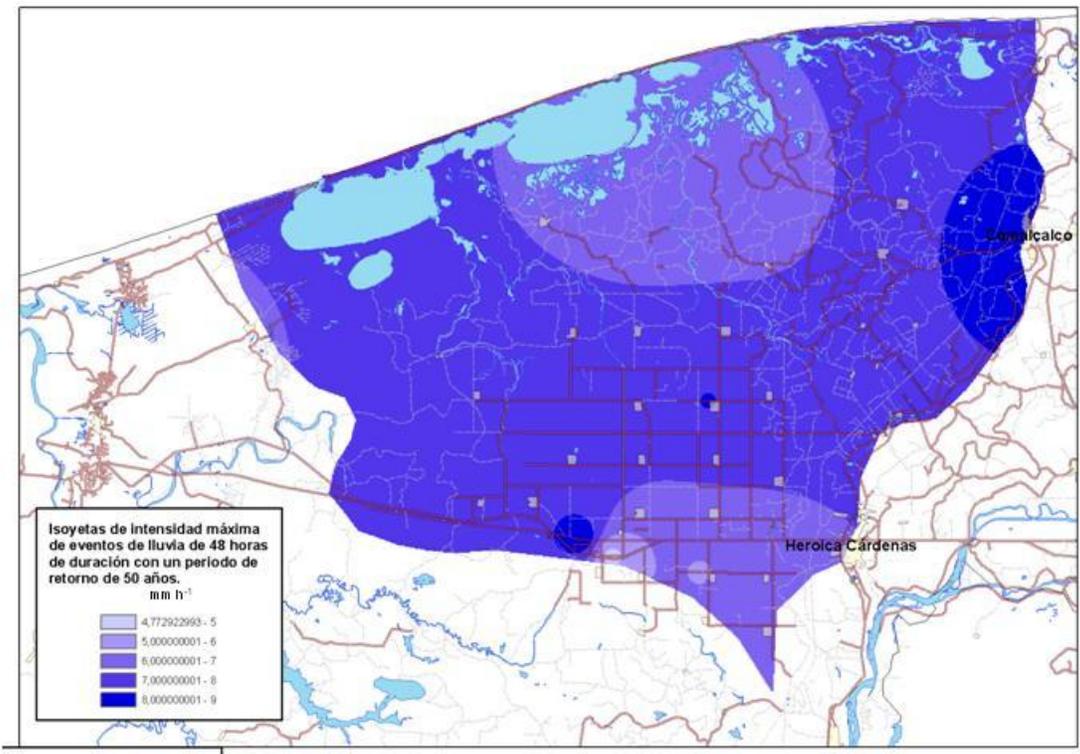
n). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 10 años.



ñ). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 20 años.



o). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 30 años.



p). Isoyetas de intensidad máxima de eventos de lluvia de 48 horas de duración con un periodo de retorno de 50 años.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

CONFIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN: En base al artículo 38 de la Ley de Información Estadística y Geográfica, "toda la información se mantendrá con carácter estrictamente CONFIDENCIAL" y su uso es sólo para fines estadísticos.

**ENCUESTA PARA CONOCER LA PERCEPCION DE LA
VULNERABILIDAD CON RIESGOS A INUNDACIONES EN LA
CUENCA CÁRDENAS-COMALCALCO.**

No. de cuestionario:

Nombre del entrevistado: _____

No. de vivienda: _____

Comunidad/Ejido/Ranchería: _____

Municipio: _____

Nombre del entrevistador:

SEXO: 1. Hombre 2. Mujer

96). Dato perdido 97). No contesto 98). No sabe 99). No aplica

1. MODULO SOCIOECONÓMICO

<p>1.- ¿ De qué tipo de material es construido la mayor parte las paredes de su vivienda?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Adobe 2) Block y cemento 3) Material de desecho 4) Lámina de asbesto y/o metálica 5) Carrizo o bambú 6) Lámina de cartón 7.-Otro material (especifique) <p>_____</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p>	<p>2.- ¿De qué material es la mayor parte el techo de su vivienda?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Material de desecho o madera. 2. Lámina de cartón 3.-Teja 4.- Guano 5.-Lámina de asbesto 6.- Losa de concreto 7.-Lamina de sing. 8.-Otro material (especifique) <p>_____</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p>	<p>3.-¿De qué material es la mayor parte del piso de su vivienda?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tierra 2. Cemento firme 3. Madera 4. Mosaico 5.- Otro material (especifique) <p>_____</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p>	<p>4.- Su vivienda es:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Rentada o alquilada. 2) Prestada 3) Propia 4.-Heradada 5.- Otra especifique? <p>_____</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p>	<p>6.-En el cuarto donde cosinan ¿ tambien duermen?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Si 2.- No. <p align="center"><input type="checkbox"/></p> <p>7.- Cuantos divisiones tiene su vivienda? (excluyendo pasillos y baños)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Uno 2.- Dos 3.- Tres 4.- Cuatro 5.- Cinco 6. Otro. Especificar_ <p>_____</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p>
<p>08.-¿Cuantos cuartos se utilizan para dormir? (Anotar el numero)</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p> <p>9.- ¿Esta vivienda cuenta con?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. excusado ? 2. fosa septica? 3. Letrina? 4. Red de drenaje 5. Otro (especifique) <p>_____</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p>	<p>10 ¿Hay luz eléctrica en esta vivienda?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Si 2. No <p align="center"><input type="checkbox"/></p> <p>11. ¿En esta vivienda que utiliza para cosinar?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estufa de gas 2. Leña 3.- Leña y estufa de gas. 4.- Otro (especifique). <p>_____</p> <p align="center"><input type="checkbox"/></p>	<p>12 ¿En esta vivienda cuenta con...? (Marque con una (x) puede señalar mas de una opción.)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Radio o radiograbadora? 2. Televisión? 3. Videocasetera o DVD? 4. Licuadora? 5. Refrigerador? 6. Teléfono? 7. Calentador de agua? 8. Aire acondicionado? 10. Automóvil o camioneta 11. Computadora? 12. Sky o cable de TV? 13. ...horno microondas? 14. ...celular? <p align="center"> <input type="checkbox"/> </p>	<p>13 ¿Hace cuántos años fue construida esta vivienda?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Menos de un año 2. De 1 a 5 años 3. De 6 a 10 años 4. De 11 a 20 años 5. De 21 a 30 años 6. De 31 a 50 años 7. Mas de 50 años 8.- No sabe. <p align="center"><input type="checkbox"/></p> <p>14.- Años de vivir en este lugar?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Menos de un año 2. De 1 a 5 años 3. De 6 a 10 años 4. De 11 a 20 años 5. De 21 a 30 años 6. De 31 a 50 años 7. Más de 50 años 8.- No sabe. <p align="center"><input type="checkbox"/></p>	

15.- En esta vivienda quienes trabajan?. Empezamos por el jefe de familia.

16.- Nombre...	17.- Ocupación	18.- Trabajo la semana anterior? 1.- Si 2.- No.	19.-Actualmente trabaja? 1.- Si 2.- No	20.- Ayuda con los gastos en la casa? 1.- Si 2.- No	21.-Lugares donde se ubican la actividad económica? 1.- Dentro de la Comunidad 2.- Fuera de la Comunidad. 3.- En cardenas 4.- Fuera de Cardenas
					<input type="checkbox"/>

MODULO II PERCEPCION DEL RIESGO A INUNDACIONES.

22 ¿Considera usted que su vivienda esta en riesgo a inundaciones?
 1.- Si (Pase ala siguiente)
 2.- No. (Pase ala 24)
 3.- No sabe

23.- Por que ?
 1.- Por que esta en zona baja
 2.-Selocaliza en orillas de rios.
 3.- Orilla de una laguna
 4.- No rellene lo suficiente.
 5.- Otro (especificue).

 Pase a la pregunta 25.

24, Por que percibe usted que su vivienda no esta en riesgo a inundaciones?
 1. Se encuentra en zonas altas.
 2. Se encuentra fuera de las cercanias de rios y lagunas.
 3.- Rellené lo suficiente
 4.- Otro (especificue).

25 .- Qué riesgo existe que se desborde el rio o la laguna y inunde su casa?
 1. Mucho
 2.- Poco
 3.- Nada

26.- Cuantas inundaciones le ha afectado su casa que se acuerde?
 1.-Huracanes de Opal y Roxana.
 2.- Huracan Brenda
 3.- Inundaciones de 1980
 4.- Las inundaciones de 1999
 5.Las inundaciones del 2007
 6.- Las inundaciones del 2008
 7.- Las inundaciones de noviembre del 2009.
 8.- Otra especifique _____

MODULO III PERCEPCION DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL

<p>27. ¿ Perteneces usted a alguna organización comunitaria para enfrentar la contingencia ante una inundación?</p> <p>1.- SI <input type="checkbox"/></p> <p>2.- No <input type="checkbox"/></p>	<p>30.- ¿Cree usted que existen programas del gobierno estatal para enfrentar las inundaciones?</p> <p>1.- Si. (Pase a la 31)</p> <p>2.- No (pase a la 32)</p> <p>31. Cuales? _____</p>	<p>34.- Cual de estas instituciones trabajan comunidad para la prevención ante una inundación? (Marque con una X, se puede marcar mas de una.)</p> <p>1) Protección civil <input type="checkbox"/></p> <p>2.) SEDESOL <input type="checkbox"/></p> <p>3.) DIF <input type="checkbox"/></p> <p>4.) IMSS. <input type="checkbox"/></p> <p>5)SSA (Secretaría de salud) <input type="checkbox"/></p> <p>6) Instituciones educativas <input type="checkbox"/></p> <p>7) Organizaciones no gubernamentales. <input type="checkbox"/></p> <p>8) Marina y ejército <input type="checkbox"/></p> <p>9) Ninguna (Pase a la 37)</p>	<p>36. Las actividades llevadas a cabo por dicha organización son realizadas:</p> <p>1.- Antes <input type="checkbox"/></p> <p>2.-Durante <input type="checkbox"/></p> <p>3.-Después de ocurrido la inundación <input type="checkbox"/></p>
<p>28.- Cree usted que existen programas del gobierno federal para enfrentar las inundaciones?</p> <p>1.- Si. (Pase a la siguiente).</p> <p>2.- No (pase a la 30)</p> <p>29.- Cuales? <input type="checkbox"/></p>	<p>32.- ¿Cree usted que existen programas del gobierno municipal para enfrentar las inundaciones?</p> <p>1.- Si. (Pase a la 33)</p> <p>2.- No (Pase a la 34)</p> <p>33.-Cuales? <input type="checkbox"/></p>	<p>35.-¿Que tipo de actividades realizan?</p> <p>1) Talleres <input type="checkbox"/></p> <p>2.- Platicas educativas sobre inundación <input type="checkbox"/></p> <p>3.- Simulacros <input type="checkbox"/></p> <p>4) Capacitaciones <input type="checkbox"/></p> <p>5.- Otra (especifique) _____</p>	<p>37.- Percibe usted que la gente se organiza para prevenir inundaciones?</p> <p>1.- Si (Pase a la siguiente)</p> <p>2.- No (Pase a la 39)</p> <p>38) Como se organiza. ? <input type="checkbox"/></p>
<p>PARTE III PERCEPCION DE LA VULNERABILIDAD ECONOMICA</p>			
<p>39) Usted a participado en la prevención de inundaciones?</p> <p>1.- Si (Pase a la siguiente)</p> <p>2.- No (pase a la 40).</p> <p>40) Como a participado? <input type="checkbox"/></p>	<p>42) En que consiste?</p> <p>1. Guarda alímetros <input type="checkbox"/></p> <p>2. Linternas <input type="checkbox"/></p> <p>3. Tiene cayucos <input type="checkbox"/></p> <p>4. Guarda documentos <input type="checkbox"/></p> <p>5. Impermeables <input type="checkbox"/></p> <p>6. Tiene paraguas <input type="checkbox"/></p> <p>7. Me informo sobre el estado del tiempo <input type="checkbox"/></p> <p>8.- Otro (especifique) _____</p>	<p>43) Alguna vez su vivienda se a inundado?</p> <p>1.- Si (pase a la 44)</p> <p>2.- No (pase a la 45)</p> <p>44) Que tiempo tardó en recuperarse ante esa inundación?</p> <p>1) Seis meses <input type="checkbox"/></p> <p>2) un año <input type="checkbox"/></p> <p>3) Dos años <input type="checkbox"/></p> <p>4) Mas de dos años <input type="checkbox"/></p> <p>5.- Otro (especifique.) _____</p>	<p>45) Cree usted que la gente cuenta con apoyo económico federal para prevenir inundaciones?</p> <p>1.- Si <input type="checkbox"/></p> <p>2.- No. <input type="checkbox"/></p>
<p>41) Sabe usted que hacer ante una amenaza de inundación?</p> <p>1) Si (Pase a la 42)</p> <p>2) No (Pase a la 43)</p> <p><input type="checkbox"/></p>	<p>46) Cree usted que la gente cuenta con apoyo económico estatal para prevenir inundaciones?</p> <p>1.- Si <input type="checkbox"/></p> <p>2.- No. <input type="checkbox"/></p>	<p>47) Cree usted que la gente cuenta con apoyo económico municipal para prevenir inundaciones?</p> <p>1.- Si <input type="checkbox"/></p> <p>2.- No. <input type="checkbox"/></p>	<p>48) Como percibe usted su situación económica ?</p> <p>1.- Muy buena <input type="checkbox"/></p> <p>2.- Buena <input type="checkbox"/></p> <p>3.- Regular <input type="checkbox"/></p> <p>4.- Mas o menos para vivir <input type="checkbox"/></p> <p>5.- Anniada. <input type="checkbox"/></p> <p>6. Otra (especifique) _____</p>

IV PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD POLÍTICA.

49) ¿Cómo percibe usted la atención que el gobierno proporciona en su comunidad ante una inundación?

1. Buena
- 2.-Regular
- 3.-Mala

50) ¿Como percibe usted el papel de las instituciones nacionales, estatales y municipales dentro de su Comunidad para prevenir una inundación?

- 1). Buena
- 2) Regular
- 3) Mala

51.- Cree usted que lo tenderá el gobierno ante un inundación?

1.- Si (Pase a la siguiente pregunta?)

2.- No. (Pase ala 53)

52.-Que tipo de atención?

1) Psicológica

2) Salud

3) Económicamente

4) En viveres y ropa

5)-Abergues

6.-) Viviendas

7. Otra especifique.

V PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EDUCATIVA

53.-Sabe usted leer y escribir un recado?

1.- Si (Pase ala siguiente)

2.- No (Pase a la 55).

54.-Grado de estudios terminado?

1.- Si 2.- No

1.-Primaria incompleta

2.- Primaria

3.-Secundaria.

4-Preparatoria

5.-Profesional

6) Posgrado

55.- ¿Percibe usted que el grado de estudio lo pone en desventaja ante una inundación?

1.-Si pase ala (siguiente.)

2.- No (Pase a la 57)

56) Como...

VI PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD RELIGIOSA

57) Las inundaciones son para usted un fenómeno:

1-Natural

2- Divino

3.-Provocado por el hombre.

58): Las inundaciones se dan por:

1.- Un castigo de dios.

2.- Mala planeacion del gobierno.

3.-Iresponsabilidad de la gente.

4.-Así es la naturaleza.

5.- Otro especifique.

VII PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD TÉCNICA

59). Existen obras en su comunidad para disminuir las inundaciones (marque con una x puede marcar mas de una.)

1.- Drenas

2.- Puentes

3.-Muros de protección

60.¿Con qué frecuencia se realizan el mantenimiento? Marque con una (x)

1. Un año

2.Dos años

3.Tres años

4. 4años

5.-5 -10 Años

6.-10 -15

7. 15 -20

8.- 20 -30

9. Mas de 35 años.

VII PERCEPCIÓN DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL

61.-Usted realiza alguna actividad para cuidar el medio ambiente ?

1.- Si (pase a al 62)

2.- No (pase ala 63)

62.- Que tipos de actividad realiza para proteger al medio ambiente? marque con una x, puede marcar mas de una.)

1.- Conservación de uso del suelo.

2.- Realiza composta.

3) Disminución en la tala de los arboles.

4.- no tira basura en arroyos, pozas, ríos y lagunas.

5.- Limpia su calle.

6. No que ma la basura

7.- No utiliza desechables

VIII PERCEPCION EN LA RESPONSABILIDAD EN EL INCREMENTO DE DAÑOS POR INUNDACIONES

63.- ¿Cual creé usted que es su responsabilidad en que se den las inundaciones?

1.- Mucho.

2.- Poco.

3.- Nada

64.- ¿Por que?

1.- Tiro basura en la calle.

2.- Consumo muchos productos y esto es malo para el ambiente.

3.-Tiro basura en el río

4.- Tiro basura en la laguna.

65.- Cual es su participación en el aumento del grado de daños provocado por inundaciones?

1.- Mucho.

2.- Poco.

3.- Nada

66. Por que?----(Marque con una x puede marcar mas de una.)

1.- Porque construí mi casa en zona baja

2.- No me informo sobre el estado del tiempo

3.- Porque construí mi casa orillas de río, drenes, mar o laguna.

4.- por que rellene posas y lagunas para construir mi casa.

5.- No estoy prevenido ante una inundación.