

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



**FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA APOYAR
LA TOMA DE DECISIONES EN EVENTOS
HIDROMETEOROLÓGICOS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA
IRVING SERRANO DÍAZ**

**ASESOR DE TESIS
DR. JUAN GAYTÁN INIESTRA**

TOLUCA, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2013



Toluca, Edo. de México a 12 de Julio del 2013

C. IRVING SERRANO DÍAZ
PASANTE DE INGENIERÍA CIVIL
P R E S E N T E

En respuesta a su solicitud, a continuación transcribo el tema aprobado por esta Dirección, que propuso el **DR. JUAN GAYTÁN INIESTRA**, con el fin de que lo desarrolle en la modalidad de **TESIS**, le informo que se autoriza la **impresión de su trabajo** para presentar su Evaluación Profesional.

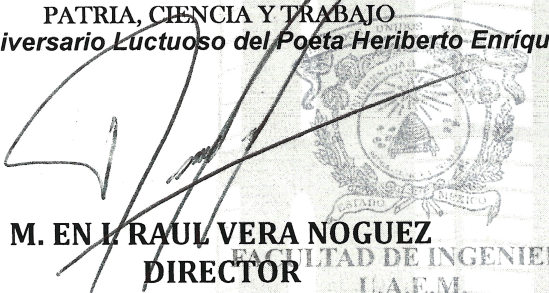
**“SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES EN
EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS”**

	ÍNDICE
	RESUMEN
	ABSTRACT
	PREFACIO
	LISTA DE ABREVIATURAS
	CONTENIDO
	INTRODUCCIÓN
	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN
	HIPÓTESIS
	OBJETIVO GENERAL
	ALCANCES Y LIMITACIONES
	METODOLOGÍA A EMPLEAR
	GLOSARIO DE TÉRMINOS
CAPÍTULO 1	LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
CAPÍTULO 2	SIG PARA EL CASO EN ESTUDIO
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS DE ESCENARIOS
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	ANEXOS 1, 2, 3 Y 4
	REFERENCIAS
	LISTA DE TABLAS
	LISTA DE FIGURAS

Ruego a usted tomar nota de que, en cumplimiento a lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito indispensable para sustentar su Evaluación Profesional.

Asimismo, para la elaboración de la **TESIS** y demás trámites, deberá sujetarse a la reglamentación respectiva de esta Universidad.

A T E N T A M E N T E
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
“2013, 50 Aniversario Luctuoso del Poeta Heriberto Enríquez”



M. EN I. RAUL VERA NOGUEZ
DIRECTOR

FACULTAD DE INGENIERIA
U.A.E.M.

A mis padres David y Flor por su incondicional apoyo y dedicación y por demostrarme que con esfuerzo y entereza los objetivos propuestos se pueden lograr.

Los amo.

A mis hermanos como testimonio de que el éxito se logra no por obra de la suerte ni casualidad sino que se va construyendo a base de preparación, trabajo arduo y sobre todo de aprender de los fracasos.

Agradecimientos

Al Dr. Juan Gaytán Iniestra; mi asesor de tesis, por confiar en mí, por su paciencia, sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación y sobre todo por compartir sus amplios conocimientos.

Al Dr. David Joaquín Delgado Hernández por confiarme este proyecto, sus valiosas opiniones y por todo el apoyo mostrado en mi estancia en la facultad.

Al Dr. Miguel Ángel Gómez Albores por todo el tiempo dedicado a colaborar y asesorarme en los temas cartográficos, por la paciencia que me tuvo y por compartir sus vastos conocimientos.

Al Dr. Javier García Gutiérrez por sus apreciables sugerencias que contribuyeron al mejoramiento y ordenamiento del presente trabajo.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en especial a la M.C. Adriana Morales Hernández por compartir información que enriquece esta investigación.

A la Lic. Karina Edith Romero Mendiola por sus valiosas opiniones que hacen más enriquecedora esta investigación y sobre todo por sus palabras de apoyo.

A Myriam, Víctor y el M. I. Gaston Vertiz Camaron por compartir sus conocimientos.

Esta investigación fue patrocinada por la Universidad Autónoma del Estado de México dentro del proyecto: *“Metodología para la planeación de la evacuación de la población en caso de inundaciones”*, clave 3235/2012CHT

RESUMEN

En esta investigación se describen los componentes que conforman un Sistema de Información Geográfica con la finalidad de georeferenciar albergues, centros de distribución de ayuda, redes de infraestructura vial y el uso de estos datos en los planes de emergencia como en la evacuación de personas debido a una inundación. La información obtenida sirve de entrada para alimentar un modelo de optimización que determina el plan de distribución de ayuda y pares origen-destino asociados a la evacuación de la población. Se presentan mapas de inundaciones correspondientes a tres escenarios que reflejan la zona inundada del Municipio Centro, donde se encuentra ubicada la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Los escenarios corresponden a tirantes de 80 cm, 2 m y 4 m. Se identifican también zonas aisladas las cuales no tienen conectividad terrestre con las zonas secas, con el fin de apoyar adecuadamente la evacuación de la población que vive en esas zonas. El análisis se realiza considerando los datos disponibles en el año 2010 tratando de imitar la inundación ocurrida en 2007, la cual representa el peor desastre nacional ocurrido hasta la fecha.

ABSTRACT

This research describes the components that make up a Geographic Information System (GIS) in order to geo-reference shelters, aid distribution centers, road infrastructure networks and the use of these data in the emergency plans and in the evacuation of people due to flooding. Input data is used to feed an optimization model that determines the distribution of aid plan and origin-destination pairs associated with the evacuation of the population. Flood maps are presented for three scenarios that reflect the flooded area of the Municipio Centro, where is located the city of Villahermosa, Tabasco. The scenarios correspond to flood levels of 80 cm, 2 m. and 4 m. The performed study also identifies inundated areas which do not have connectivity to the non-inundated zones, in order to adequately support the evacuation of the population living in those areas. The analysis is carried out considering the data available in 2010 trying to imitate the flood occurred in 2007, which represents the worst national disaster to date.

PREFACIO

Las inundaciones –en especial las urbanas- debidas a un evento hidrometeorológico son comunes en todo el mundo principalmente en época de lluvias y son un problema aún mayor cuando se combinan con factores humanos como la acumulación de la basura, drenaje insuficiente, inadecuados sistemas de protección de zonas propensas a inundaciones, etc.

La presente investigación está dirigida a personas asociadas a la protección civil municipal, estatal y federal quienes son los responsables de salvaguardar la seguridad de la población en caso de emergencias generadas por fenómenos naturales, ya sean por inundación debida a fenómenos hidrometeorológicos o por otros motivos. La temática estudiada también es valiosa para los académicos, investigadores y estudiantes que se interesan en realizar propuestas de mejoras en el diseño de planes de evacuación y operación de emergencias. En particular, los temas abordados en este trabajo son útiles para apoyar la generación de rutas de evacuación, evacuación de personas ubicadas en islas o temas relacionados al manejo de algún Sistema de Información Geográfica aplicado a inundaciones.

Este trabajo complementa el esfuerzo nacional de generar mapas de riesgo de cada estado del país realizado por Protección Civil Federal pues esos mapas solo indican las zonas de riesgo y en peligro de inundación. Con los mapas obtenidos en este trabajo se proporciona información detallada y actualizada con base a la información disponible del Censo de Población y Vivienda 2010 a nivel de Área Geoestadística Básica de la cantidad de personas afectadas y sus alternativas de evacuación en caso necesario del municipio Centro; Tabasco, México.

LISTA DE ABREVIATURAS

AGEB: Área Geoestadística Básica	MCDA: Multiple-Criteria Decision Analysis
AGEE: Área Geoestadística Estatal	MCDM: Multiple-Criteria Decision Making
AGEM: Área Geoestadística Municipal	MDE o (MDT): Mapa Digital de Elevación o (Mapa Digital de Terreno)
AMIS: Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros	ONU: Organización de las Naciones Unidas
CCL: Cónicas Conformes de Lambert	PHIT: Plan Hidráulico Integral de Tabasco
CDA: Centros de Distribución de Ayuda	PICI: Proyecto Integral para Protección Contra Inundaciones
CDR: Centro(s) de Desarrollo Regional(es)	QTM: Quaternary Triangular Mesh
CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres	SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social
CGIS: Canadian Geographic Information System	SEGOB: Secretaría de Gobernación
CONAGUA: Comisión Nacional del Agua	SIG (GIS): Sistema de Información Geográfica (Geographic Information System)
DSS: Decision Support System	SPOT: Sistema Probatorio de Observación de la Tierra o Satélite Para la Observación de la Tierra
ESRI: Environmental Systems Research Institute	UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México
GPS: Global Positioning System	UJAT: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
IERS: International Earth Rotation Service	UTM: Universal Transverse Mercator projection
IMU: Inertial Measurement Unit	
INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía	
INFONAVIT: Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores	
LiDAR: Light Detection and Ranging	

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vi
PREFACIO.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	viii
CONTENIDO.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	11
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	12
HIPÓTESIS	12
OBJETIVO GENERAL	13
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	13
METODOLOGÍA A EMPLEAR	14
GLOSARIO DE TÉRMINOS	15
CAPÍTULO 1: LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	17
1.1 Descripción general	17
1.1.1 Componentes de un SIG	19
1.1.2 Datos espaciales	20
1.1.3 Proyecciones Cartográficas.....	22
1.1.4 Georeferenciamiento o referenciamiento espacial.....	23
1.1.5 Representación de los Datos Cartográficos.....	30
1.2 Definición de inundación	34
1.2.1 Clasificación de las inundaciones	34
1.2.2 Tipología de los daños económicos asociados a inundaciones	47
1.3 SIG y la toma de decisiones	50
1.3.1 La teoría de la decisión	50
1.3.2 Los diferentes métodos de decisión.....	50
1.3.3 Sistemas de Soporte a las Decisiones (DSS).....	51
1.4 SIG aplicado a inundación.....	52
1.4.1 Gestión de la emergencia.....	53
1.5 Interfaces de los SIG.....	56

CAPÍTULO 2: SIG PARA EL CASO EN ESTUDIO	58
2.1 El sitio y la problemática	58
2.2 Datos relevantes	63
2.3 Identificación de los mapas	66
2.3.1 Límite Municipal.....	66
2.3.2 Modelo Digital de Elevación (MDE).....	67
2.3.3 Traza vial.....	69
2.3.4 Centros de Distribución de Ayuda.....	70
2.3.5 Albergues	71
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE ESCENARIOS	78
3.1 Definición de escenarios.....	78
3.2 Mapas de inundación	82
3.2.1 Mapa de inundación para un tirante de 80 cm.	85
3.2.2 Mapa de inundación para un tirante de 2 m.	89
3.2.3 Mapa de inundación para un tirante de 4 m.	93
3.3 Análisis e Impacto	98
3.4 Matrices de distancia AGEB-albergue y CDA-albergue.....	99
3.5 Interface SIG-Modelo de Optimización	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
ANEXO 1.....	106
ANEXO 2	110
ANEXO 3	119
ANEXO 4	126
REFERENCIAS	129
LISTA DE TABLAS.....	135
LISTA DE FIGURAS	136

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son uno de los fenómenos meteorológicos que más impactan en la vida de las personas alrededor del mundo. Las causas de dichas inundaciones son debidas a factores naturales como lluvias intensas, huracanes, mareas altas, ciclones etc., y factores humanos como el bloqueo de canales, daño en los conductos del drenaje, uso inapropiado del suelo, deforestación; entre otras. Por lo que las inundaciones resultan en pérdidas de vidas humanas y daño en las propiedades de las personas. Aunado al incremento de la población, lo que resulta en más urbanización, más áreas impermeables y por lo tanto a una menor infiltración y un mayor flujo y escorrentía. Los problemas llegan a ser más críticos debido a más severas y frecuentes inundaciones posiblemente causadas por el cambio climático, daño socioeconómico, fondos limitados, etc. (Tingsanchali, 2012).

Con respecto al cambio climático, el informe mundial sobre los asentamientos humanos ONU-HABITAT (2011) establece que un gran número de personas alrededor del mundo pueden resultar vulnerables ante un gran abanico de riesgos negativos y perjudiciales, como son eventos climatológicos extremos en los que se encuentran los eventos hidrometeorológicos. Según dicho informe, es muy probable el aumento de la actividad de ciclones tropicales intensos y entre sus principales efectos pronosticados están: los problemas de asentamientos irregulares por inundaciones y fuertes vientos, problemas con el suministro del agua, retirada de las coberturas de riesgos en áreas vulnerables por las aseguradoras privadas (al menos en países desarrollados) por el hecho de que los asentamientos humanos se establecen en zonas consideradas de alto riesgo con lo que las pólizas de seguros se incrementan, importantes pérdidas humanas; daños y pérdidas a la propiedad, migración de la población, etc.

En México han ocurrido, por efecto de desastres, alrededor de 10,000 muertes, de 1980 a 1999, aproximadamente 500 cada año. Las pérdidas económicas calculadas alcanzan 9,600 millones de dólares, con un monto promedio anual cercano a los 500 millones de dólares (Bitrán, 2001).

En México, las inundaciones ocasionadas por eventos hidrometeorológicos son de los desastres naturales más frecuentes. Los más críticos se presentaron en los estados de Tabasco (Rivera, et al., 2009), Veracruz (Garnica y Alcántara, 2004) y Chiapas (Montoya, et al., 2008) La ubicación geográfica del país, entre el océano Pacífico y el Golfo de México, deriva en una gran tendencia a las inundaciones y a un estado de peligro latente en diversas zonas. El 34.4% de la población total a nivel nacional se encuentra expuesta a ciclones tropicales por la ubicación geográfica del

país, el 33.2% de la población es susceptible a inundación, el 70% del territorio nacional se ve afectado porque es el paso natural de los ciclones (Zentella, 2010)

Con base en la observación de la actuación de las autoridades en las diversas inundaciones recientes (Rodríguez, 2011) se hace necesaria la definición de los planes de preparación acordes a las necesidades del país y que incluyan la definición de planes que indiquen los mecanismos de evacuación de la población a la medida de la zona afectada tomando en cuenta la ubicación de la población, el nivel de afectación debido a la crecida del agua y a la disponibilidad de albergues en la zona con ayuda de herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica, para abastecer de información a los tomadores de decisiones en una eventual emergencia derivada de un evento hidrometeorológico.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera los Sistemas de Información Geográfica pueden ayudar a la toma de decisiones en una eventual inundación debida a fenómenos hidrometeorológicos?

Considerar el uso de Sistemas de Información Geográfica como una de las herramientas en apoyo a la toma de decisiones en caso de inundación debida a fenómenos hidrometeorológicos, empleando mapas digitales para ubicar primeramente la zona en estudio, albergues, centros de distribución de ayuda, traza vial, población y posteriormente determinar las zonas inundadas respecto a tres tirantes de agua; esto es, para 0.8 m, 2 m, y 4 m. Estos mapas servirán como entrada para modelos de optimización que determinan los planes de evacuación.

HIPÓTESIS

Los Sistemas de Información Geográfica permiten proveer la información geográfica de soporte para la instrumentación de mecanismos para la evacuación de las personas en las zonas afectadas debidas a un evento de carácter hidrometeorológico.

OBJETIVO GENERAL

Construir mapas de inundación para distintos tirantes de agua, 0.80 m, 2 m y 4 m; correspondientes a la altura de una mesa (cota de mesa), el primer y segundo nivel de una casa-habitación, que servirán como información base para alimentar un modelo matemático de optimización multiobjetivo que generará planes de evacuación de la población.

Objetivos específicos

- Efectuar una revisión de la literatura de las investigaciones realizadas por diversos autores para conocer los enfoques que manejan con relación al uso de Sistemas de Información Geográfica y la gestión de las emergencias.
- Aplicar el marco teórico en un caso de estudio
- Ubicar geográficamente la zona en estudio
- Ubicar geográficamente los albergues
- Ubicar geográficamente los centros de distribución de ayuda
- Ubicar geográficamente la distribución de la población por medio de áreas geoestadísticas básicas
- Ubicar traza vial asociada a cada uno de los tirantes propuestos
- Estimar el número de albergados para cada escenario propuesto
- Construir la matriz de distancia AGEB-albergues
- Construir la matriz de distancia CDA-albergues

ALCANCES Y LIMITACIONES

1. En esta investigación se obtiene la información geográfica necesaria para alimentar un modelo de optimización. La construcción de dicho modelo queda fuera del alcance de la misma
2. Se propone como objeto de análisis el municipio Centro, localizado en Tabasco, México; con la intención de probar la metodología y determinar su viabilidad de uso en otras zonas.
3. Se establece como tirante máximo en esta investigación el que se presentó en el año 2007 en Tabasco, México. Sin embargo para los datos de población se tomarán los más recientes; es decir, los obtenidos del Censo de Población y Vivienda 2010.

METODOLOGÍA A EMPLEAR

1. Realizar una revisión de la literatura enfocada a los SIG aplicados a identificar zonas inundadas debidas a eventos hidrometeorológicos; de esta manera, se da una definición y se hace una descripción de las partes que lo componen.
2. Describir las componentes de un SIG, en particular las partes que integran un mapa y describir los tipos de referenciamiento espacial.
3. Definir el concepto de inundación basado en los términos del Centro Nacional de Prevención de Desastres, establecer el concepto de daños asociados a inundaciones y enfatizar la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica en la toma de decisiones en la evacuación de una eventual emergencia.
4. Describir la interface SIG-modelo de optimización.
5. Aplicar los conceptos descritos en forma general al caso de aplicación del municipio Centro, Tabasco, México.
6. Construir mapas de inundación para tres escenarios: 0.80 m, 2 m y 4 m.
7. Preparar la interface SIG-modelo de optimización que consiste en mapas de inundación, mapas de ubicación de albergues y centros de distribución de ayuda seguros, mapa de conectividad todo esto para cada escenario; además, estimar la población afectada en cada Área Geoestadística Básica

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Albergado: Persona que en forma temporal recibe asilo, amparo, alojamiento y resguardo ante la amenaza, inminencia u ocurrencia de un agente perturbador.

Albergue: Instalación que se establece para brindar resguardo a las personas que se han visto afectadas en sus viviendas por los efectos de fenómenos perturbadores y en donde permanecen hasta que se da la recuperación o reconstrucción de sus viviendas.

Damnificado: Persona afectada por un agente perturbador, ya sea que haya sufrido daños en su integridad física o un perjuicio en sus bienes de tal manera que requiere asistencia externa para su subsistencia; considerándose con esa condición en tanto no se concluya la emergencia o se restablezca la situación de normalidad previa al desastre.

Desastre: Al resultado de la ocurrencia de uno o más agentes perturbadores severos y/o extremos, concatenados o no, de origen natural o de la actividad humana, que cuando acontecen en un tiempo y en una zona determinada, causan daños y que por su magnitud exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

Emergencia: Situación anormal que puede causar un daño a la sociedad y propiciar un riesgo excesivo para la seguridad e integridad de la población en general, generada o asociada con la inminencia, alta probabilidad o presencia de un agente perturbador.

Evacuado: Persona que, con carácter preventivo y provisional ante la posibilidad o certeza de una emergencia o desastre, se retira o es retirado de su lugar de alojamiento usual, para garantizar su seguridad y supervivencia.

Fenómeno Antropogénico: Agente perturbador producido por la actividad humana.

Fenómeno Hidrometeorológico: Agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados.

IMU: Inertial Measurement Unit, dispositivo electrónico que mide e informa acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de un aparato

Inundación: Es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos, por subida de las mareas por encima del nivel habitual por avalanchas causadas por tsunamis.

LANDSAT: serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. Para la observación en alta resolución de la superficie terrestre.

Mitigación: Medidas estructurales y no estructurales emprendidas para limitar el impacto adverso de las

amenazas naturales y tecnológicas y de la degradación ambiental.

Preparación: Actividades y medidas tomadas anticipadamente para asegurar una respuesta eficaz ante el impacto de amenazas, incluyendo la emisión oportuna y efectiva de sistemas de alerta temprana y la evacuación temporal de población y propiedades del área amenazada.

Recuperación: Decisiones y acciones tomadas luego de un desastre con el objeto de restaurar las condiciones de vida de la comunidad afectada, mientras se promueven y facilitan a su vez los cambios necesarios para la reducción de desastres.

Riesgo: Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Desde el punto de vista de pérdida, el riesgo puede verse como la combinación de tres factores importantes: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra.

Sistemas de Información Geográficos (SIG): Análisis que combinan base de datos relacionales con interpretación espacial y resultados generalmente en forma de mapas. Una definición más elaborada es la de programas de computador para

capturar, almacenar, comprobar, integrar, analizar y suministrar datos terrestres georeferenciados.

SPOT: serie de satélites de teledetección civiles de observación del suelo terrestre

Vulnerabilidad: Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas. Susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir, el grado de pérdidas esperadas.

CAPÍTULO 1: LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En este capítulo se da la definición de un Sistema de Información Geográfica y se describe en que consiste, las partes que lo integran y alguno de los campos en lo que se han empleado. Además de indicar las partes que constituyen un mapa, que se considera como la base de un SIG. También se dan a conocer los elementos con los que trabaja un SIG y se dan a conocer algunos software destinados a esto, poniendo énfasis en el software IDRISI® explicando las ventajas que tiene en algunos otros. Asimismo; se da a conocer la definición de inundación para contextualizar el presente trabajo, además de dar las clasificaciones de las inundaciones que da una entidad como el CENAPRED.

Se describen los tipos de daños asociados a las inundaciones definido por diversos autores, de la misma forma; se representan los pasos para la gestión de las emergencias.

Por último se explica porque un SIG, necesita de una interface con algún modelo externo para tomar una mejor decisión en una eventual evacuación por inundación provocada por un fenómeno hidrometeorológico.

1.1 Descripción general

Existen una vasta variedad de definiciones para un SIG todo depende del autor quien la proporcione, de sus conocimientos y de su propio punto de vista.

De acuerdo con Eastman (2012) *"un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema asistido por computadora para la adquisición, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos"*.

Por su parte el ESRI (2012) define a un SIG como *"un sistema que integra hardware, software, captura datos, administra, analiza, y muestra todas las formas de la información geográficamente referenciada "*, además de ser *" una herramienta tecnológica para comprender la geografía y tomar decisiones inteligentes"*.

De igual modo, Olaya (2011) considera que un SIG es una herramienta para *"el manejo de información geográfica, y los elementos básicos que canalizan la gestión de todo aquello que, de un modo u otro, presente una componente geográfica susceptible de ser aprovechada"*.

Estas herramientas pueden variar unas de otras, unas por la forma en cómo trabajan con los datos geográficos y otras por el énfasis relativo que le dan a estas operaciones (Eastman, 2012).

En resumen, las definiciones de un SIG cubren tres componentes principales:

1. Un SIG es un sistema asistido por computadora
2. Un SIG usa referenciamiento espacial o datos geográficos
3. Un SIG lleva a cabo diversas tareas de gestión y análisis de esos datos.

Entre los campos de aplicación que se le ha dado a los SIG están los siguientes:

- **Recursos naturales y medio ambiente.** Fue en este campo de aplicación donde nace el primer Sistema de Información Geográfica, el denominado *Canadian Geographic Information System (CGIS)*, que fue implementado en 1967 con el objetivo de gestionar los resultados de los inventarios forestales; una iniciativa orientada a la gestión de los vastos recursos naturales del país con información cartográfica relativa a tipos y usos del suelo, agricultura, espacios de recreo, vida silvestre, aves acuáticas y silvicultura, todo ello escala de 1:50.000. Se añadió, así mismo, un factor de clasificación para permitir el análisis de la información.
- **Estudios sobre cambios en uso y cubiertas del suelo.** Al respecto Ubalde, et al. (2010) analizan los cambios de usos según diferentes variables (pendiente y orientación) y según diferentes enfoques (intensidad del cambio y el uso final, todo esto con ayuda del software SIG ARC/INFO
- **Estudios de impacto ambiental.** Valpreda (2013) se enfoca en la evaluación del impacto ambiental considerando dos aspectos, el primero el aspecto geográfico para el cual se ayuda de un SIG y el segundo es aspecto decisional, que hace referencia al proceso de toma de decisiones. En su investigación este autor pone de manifiesto que la componente espacial o territorial deja de ser una simple descripción del entorno para transformarse en el principal objeto de análisis y correlación de fenómenos que impactan en el medio ambiente.
- **Catastro y planificación territorial** Pineda y Gonzales (2013) estructuran un Sistema de Información Geográfica catastral para la gestión territorial de la ciudad de Medellín.
- **Transporte.** Cardozo, et al. (2010) analizan la relación entre variables urbanísticas y demanda de transporte. Estos autores trabajan con las estaciones del metro de Madrid. Construyen además; un modelo de estimación directa de la demanda que se apoya en Sistemas de Información Geográfica (para delimitar el área de influencia de las estaciones y obtener sus características urbanísticas) y en un modelo de regresión lineal múltiple (con el fin de explicar el número de entradas por estación en función de ese entorno próximo).
- **Análisis de mercado.** Liliana López (2003) hace una propuesta metodológica para la clasificación del mercado inmobiliario habitacional en submercados utilizando un SIG. Considera además que el uso de estos

sistemas es la forma más rápida y eficiente de clasificación, para la identificación de submercados, ya que por medio de ésta se da cuenta de la estructura del mercado.

- **Riesgos ambientales.** Es una herramienta para contribuir a la prevención de riesgos ambientales y la toma de decisiones ante catástrofes, tanto de origen natural como antropogénico. Entre las aplicaciones en este ámbito se puede destacar la determinación de las áreas de riesgo ante una determinada situación: incendios forestales, terremotos, inundaciones, contaminación atmosférica, etc. Por medio de los SIG se puede determinar la población susceptible de ser afectada y las medidas de prevención y/o evacuación. Por esta razón los SIG se han convertido en una herramienta fundamental para el diseño y gestión de planes de emergencia.

1.1.1 Componentes de un SIG

A grandes rasgos Heywood, et al. (2011) consideran que los componentes de un SIG incluyen: *el sistema informático* (hardware y sistema operativo), *el software*, *datos espaciales*, *gestión de datos y análisis de procedimientos*, además de las personas que operan el SIG. La descripción de cada una de esas componentes se indica enseguida (Eastman, 2012):

Base de Datos Espaciales y de Atributos

La base de datos es esencial para el sistema, pues es la colección de mapas e información relacionada en formato digital. Debido a que la base de datos se ocupa de las características de la superficie terrestre, puede interpretarse que consiste en dos elementos: una base de datos espaciales que describe la geografía (forma y posición) de las características de la superficie terrestre, y una base de datos de atributos que describe las peculiaridades o cualidades de estas características.

Sistema de Visualización Cartográfica

Este sistema permite tomar elementos seleccionados de la base de datos y desplegar los mapas en la pantalla.

Sistema Digitalizador de Mapas

Con este sistema se pueden usar mapas impresos en papel y convertirlos en formato digital, muchos de estos sistemas permiten editar los datos digitalizados.

Sistema de Gestión de Bases de Datos

Este se refiere al tipo de software que se utiliza para ingresar, manejar y analizar los datos geográficos almacenados de atributos y componentes espaciales.

Sistema de Análisis Geográfico

Este tipo de sistema tiene la habilidad para analizar datos, con base en características verdaderamente espaciales. Con un Sistema de Análisis Geográfico se extienden las capacidades de las consultas tradicionales sobre bases de datos para incluir la habilidad de analizar los datos desde su ubicación. Las capacidades analíticas del Sistema de Análisis Geográfico y del Sistema de Gestión de Bases de Datos tienen un papel importante en la extensión de la base de datos por medio de la incorporación de información sobre las relaciones entre características.

Sistema de Procesamiento de Imágenes

Permiten tomar imágenes de sensores remotos en vivo (tales como satélites LANDSAT o SPOT) convertirlas en datos de mapa, interpretados de acuerdo a varios procedimientos de clasificación.

1.1.2 Datos espaciales

Los Sistemas de Información Geográfica representan algunos elementos del mundo real, sería imposible y poco práctico representar toda la información en una computadora, así que el operador del SIG sólo contemplará los datos necesarios para resolver un problema particular. La perspectiva del mundo real adoptada por un SIG es a menudo denominado un “modelo”. Un modelo es una “síntesis de datos” (Heywood et al., 2011).

Será necesario distinguir entre los términos “dato” e “información”. Los datos son observaciones que hacemos al advertir el mundo real, en este sentido, los datos son recolecciones de hechos o evidencias que pueden ser procesadas para darles significado y convertirlas en información (Hagget y Chorley, 1967), por lo tanto la información es una serie de datos con significado y contexto agregado (Hanold, 1972).

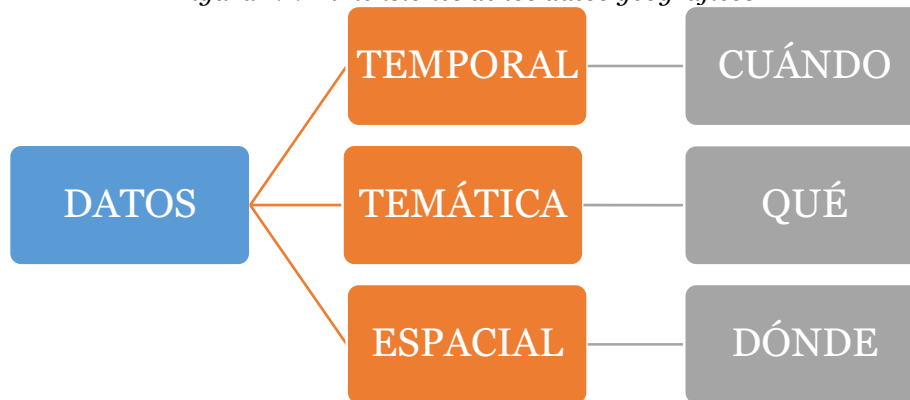
Los datos poseen tres dimensiones, esto es: una dimensión temporal, una temática y otra espacial (Heywood et al., 2011).

“La dimensión temporal proporciona un registro del momento en que los datos fueron recolectados”. Es decir, los datos temporales describen los datos organizados y analizados de acuerdo al tiempo (ver *figura 1.1*), o en otras palabras, establece el “cuando” fueron obtenidos dichos datos; por ejemplo: 20 octubre de 2001, 14:30 h

“La dimensión temática describe el carácter de la función en el mundo real al que se refieren los datos”; en otras palabras, representan los datos organizados y analizados de acuerdo al tópico; es decir, el “que” o el fenómeno del que se esté tratando.

Mientras que “la dimensión espacial puede considerarse como los valores, cadenas de caracteres o símbolos, que advierten al usuario acerca de la ubicación de la característica que se observa”, en otras palabras, se establece el “donde” ocurre el fenómeno.

Figura 1.1: Dimensiones de los datos geográficos



Fuente: elaboración propia

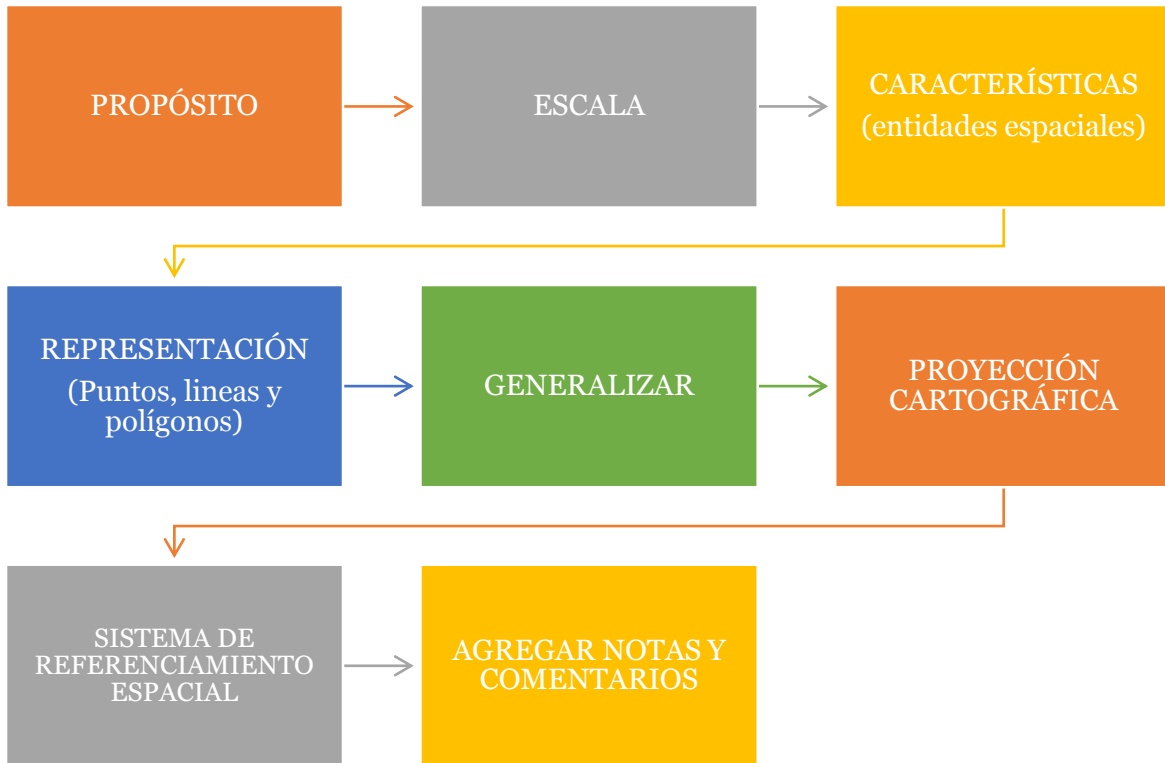
La forma en que se almacena, se analiza y se presentan los datos espaciales es a través de un mapa.

Aunque existen varios tipos de mapas, el proceso de mapeo tiene un procedimiento general (ver *figura 1.2*) Robinson, et al. (1995):

1. Establecer el *propósito* del mapa
2. Definir la *escala* en la que el mapa será creado
3. Seleccionar las *características* (entidades espaciales) del mundo real que debe ser representado en el mapa
4. Elegir un método de *representación* de esas características (puntos, líneas y polígonos)
5. *Generalizar* esas características para la representación en dos dimensiones
6. Adoptar una *proyección cartográfica* para colocar esas características en un plano
7. Aplicar un *sistema de referenciamiento espacial* para localizar esas características con relación a otra

8. Agregar *anotaciones* con llaves, leyendas y textos para facilitar el uso del mapa

Figura 1.2: Procedimiento general en la elaboración de mapas

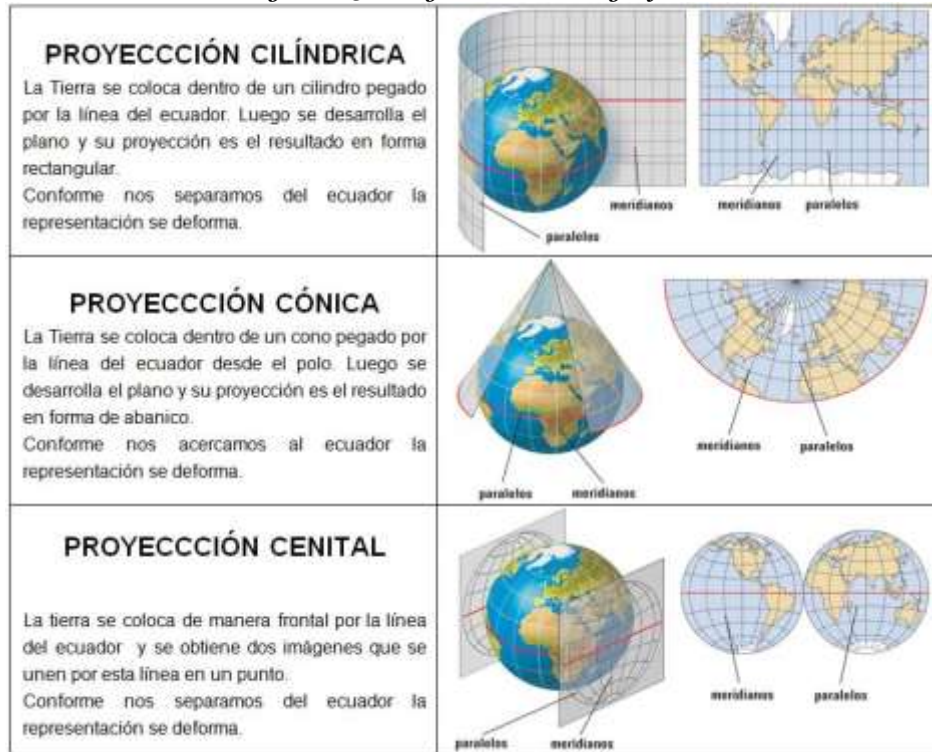


Fuente: elaboración propia con información de (Robinson et al., 1995)

1.1.3 Proyecciones Cartográficas

Las proyecciones cartográficas transfieren la forma esférica de la tierra a una superficie en dos dimensiones. El proceso de transferir la forma esférica de la tierra a dos dimensiones lleva consigo errores en los datos espaciales, el carácter de esta proyección puede variar dependiendo del método elegido (ver *figura 1.3*). Algunas proyecciones harán que la distancia entre entidades espaciales se conserve, mientras que la dirección se verá distorsionada. En otros casos, la forma puede ser preservada a expensas de la exactitud del área estimada (ver *figura 1.4*) (Heywood et al., 2011).

Figura 1.3: Proyecciones cartográficas



Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/-Wtn-1YUB34/To3P8oDHehI/AAAAAAAAAUI/HhHEJm1DFso/s1600/proyecciones.jpg>

Figura 1.4: Características de las proyecciones cartográficas

Proyección Cilíndrica

- Imagen continua de la Tierra
- Los países cercanos al ecuador se encuentran en sus verdaderas posiciones relativas
- La distancia incrementa entre los países localizados hacia la parte alta y baja de la imagen
- La vista de los polos estará muy distorsionada
- Área de la mayor parte se preservará

Proyección azimutal o cenital

- Sólo una parte de la superficie de la Tierra es visible
- La vista será de la mitad del globo o incluso menos
- Ocurrirá una distorsión en todas las cuatro esquinas
- Se preservará la mayor parte de las distancias

Proyección cónica

- El área se distorsiona
- La distancia se verá sumamente distorsionada conforme se avanza hacia la parte baja de la imagen
- La escala se preservará para la mayor parte

Fuente: elaboración propia con información de (Heywood et al., 2011)

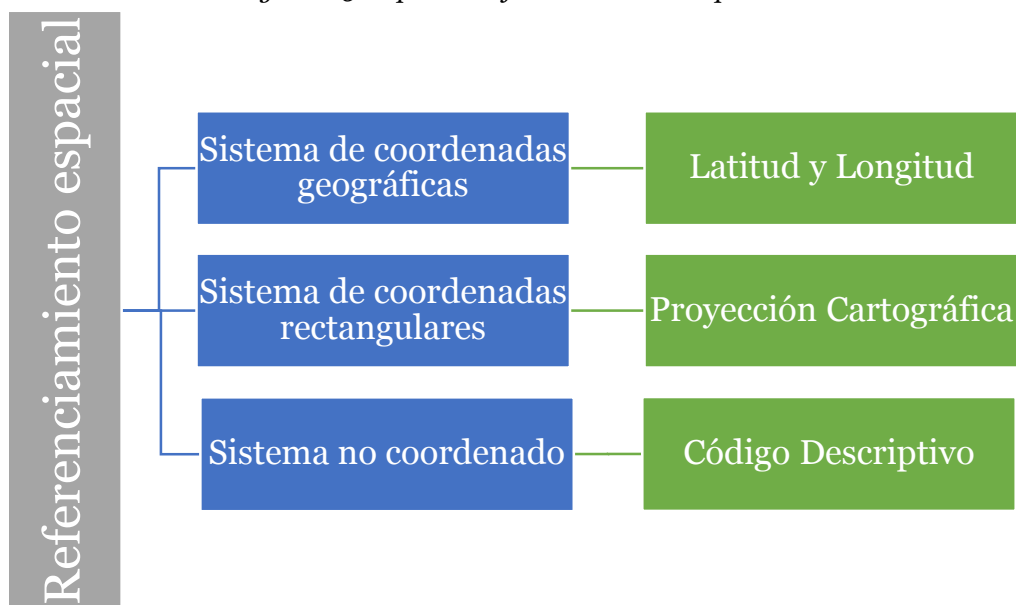
1.1.4 Georeferenciamiento o referenciamiento espacial

Un sistema de referencia se usa para localizar ítems sobre la superficie de la Tierra o una representación bidimensional de ésta como un mapa. Hay una variedad de características con las que debe contar un sistema de referencia. Entre ellas están la

estabilidad, la habilidad para mostrar puntos, líneas y áreas, y la capacidad para medir longitudes, tamaño (área) y la forma del terreno (Dale y McLaughling, 1988).

De la misma manera existen una gran variedad de métodos para el referenciamiento espacial, todos ellos se pueden agrupar en tres categorías (ver *figura 1.5*) (Heywood, et al., 2011).

Figura 1.5: Tipos de referenciamiento espacial



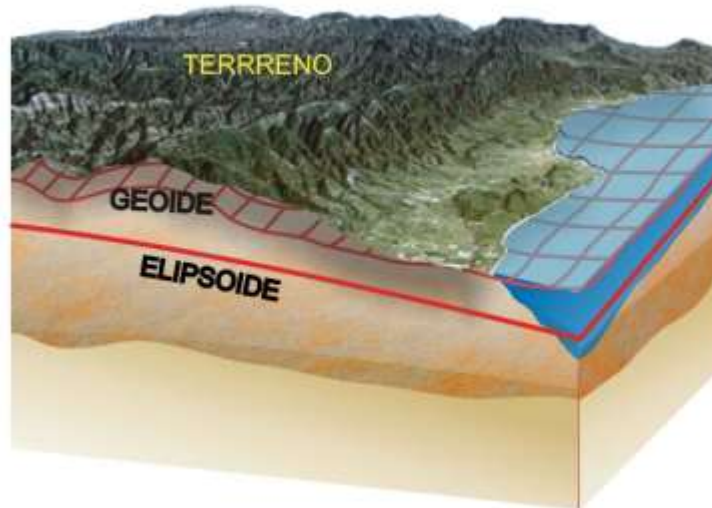
Fuente: elaboración propia con información de (Heywood et al., 2011)

1.1.4.1 El datum y el elipsoide de referencia

Un problema que tiene el usar el sistema de referencia geográfico es que asume que la Tierra es una esfera perfecta pero, en realidad la Tierra es una esfera achatada en los polos (elipsoide).

Por otra parte el *geoide* es el nombre que se le da a la forma de la Tierra y que debería asumir si todo fuera medido al nivel medio del mar definido por la superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre (ver *figura 1.6*). Es importante señalar que las elevaciones y la línea de contorno sobre la Tierra son presentadas de acuerdo al geoide, por otra parte la Latitud y la Longitud y todos los sistemas de planos coordenados son determinados respecto al elipsoide (Snyder, 1987).

Figura 1.6: Geoide y elipsoide



Fuente: («¿Qué es el Geoide?», 2013) http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/img/img_geoide.jpg

Dos constantes geométricas son suficientes para definir el elipsoide de referencia de las cuales hay tres posibilidades para definirlo (ver figura 1.7):

Figura 1.7: Elementos básicos para definir el elipsoide de referencia

- 1 {
 - Los ejes mayor y semimenor (radios ecuatorial y polar, respectivamente)
- 2 {
 - El eje semimayor y el achatamiento o elipticidad
- 3 {
 - El semieje mayor y la excentricidad

Fuente: elaboración propia con información de (Snyder, 1987)

En la *tabla 1.1* se mencionan algunos de las características de los elipsoides que son utilizados alrededor del mundo.

En el caso de México se utiliza el marco de referencia ITRF92 época 1988.0 que es el Sistema de Referencia Terrestre (IERS por sus siglas en inglés) adoptado oficialmente por el INEGI a partir de 1994, que a su vez está asociado al elipsoide GRS80.

Las características de este sistema aseguran un ajuste consistente con los movimientos y la forma terrestre. El centro de masas de la Tierra, incluyendo océanos y atmósfera, se toma como el origen del sistema de coordenadas tridimensional, así como el centro geométrico del elipsoide asociado. Los ejes X, Y y Z se definen en función del movimiento de rotación de la Tierra: El eje Z está dirigido hacia el polo convencional internacional, el eje X se orienta hacia el meridiano de Greenwich y el eje Y forma un triedro con los otros dos ejes en sentido hacia la derecha; de manera que el plano X-Y coincide con el plano ecuatorial. (INEGI, 2013a).

Tabla 1.1: Algunos elipsoides oficiales usados en el mundo

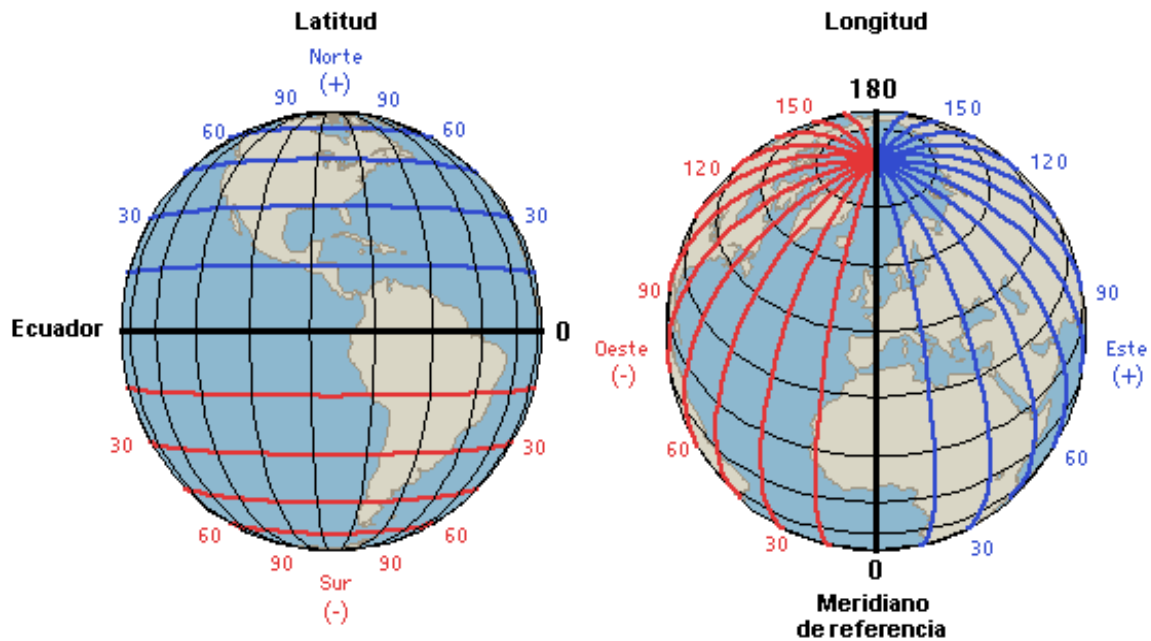
Nombre	Año	Radio ecuatorial <i>a</i> en [m]	Radio Polar <i>b</i> en [m]	Elipticidad <i>f</i>	Uso
GRS 80	1980	6,378,137	6,356,752	1/298.257	Newly
WGS 72	1972	6,378,135	6,356,750.5	1/298.26	NASA; Dep. de defensa de EEUU; compañías de petróleo
Austalian	1965	6,378,160	6,356,774.7	1/298.25	Australia
Krasovsky	1940	6,378,245	6,356,863.0	1/298.3	Union Soviética
Internat'l	1924	6,378,388	6,356,911.9	1/297	Resto del mundo
Hayford	1909				
Clarke	1880	6,378,249.1	6,356,514.9	1/293.46	Mayoría de África; Francia
Clarke	1866	6,378,206.4	6,356,583.8	1/293.46	Norte América; Filipinas
Airry	1830	6,377,563.4	6,356,256.9	1/299.32	Gran Bretaña
Bessel	1841	6,378,249.1	6,356,079.0	1/299.32	Europa Central; Chile; Indonesia
Everest	1830	6,377,276.3	6,356,075.4	1/300.80	India; Burma; Pakistán; Afganistán; Tailandia; etc.

Fuente: (Snyder, 1987)

1.1.4.2 Sistema de coordenadas geográficas

La localización de un punto sobre la superficie de la Tierra se define por medio de una referencia usando latitud y longitud. Las líneas de longitud (también conocidas como *meridianos*) comienzan en un polo e irradian hacia el exterior hasta que convergen en el polo puesto (ver *figura 1.8*).

Figura 1.8: Latitud y longitud



Fuente: <http://iepbachillerato.files.wordpress.com/2011/04/latitudes-y-longitudes.gif>

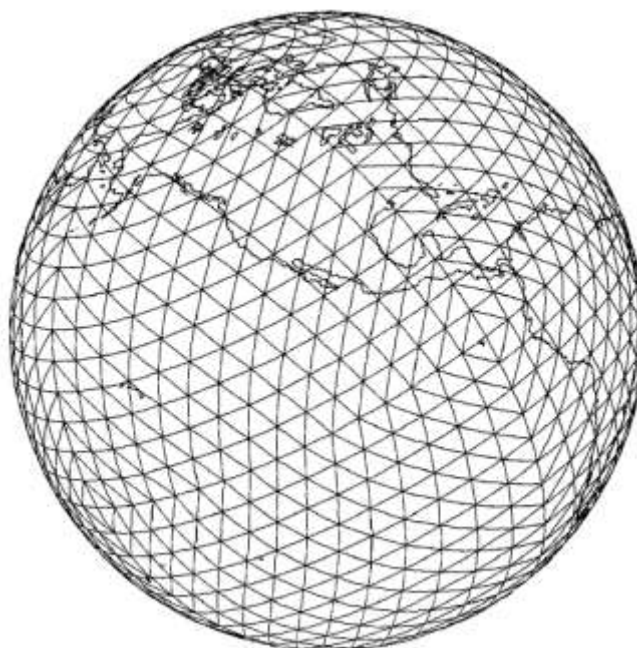
La **Latitud** es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el Ecuador. El Ecuador se toma como línea de base, y le corresponde la Latitud de 0° o 0° . Todos los puntos que estén ubicados en el mismo paralelo, les corresponden la misma latitud. Todos aquellos que se encuentren al Sur del Ecuador, reciben la denominación Sur (S), con signo negativo; y aquellos que se encuentren al Norte del Ecuador, reciben la denominación Norte (N), con signo positivo. La Latitud es siempre menor a 90° .

La **Longitud** es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el Meridiano de Greenwich. El Meridiano de Greenwich se toma como la línea de base, y le corresponde la Longitud de 0° . Todos los puntos ubicados sobre el mismo meridiano, tienen la misma longitud. Aquellos puntos que se encuentren al Oriente del Meridiano de Greenwich, reciben la denominación Este (E); y todos los puntos ubicados al Occidente del Meridiano de Greenwich, reciben la denominación Oeste (W). La Longitud se mide desde los 0° a los 180° , mientras que los polos Norte y Sur no tienen Longitud. («Coordenadas geográficas: Latitud y Longitud. | Astronomía», s. f.).

Usando líneas de latitud y longitud, cualquier punto sobre la superficie de la Tierra puede ser localizado por un sistema de referencia dado en grados ($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$).

Como se mencionó anteriormente, al utilizar un sistema de referencia geográfico se asume que la tierra es una esfera perfecta por lo que Goodchild y Shiren (1992) intentaron lidiar con las irregularidades en la superficie de la tierra; remplazando las líneas de latitud y longitud con una malla conformada de triángulos regulares (QTM por sus siglas en inglés). La ventaja de este tipo de sistema de referenciamiento es que cada triángulo ocupa la misma área sobre la superficie terrestre (ver *figura 1.9*). Los triángulos individuales son también del mismo tamaño y forma. La naturaleza flexible de una malla triangular significa que puede ser moldeada para encajar en la forma de la verdadera superficie de la Tierra (Heywood et al., 2011).

Figura 1.9: Sistema de malla triangular visto ortográficamente desde el Océano Pacífico a aproximadamente 110°O 15°E



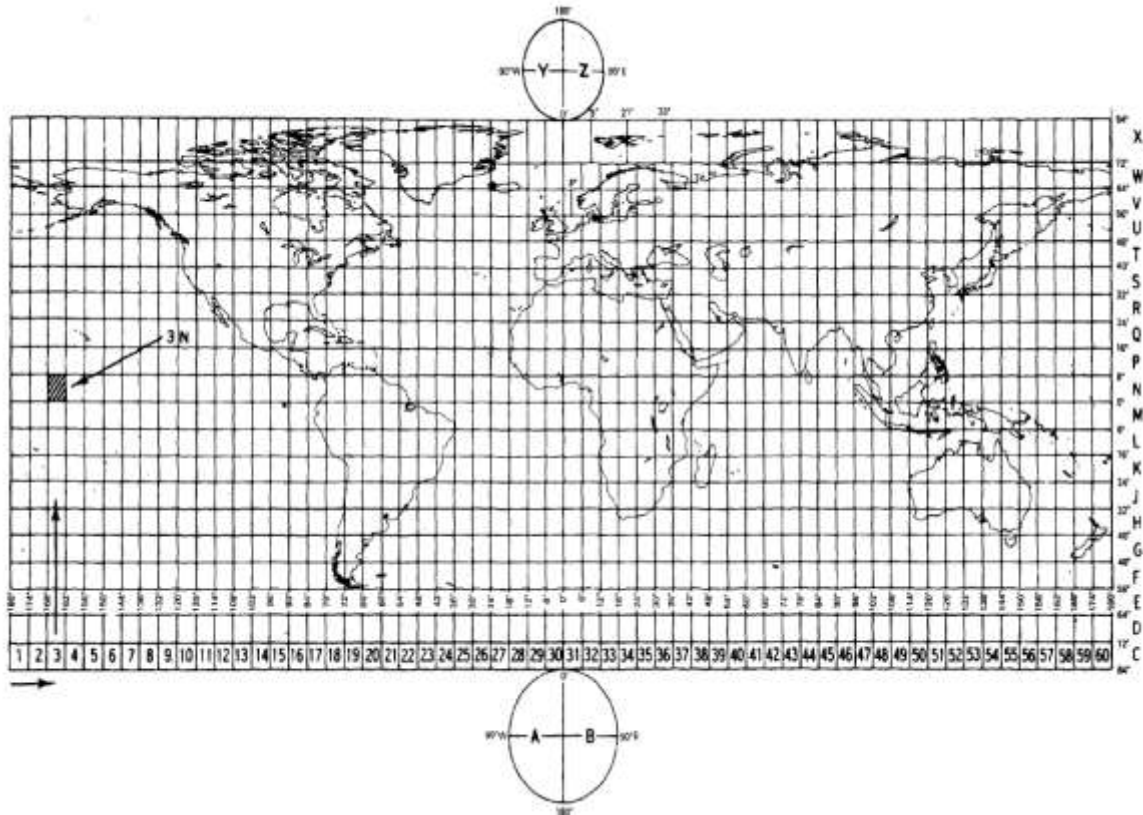
Fuente: (Goodchild y Shiren, 1992)

1.1.4.3 Sistema de coordenadas rectangulares

La mayor parte de los datos espaciales disponibles para uso de SIG existen en forma bidimensional. Para hacer uso de esos datos un sistema de referencia usa coordenadas rectangulares. Para obtener eso, una retícula o cuadrícula, se coloca en la parte superior del mapa. Esta retícula se obtiene de la proyección de las líneas de latitud y longitud de nuestra representación del mundo como si fuera un globo sobre una superficie plana usando una proyección cartográfica. Un ejemplo es el Universal Transverse Mercator (UTM). Este sistema utiliza la proyección transversal de Mercator y divide a la Tierra en 60 zonas verticales que tienen 6 grados de longitud de ancho evitando los polos (ver *figura 1.10*).

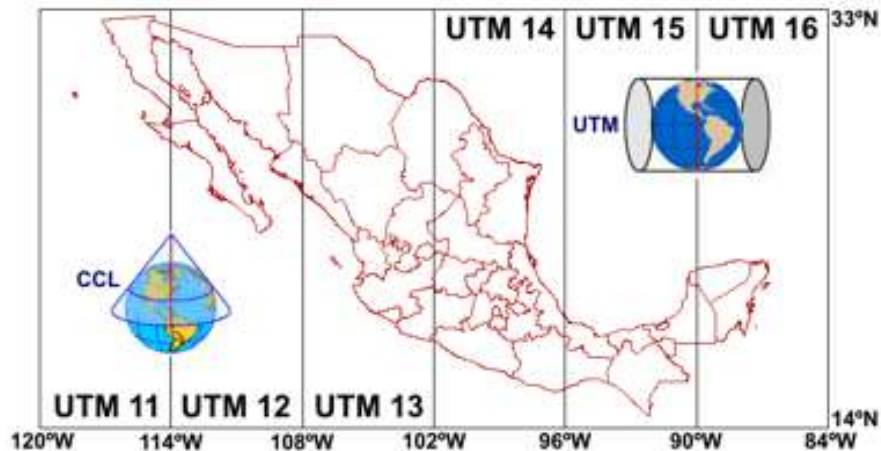
En el caso específico de México las proyecciones más utilizadas son las Cónicas Conformes de Lambert (CCL) para representar a todo el territorio y las Transversales Universales de Mercator (UTM), con sus debidos parámetros apropiados a la región a proyectar (ver *figura 1.11* y *figura 1.12*).

Figura 1.10: Cuadrícula Universal Tranverse Mercator (UTM)



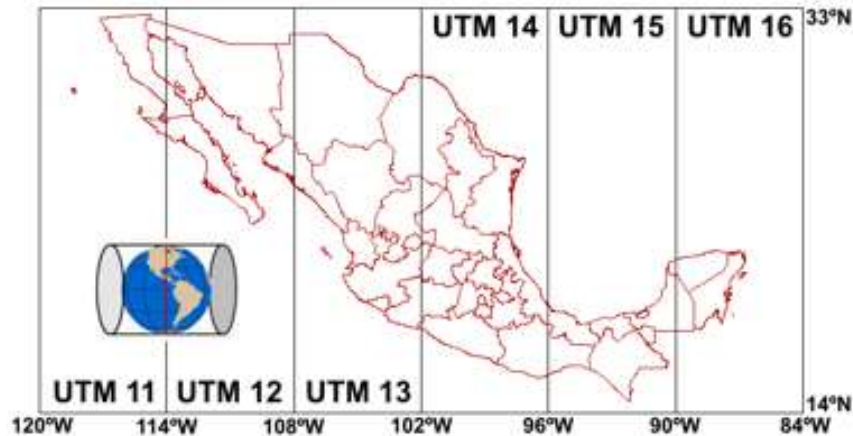
Fuente: (Snyder, 1987)

Figura 1.11: Cónica Conforme de Lambert (CCL) para el caso de México



Fuente: («¿Cómo aplanar a México?», 2010)
<http://idrisi.uaemex.mx/images/ImagenesIdrisi/Saber/2006/10/30/MxcUTM.jpg>

Figura 1.12: Tranverse Universal Mercator (UTM) para el caso de México



Fuente: («¿Cómo aplanar a México?», 2010)
<http://idrisi.uaemex.mx/images/ImagenesIdrisi/Saber/2006/10/30/MxcUTM.jpg>

1.1.4.4 Sistemas no coordenados

Estos sistemas proveen una referencia espacial usando un código descriptivo más que uno coordenado. Por ejemplo los códigos postales, unos son totalmente numéricos como en el caso de México y otros son del tipo alfanumérico como es el caso del Reino Unido. Todos tienen el mismo propósito: incrementar la eficiencia de la clasificación y la entrega del correo más que ser un efectivo sistema espacial de referencia.

1.1.5 Representación de los Datos Cartográficos

Un SIG simplifica la información que existe en el mundo real, mediante elementos que se consideren los más relevantes. En los SIG, existen dos tipos de modelación: el modelo raster y el modelo vectorial.

1.1.5.1 El modelo vectorial

Se caracteriza por ubicar de forma precisa los elementos representados. Las características del espacio a representar se definen a partir de un punto, una línea o un polígono (ver figura 1.13 a)).

- El **punto** es un objeto espacial sin dimensión, que dispone de una localización en el espacio, pero sin longitud ni amplitud. Se representan como un punto aquellos elementos con una dimensión despreciable.

- La **línea** es un objeto espacial de una sola dimensión, por disponer de longitud pero no de amplitud. Se define a partir de una secuencia de puntos.
- El **polígono** es un objeto espacial de dos dimensiones, pues dispone tanto de longitud como de amplitud. Se define a partir de una secuencia de líneas que cierra.

Los atributos de las características son almacenados entonces con un software tradicional de gestión de base de datos.

1.1.5.2 El modelo raster

Se caracteriza por centrar su interés en la tipología de los elementos a representar más que en su delimitación cartográfica precisa. El espacio se divide en una red regular de unidades diferenciadas, de igual tamaño y forma, denominadas **pixeles** o **celdas**. Cada uno de los pixeles dispone de un valor numérico que representa un determinado elemento del mundo real (ver *figura 1.13 b*).

La representación de los elementos del mundo real se realiza de la siguiente forma (Vila y Varga, 2008):

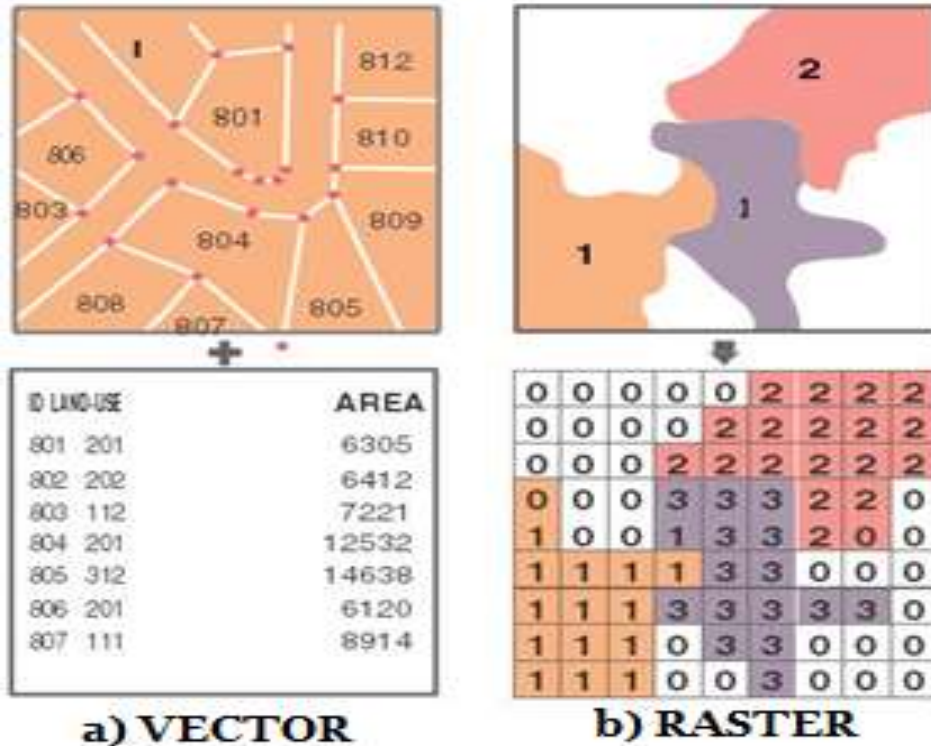
- Un elemento puntual = un pixel
- Un elemento lineal = una secuencia de pixeles
- Un elemento poligonal = una agrupación de pixeles

Algunos SIG disponibles en el mercado sólo tienen la capacidad de manejar un tipo de modelo, ya sea vectorial o raster, algunos otros poseen la habilidad de manejar ambos; entre los más usados se encuentran:

- ArcGIS (www.esri.com) SIG raster y vectorial
- Autodesk MapGuide (www.autodesk.com) SIG vectorial
- Geomedia (www.intergraph.com) SIG vectorial y raster
- Grass (grass.itc.it) SIG raster
- IDRISI (www.clarklabs.org) SIG raster y vectorial
- Manifold (www.manifold.net) SIG vectorial
- Mapinfo (www.mapinfo.com) SIG vectorial
- Microstation Geographics (www.bentley.com) SIG vectorial
- Smallworld (www.gesmallworld.com) SIG vectorial
- Spring (www.dpi.inpe.br/spring) SIG raster

Para fines de esta investigación se usará el software IDRISI Selva ® (versión 17) por las ventajas que en la siguiente sección se mencionan.

Figura 1.13: a) Representación de un modelo vectorial; b) representación de un modelo raster



Fuente: (Eastman, 2012)

1.1.5.3 IDRISI

IDRISI® fue creado en 1987 por Clark Labs de la Escuela de Geografía en la Universidad de Clark; Massachusetts, EUA. Centro dedicado a la investigación y al desarrollo de tecnologías geoespaciales para la toma de decisiones relacionadas con el medio ambiente, desarrollo sustentable y asignación de recursos.

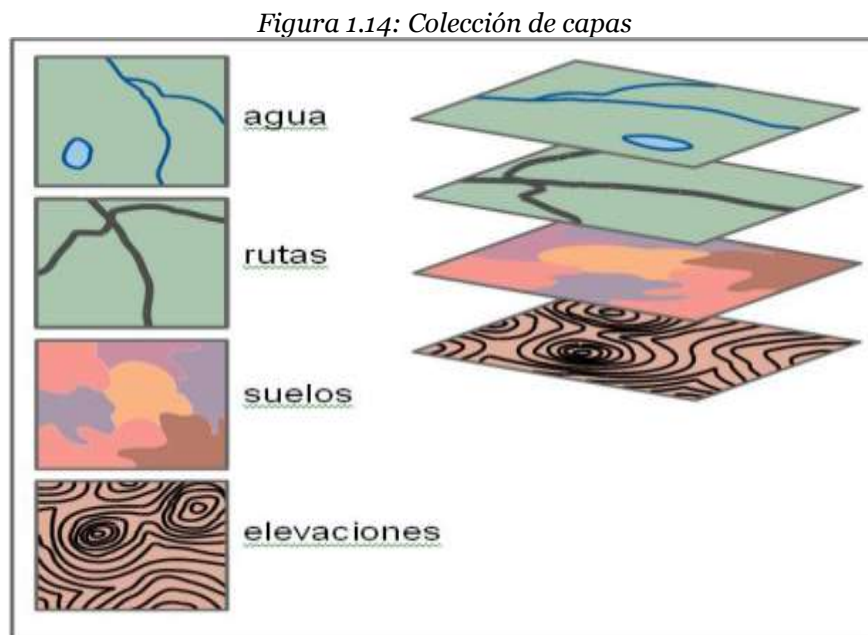
Cabe señalar que IDRISI® no es un acrónimo, sino que le dieron este nombre en honor a Abu Abd Allah Muhammed al-Idrisi (1100-1166 A.C) quien fuera un cartógrafo y geógrafo musulmán de gran importancia durante la época medieval (Eastman, 2012).

Como se detalla en puntos anteriores, existen varios tipos básicos de capas en los SIG: capas de imágenes raster y de imágenes vectoriales. Algunos sistemas usan exclusivamente uno u otro tipo. IDRISI® incorpora ambos tipos, puesto que cada uno posee ventajas especiales.

La ventaja que tiene IDRISI® sobre algunos otros SIG es la compatibilidad de las imágenes raster almacenadas con números bytes, enteros y reales, así como en dos formatos especiales para el almacenamiento de imágenes a todo color.

Las capas vectoriales describen la ubicación y la naturaleza de las distintas características geográficas. Los subtipos incluyen capas de puntos, líneas, polígonos y textos.

Una de las ventajas que posee IDRISI® y algunos otros SIG es la visualización de ciertas capas de las cuales queremos complementar la información sin importar si están representadas en modelo raster o vectorial (*ver figura 1.14*).



Fuente: (Eastman, 2012)

Otra de las ventajas importantes de este software es que tiene la capacidad de realizar lo que se conoce como **Álgebra de Mapas**. Esta herramienta sirve para combinar las capas de los mapas matemáticamente. La modelación en particular requiere la habilidad de combinar capas de acuerdo a varias ecuaciones matemáticas. En la mayoría de los proyectos se requiere de modificar los valores de los datos por medio de varias operaciones y transformaciones matemáticas, y combinar matemáticamente los factores para producir un resultado final.

Las herramientas del Álgebra de Mapas ofrecen por lo regular tres tipos diferentes de operaciones (Eastman, 2012):

1. La capacidad para modificar matemáticamente los valores de los datos de atributo por medio de una constante (aritmética escalar);

2. La habilidad para transformar matemáticamente los valores de los datos de atributo por medio de una operación estándar (como las funciones de trigonométricas, las transformaciones de registro, etc.)
3. Y la capacidad para combinar matemáticamente (como sumar, restar, multiplicar, dividir) capas diferentes de datos para producir un resultado compuesto.

Dado que esta investigación trata de los SIG aplicado a la toma de decisiones en caso de que se presente una inundación será necesario entonces definir tales conceptos y restringir o delimitarlos de tal manera que se tenga una sola definición. Por esta razón se definirá primeramente el concepto de *inundación* y para tal efecto se hace uso de una institución en México como el CENAPRED ya que se tienen diversas definiciones y clasificaciones dependiendo del autor. Asimismo se señalará lo que se pretende con el uso de los SIG en la *toma de decisiones* para lo cual se darán algunas definiciones al respecto.

1.2 Definición de inundación

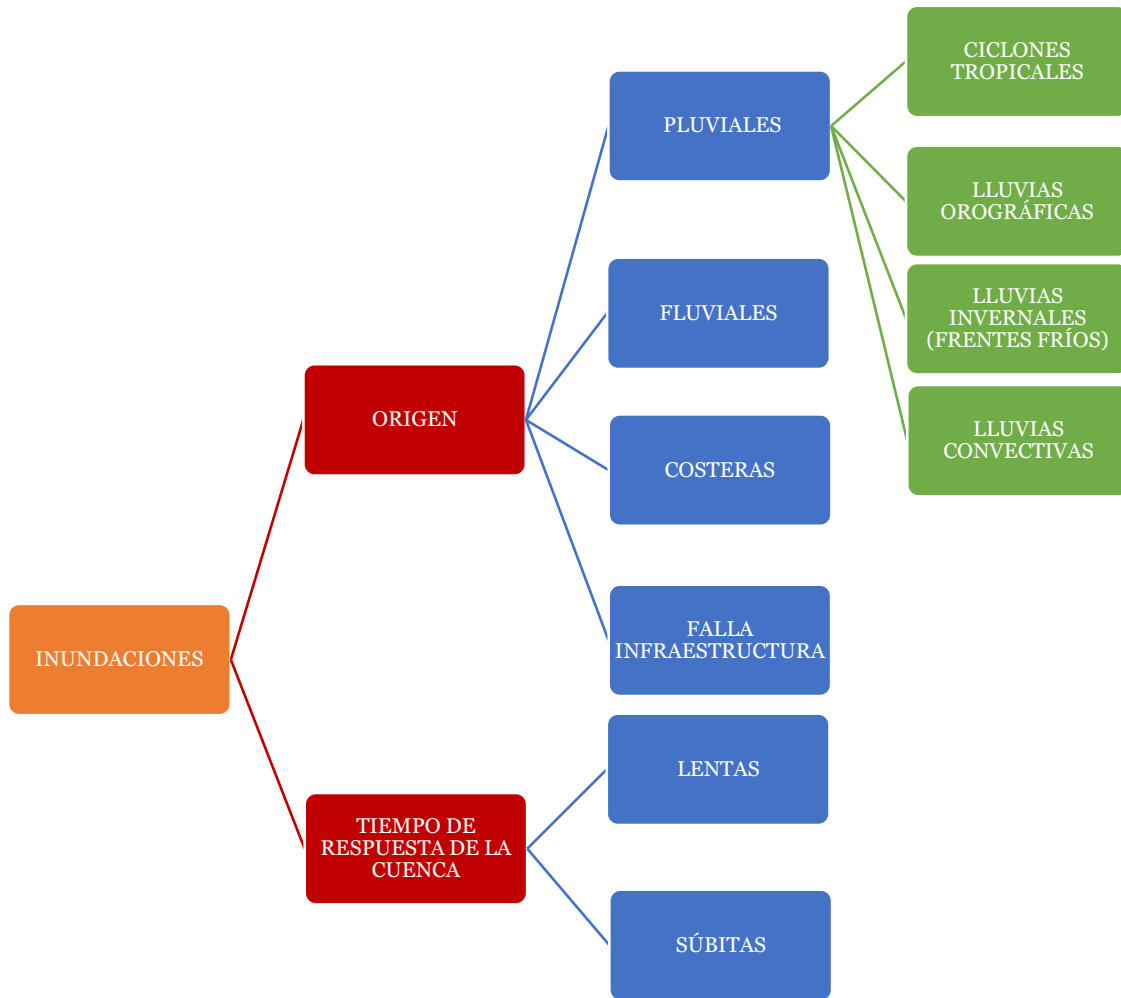
Existen numerosas definiciones de inundación las cuales se basan en factores como la velocidad y nivel del agua alcanzado, el tiempo de respuesta hidrológico de la cuenca y por la extensión del área afectada por la inundación. Sin embargo por conveniencia en la presente investigación se entenderá como inundación lo establecido por el CENAPRED que define a una inundación como "*aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla en alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura*" (Salas y Jiménez, 2004).

1.2.1 Clasificación de las inundaciones

Puesto que para cada zona geográfica, una probable inundación depende precisamente de su ubicación geográfica, es importante clasificar a las inundaciones para conocer las posibles causas y efectos que ello provocaría en una zona en específico. Cada zona geográfica tiene sus características particulares por lo que las causas de alguna probable inundación pueden ser por un factor en particular o una combinación de factores.

El CENAPRED clasifica a las inundaciones por su origen y por el tiempo que tardan en presentarse sus efectos (Salas y Jiménez, 2004) (ver *figura 1.15*)

Figura 1.15: Clasificación de las inundaciones



Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED (2012).

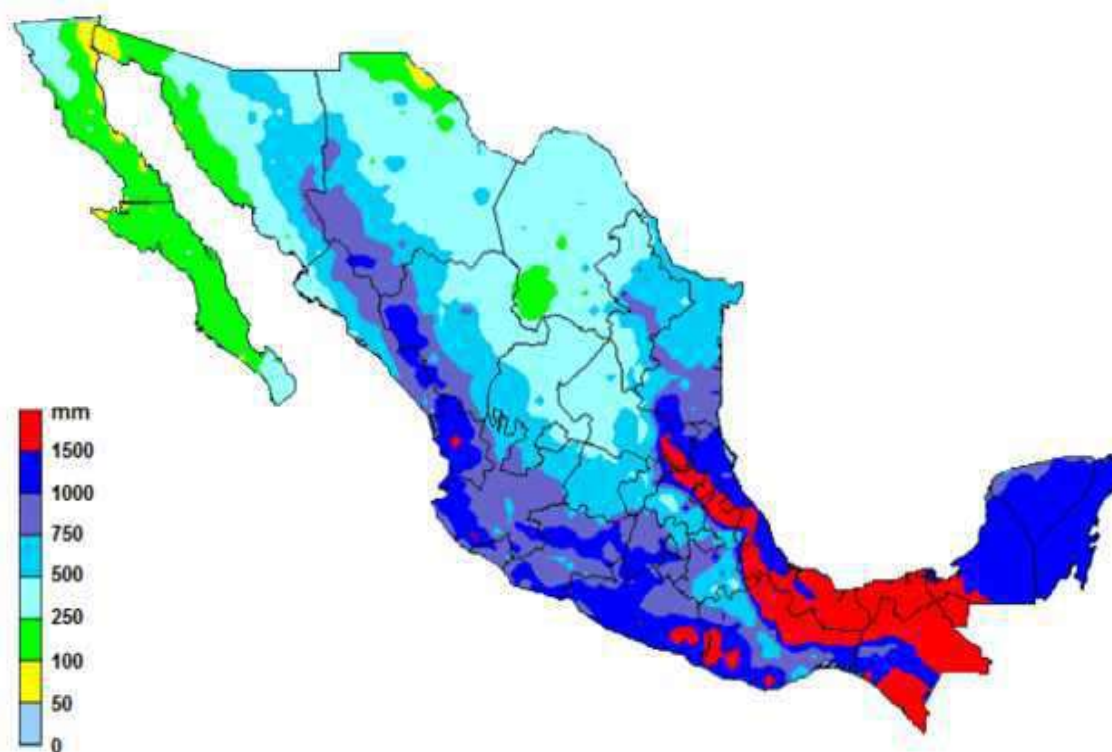
1.2.1.1 Inundaciones de acuerdo con su origen

1.2.1.1.1 Inundaciones pluviales

Son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días. Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte (por ejemplo de la parte alta de la cuenca). La República Mexicana es afectada por precipitaciones originadas por

diferentes fenómenos hidrometeorológicos; en la *figura 1.16* se muestra la precipitación media anual de la República Mexicana en la cual se aprecia que las mayores precipitaciones se tienen en sureste del territorio nacional. En verano (de junio a octubre) las lluvias más intensas están asociadas con la acción de ciclones tropicales que afectan gran parte del territorio nacional. En cambio, durante el invierno los frentes fríos son la principal fuente de lluvia. A estos fenómenos se suman el efecto ejercido por las cadenas montañosas (*lluvia orográfica*), además del convectivo, que ocasiona tormentas de corta duración y poca extensión, pero muy intensas (*lluvias convectivas*).

Figura 1.16: Precipitación media anual en el territorio nacional



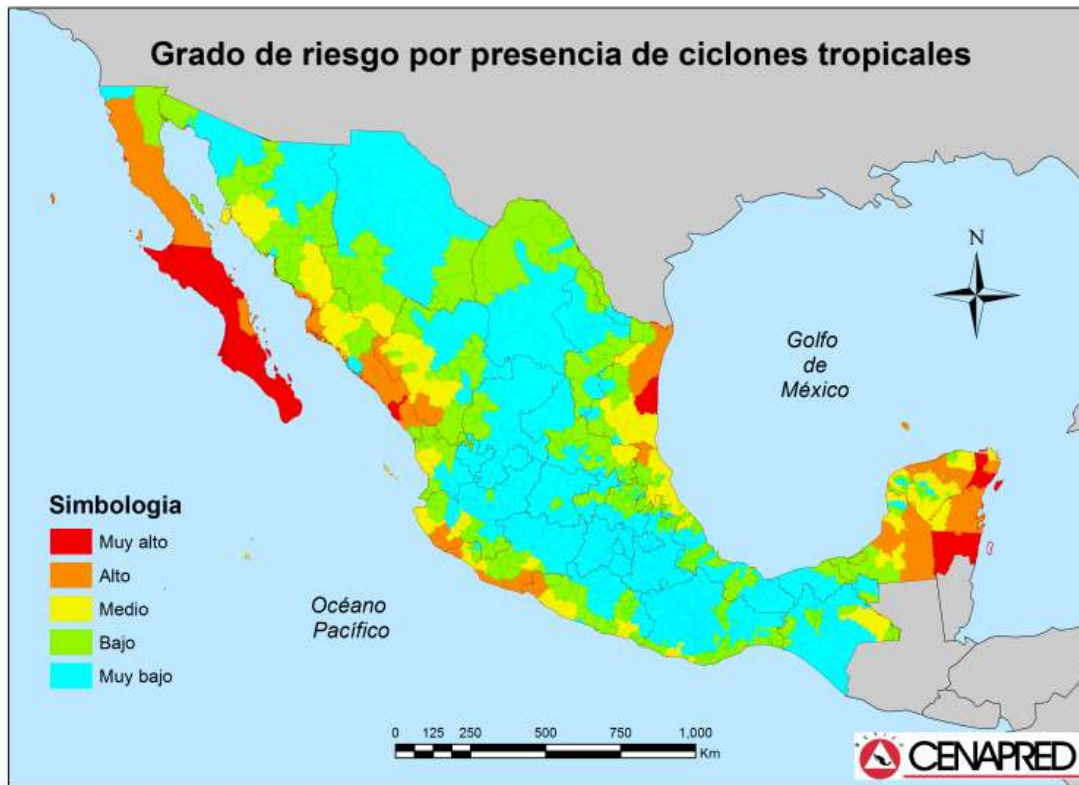
Fuente: (CNA, 2012)

1.2.1.1.1 Causas de la precipitación

1.2.1.1.1.1 Ciclones tropicales

Al transportar grandes cantidades de humedad, los ciclones tropicales pueden provocar tormentas de larga duración, del orden de varios días y abarcar grandes extensiones. Por lo que pueden ser causa de inundaciones en las principales cuencas del país, principalmente en aquéllas que vierten hacia el Golfo de México o hacia el océano Pacífico (ver *figura 1.17*).

Figura 1.17: Grado de riesgo por presencia de ciclones tropicales en la República Mexicana

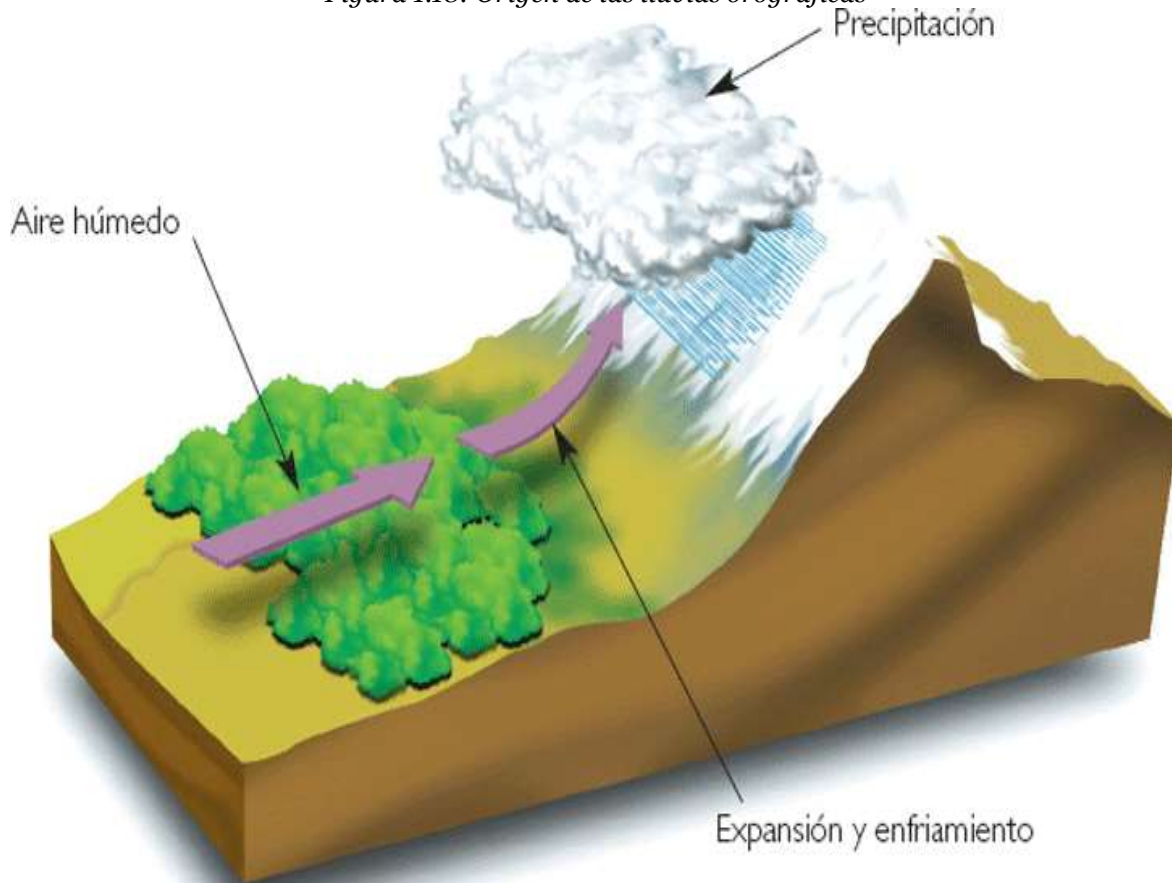


Fuente: (CENAPRED, 2012)

1.2.1.1.1.2 Lluvias orográficas

Se originan con las corrientes de aire húmedo que chocan con las barreras montañosas, provocando su ascenso y consecuente enfriamiento, lo que da lugar para su condensación y, como resultado, la ocurrencia de precipitación en el lado por donde sopla el viento (barlovento) hacia las montañas. El relieve representa un importante factor en la distribución de las lluvias, ya que actúa como una barrera o un modificador de la dirección del viento (ver *figura 1.18*). Usualmente esta distribución de la precipitación es muy irregular entre las dos vertientes de una misma cadena montañosa, sobre todo cuando su eje es más o menos perpendicular a la dirección de los vientos húmedos dominantes.

Figura 1.18: Origen de las lluvias orográficas



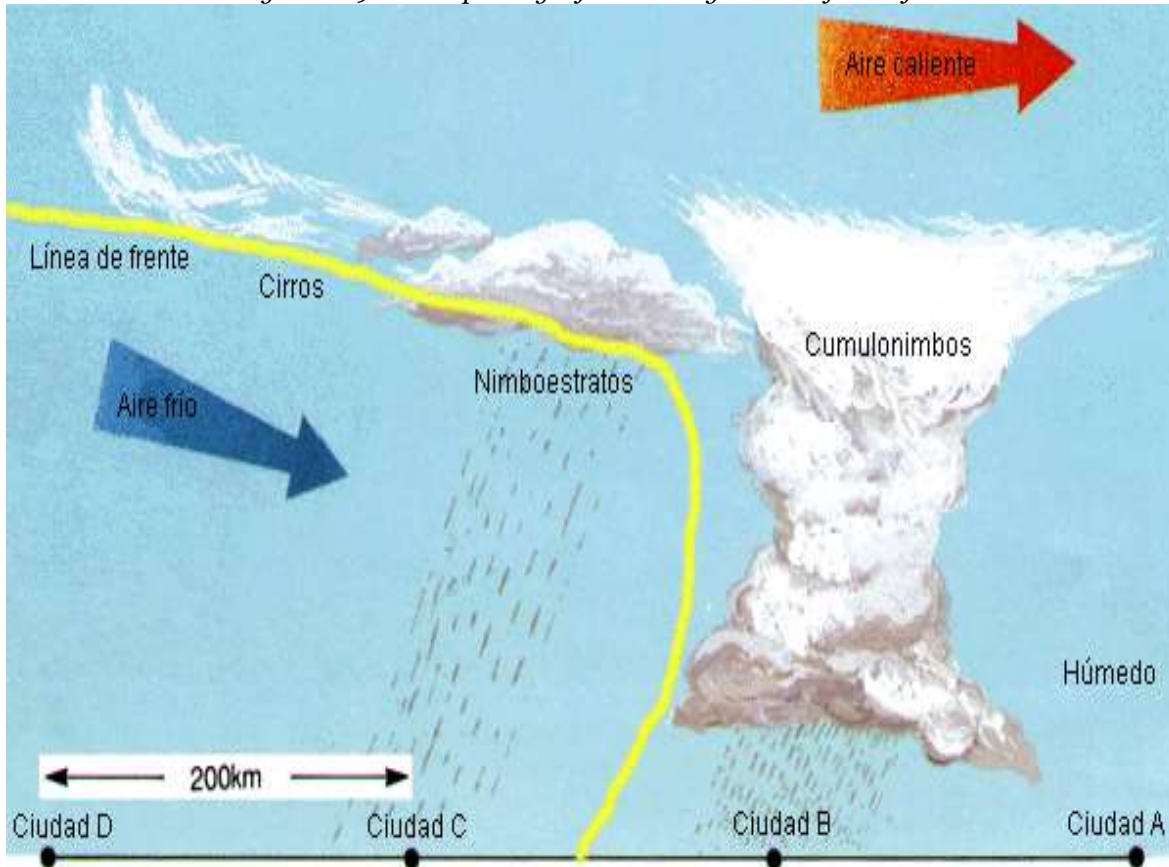
Fuente:

http://mx.kalipedia.com/kalipediamedia/geografia/media/200806/05/geochile/20080605klpgeogch_19_Ges_SCO.png
(2013)

1.2.1.1.1.3 Lluvias invernales (frentes fríos)

Consisten en el desplazamiento de frentes de aire frío procedentes de la zona del Polo Norte, que en su avance hacia el sur interacciona con aire caliente, se caracterizan por fuertes vientos, nublados y precipitaciones si la humedad es suficiente (ver *figura 1.19*). En el país, la zona más afectada por este tipo de fenómenos meteorológicos es la noroeste, donde se originan precipitaciones importantes; sin embargo, también afectan la vertiente del golfo de México y la península de Yucatán. Las grandes avenidas ocurridas en los ríos Fuerte y Yaqui en Sinaloa y Sonora, son consecuencia de este tipo de fenómenos.

Figura 1.19: Descripción gráfica del origen de un frente frío



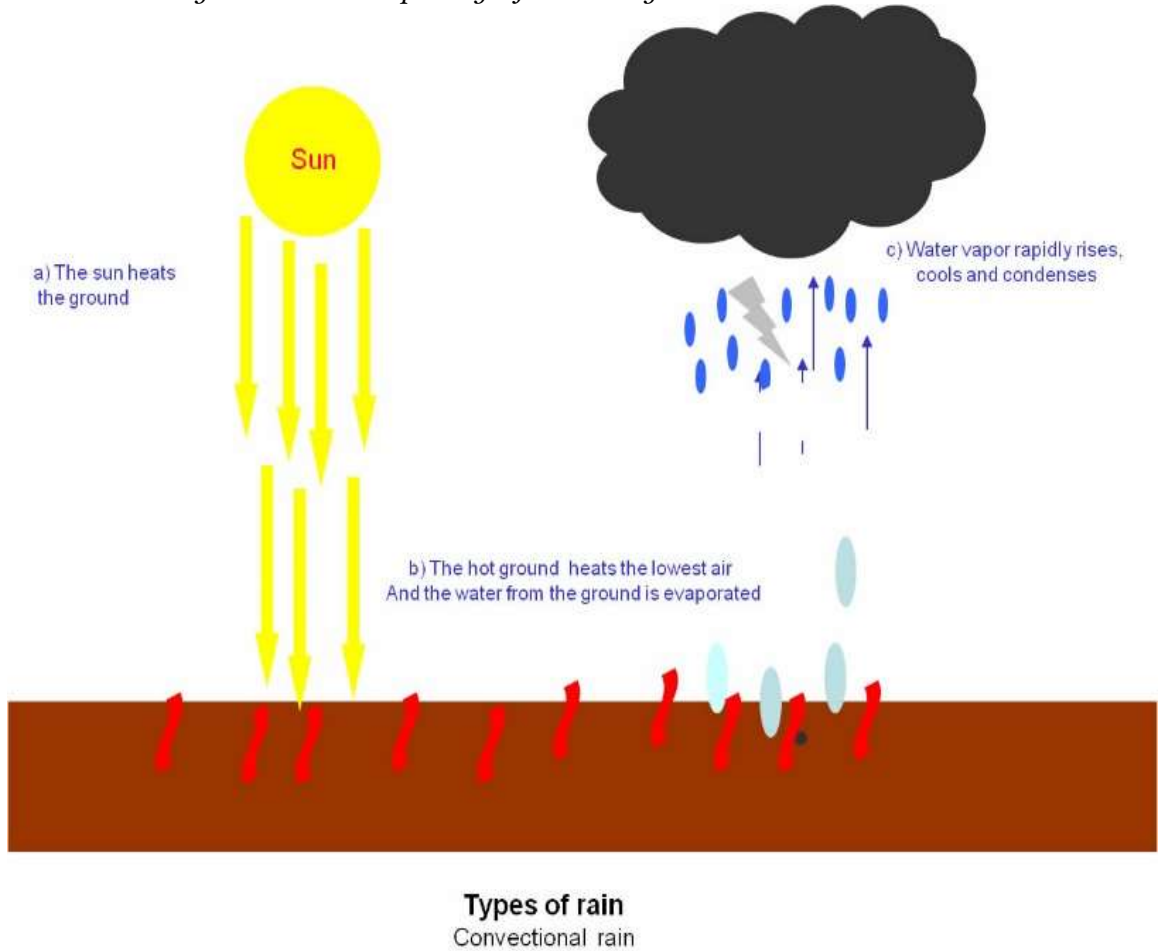
Fuente: <http://www.ckkc.co.uk/html/stories/metrology.html> (2013)

1.2.1.1.1.4 Lluvias convectivas

Las lluvias convectivas tienen su origen en el calentamiento de la superficie terrestre, ya que algunas áreas de la superficie de la tierra absorben mejor que otras los rayos solares, por ello, el aire en contacto con esas “zonas cálidas” llega a calentarse más que en los alrededores, lo que da lugar a corrientes verticales con las que asciende el aire caliente húmedo.

Estas corrientes al llegar a la capa de la troposfera, se enfrían rápidamente, produciéndose la condensación del vapor de agua y formándose nubes densas, por lo general del tipo cúmulos o nubes macizas (ver *figura 1.20*). Se presentan en áreas reducidas ya que el ascenso y descenso de las corrientes sólo muestran un espacio local.

Figura 1.20: Descripción gráfica del origen de las lluvias convectivas



Fuente: <http://www.claseshistoria.com/bilingue/1eso/climate/imagenes/rain-convictional.jpg> (2013)

1.2.1.1.2 Inundaciones fluviales

Se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos.

A diferencia de las pluviales, en este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada.

Es importante observar que el volumen que escurre sobre el terreno a través de los cauces, se va incrementando con el área de aportación de la cuenca, por lo que las inundaciones fluviales más importantes se darán en los ríos con más desarrollo (longitud) o que lleguen hasta las planicies costeras (ver *figura 1.21*).

Figura 1.21: Inundación de origen fluvial en Villahermosa, Tabasco



Fuente: <http://www.vanguardia.com.mx/XStatic/vanguardia/images/espanol/lluvias-tabasco-231011.jpg> (2013).

1.2.1.1.3 Inundaciones costeras

Se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea y permite que éste penetre tierra adentro, en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno.

La marea de tormenta es generada por los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y por la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros (ver *figura 1.22*). Por su parte, el oleaje en el océano puede ser provocado por diferentes factores; sin embargo, su causa más común es el viento. La suma de los efectos de ambos fenómenos, puede causar importantes estragos.

Figura 1.22: Camioneta empujada por el oleaje en Southampton, Nueva York, EUA.



Fuente: http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2012/10/29/article-2224655-15BEB53B000005DC-462_964x601.jpg (2013).

1.2.1.1.4 Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica

Existe una causa que puede generar una inundación, aún más grave que las antes mencionadas: si la capacidad de las obras destinadas para protección es insuficiente, la inundación provocada por la falla de dicha infraestructura será mayor que si no existieran obras.

Las causas pueden ser diseño escaso, mala operación en obras de excedencia y/o compuertas, falta de mantenimiento o término de la vida útil de la obra. La *figura 1.23* muestra el momento en que la presa Delhi cuyo terraplén sur se vio superado, abriéndose una brecha de unos 10 metros de ancho, por el que brotaron grandes volúmenes de agua que inundaron todo a su paso.

Figura 1.23: La presa Delhi, Iowa



Fuente: («Fallas de obras hidráulicas: la presa Delhi», 2012)
<http://3.bp.blogspot.com/-WX8LgoUIaWA/Tws2YPDnmmI/AAAAAAAAHGY/ITGF6Bziplo/s1600/falla+presa+Delhi.jpg>

1.2.1.2 De acuerdo con el tiempo de respuesta de la cuenca

La respuesta hidrológica de una cuenca depende de sus características fisiográficas. Básicamente se han definido dos grupos: inundaciones lentas e inundaciones rápidas. Lo anterior significa que en cuencas cuya respuesta hidrológica es lenta se generan avenidas en un tiempo relativamente largo (del orden de varias horas o días); en ellas ocurren principalmente daños materiales. Mientras que cuando la inundación se forma en poco tiempo (desde unos cuantos minutos, hasta un par de horas) se llama inundación súbita, causando, principalmente, la pérdida de vidas humanas en zonas pobladas.

1.2.1.2.1 Inundaciones súbitas

Son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Normalmente se asocian a terrenos con grandes pendientes.

1.2.1.2.2 Inundaciones lentas

Al ocurrir una precipitación capaz de saturar un terreno relativamente plano, esto es, cuando el suelo no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno.

Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca, se incrementa proporcionalmente con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de éste, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede permanecer horas o días sobre el terreno.

Los daños que provocan las inundaciones dependen de diversos factores (Estrada, 1996) citado por (Baró et al., 2012)

- Altura media de la lámina o tirante de agua y/o altura local del agua en la zona inundada,
- Época del año en que se produce (ver *tabla 1.2*),
- Velocidad del agua,
- Duración de la inundación,
- Tiempo transcurrido desde la inundación anterior (frecuencia),
- Carga de sólidos arrastrada, y
- Tiempo disponible de respuesta desde que se produce la alarma, entre otros.

Tabla 1.2: Agenda de riesgos por inundación de la República Mexicana

Mes	Ciclones Tropicales	Inundaciones	Sistemas Invernales	
Enero				Alta posibilidad de ocurrencia
Febrero				
Marzo				Mediana posibilidad de ocurrencia
Abril				
Mayo				Poca posibilidad de ocurrencia
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				

Fuente: (Salas y Jiménez, 2009)

De la *tabla 1.2* se aprecia que entre los meses de mayo a noviembre ocurren fuertes lluvias por ser época de ciclones tropicales y causar inundaciones en grandes áreas.

Del mismo modo, durante el invierno (diciembre a marzo) se tiene gran posibilidad de lluvias, cuya principal fuente son masas de aire frío, conocidos como frentes fríos.

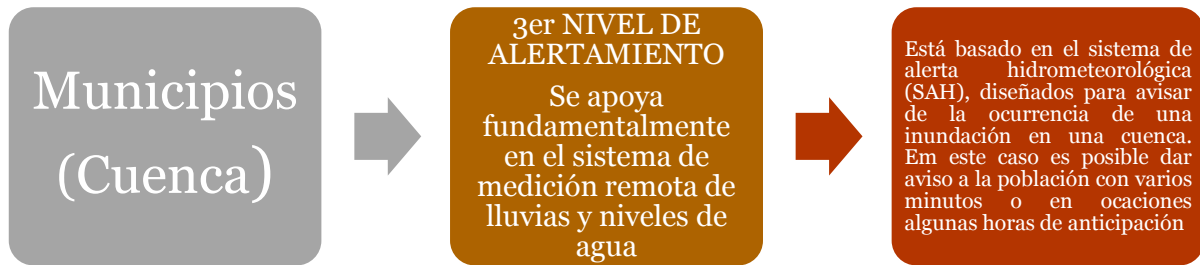
Para minimizar los efectos negativos de las lluvias, se ha hecho un gran esfuerzo por pronosticar la presencia de un fenómeno hidrometeorológico que pudiera generar una inundación, llevando a cabo acciones de monitoreo y estudio de la evolución de los ciclones tropicales y lluvias durante sus diferentes fases, lo que permite a las autoridades de protección civil actuar y de informar a la población de manera oportuna para que se tomen las medidas pertinentes (preventivas u operativas) y adecuadas (Salas y Jiménez, 2009) (ver *figura 1.24*).

Cabe señalar que las instituciones encargadas del seguimiento de los fenómenos hidrometeorológicos son las que a continuación se numeran:

1. Unidad de Servicios Meteorológicos Nacional, CNA
2. Dirección General de Protección Civil
3. Centro Nacional de Prevención de Desastres

Figura 1.24: Niveles de alerta de fenómenos hidrometeorológicos





Fuente: (Salas y Jiménez, 2009)

A su vez, los Sistemas de Alerta Hidrometeorológica que son herramientas técnicas desarrolladas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), estiman los escurrimientos que producirá la lluvia en la región, en los minutos u horas posteriores a su ocurrencia y con esto señalar del peligro que podría generarse en ciertas zonas.

Un sistema de *Alerta Hidrometeorológica* consiste por dos puestos de centrales de registro y análisis y por estaciones de medición de precipitación y del nivel de agua en los cauces. El puesto central se encarga de sondear a cada una de las estaciones remotas a intervalos fijos de 10 minutos y de almacenar la información recibida. Los análisis se comparan con un umbral preestablecido, para determinar la activación o no de la alarma local que dé aviso al personal encargado de la supervisión del sistema, y así mismo se analicen los resultados con el objeto de mantener informadas del fenómeno meteorológico a otras instituciones (Salas y Jiménez, 2009).

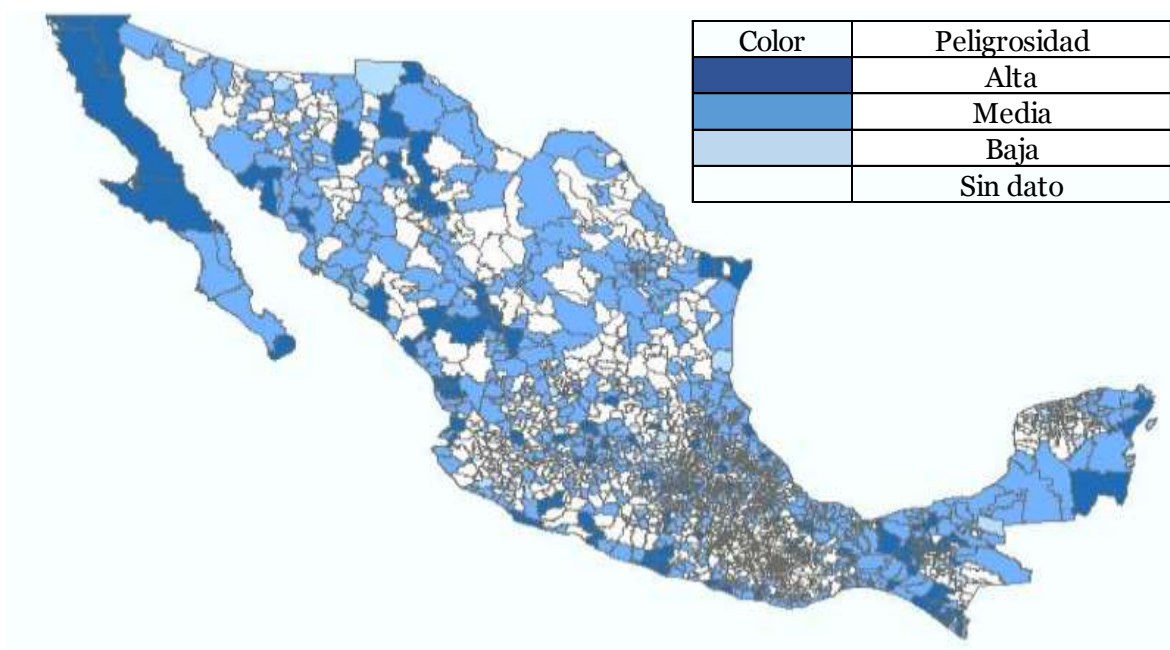
En México las principales zonas que se ven afectadas por las inundaciones son las partes bajas y zonas costeras, como se aprecia enseguida.

Se ha recopilado un registro histórico de eventos extraordinarios, con el cual se ha tratado estimar el peligro de cada uno de los municipios que componen al país (ver *figura 1.25*). Cabe señalar que no se cuenta con eventos registrados en todos los municipios, por lo que existen "vacíos" en la base de datos.

Para definir el peligro de un municipio se tomó en cuenta la ocurrencia de decesos y el monto de los daños generados por el evento, la clasificación se da como lo indica la *figura 1.26*.

La urbanización es una tendencia inevitable, imparable y positiva, no obstante incrementa significativamente el riesgo de inundaciones.

Figura 1.25 : Índice de peligro por inundación



Fuente: (CENAPRED, 2013)

1.2.2 Tipología de los daños económicos asociados a inundaciones

Los daños producidos por crecidas se catalogan en cuatro tipos: directos, indirectos, intangibles, y de incertidumbre (Estrada, 1996) citado por (Baró et al., 2012).

Los *daños directos* se refieren a las pérdidas producidas por contacto físico directo con el agua.

Los *daños indirectos* son los que se tienen que ver con los costos adicionales por desvíos alrededor del área inundada, pérdidas derivadas de la interrupción de servicios, los daños a los negocios, salarios, costos de limpieza después de la inundación, etc.

Los *daños intangibles* comprenden las pérdidas de vidas humanas, daños a la salud pública por contaminación de aguas o proliferación de insectos, daños en sitios históricos y arqueológicos, etc.

Los *daños de incertidumbre* hacen referencia a la inseguridad de los habitantes de una zona inundable respecto al momento y magnitud de la próxima crecida.

Nascimento, et al. (2007) citado por (Baró et al., 2012) elaboraron una clasificación donde se ilustran estos daños para el caso de zonas urbanas, la cual se detalla en la *tabla 1.3*.

Figura 1.26: Clasificación del peligro por inundación



Fuente: CENAPRED

En la tabla mencionada se aprecia que en los daños económicos por efectos de una inundación no sólo se tienen daños físicos tanto a infraestructura como al patrimonio de las personas, sino que también se tienen daños a largo plazo que pudieran ser irreversibles e incuantificables es como el caso del patrimonio histórico y cultural de una comunidad.

Tabla 1.3: Clasificación de los daños por inundación en zonas urbanas

Sector	Daños tangibles		Daños intangibles	
	Directos	Indirectos	Directos	Indirectos
Vivienda	Daños físicos al edificio, su estructura y su contenido	Costos de limpieza, albergues, medicinas	Pérdidas de vidas humanas	Estrés psicológico y estados de ansiedad. Daños a la salud a largo plazo
Comercios y Servicios	Daños físicos al edificio, su estructura y su contenido	Costos de limpieza Pérdidas de beneficios Desempleo	Pérdidas de vidas humanas	Estrés psicológico y estados de ansiedad. Daños a la salud a largo plazo
	Pérdidas o daños de existencias	Pérdidas de bases de datos		
Industrial	Daños físicos al edificio, su estructura y su contenido (maquinaria)	Costo de limpieza Pérdidas de beneficios Desempleo	Pérdidas de vidas humanas	Estrés psicológico y estados de ansiedad. Daños a la salud a largo plazo
	Pérdidas o daños de materias primas y existencias	Pérdidas de bases de datos		
Equipamiento público y servicios	Daños físicos al edificio, su estructura y su contenido	Costos de limpieza e interrupción de servicios	Pérdidas de vidas humanas	Estrés psicológico y estados de ansiedad. Daños a la salud a largo plazo
		Costos de los servicios de emergencia		Inconvenientes debido a la interrupción de los servicios
Infraestructura	Daños físicos al patrimonio (carreteras, puentes, acueductos, oleoductos, torres eléctricas. Conducción de agua, etc.)	Costos de limpieza e interrupción de servicios	Pérdidas de vidas humanas	Inconvenientes debido a la interrupción de los servicios
Patrimonio cultural e histórico	Daños físicos al patrimonio (monumentos, edificios históricos, museos, etc.)	Costos de limpieza e interrupción de servicios	Pérdidas de vidas humanas Valor histórico cultural	Inconvenientes debido a la interrupción de los servicios

Fuente: (Nascimento et al., 2007)

1.3 SIG y la toma de decisiones

En una emergencia cual sea que esta sea, conlleva a tomar importantes y complejas decisiones que involucran variables geográficas y de otro orden en las que se requiere de una herramienta para su manejo. En la literatura especializada en abordar el tema algunos autores como Greene, et al. (2011) hacen mención del Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA por sus siglas en inglés) que define como “*una familia de técnicas que ayuda a los tomadores de decisiones para estructurar formalmente las decisiones de múltiples facetas y evaluar las alternativas*”, que además ha sido usada con un SIG por más de veinte años para tal propósito.

1.3.1 La teoría de la decisión

Para Nieminen (2013) la teoría de la decisión contempla los siguientes puntos:

- El análisis de decisiones analiza el paradigma en el que un tomador de decisiones individual (o grupo de decisión) contempla una opción de la acción en un entorno incierto
- La teoría de la decisión ayuda a identificar la alternativa con mayor valor esperado (probabilidad de obtener un valor posible)
- La teoría de análisis de decisión está diseñado para ayudar a la persona a hacer una elección entre un conjunto de alternativas pre-establecidas
- El proceso de toma de decisiones se basa en información sobre la alternativas
- La calidad de la información en cualquier situación de la toma de decisiones se puede ejecutar toda la gama de datos concretos científicamente derivados a interpretaciones subjetivas, de certeza acerca de los resultados de decisiones (información determinista) a resultados inciertos representados por probabilidades y números difusos
- Esta diversidad en el tipo y calidad de la información acerca de un problema de decisión requiere métodos y técnicas que pueden ayudar en el procesamiento de información
- En última instancia, estos métodos y técnicas (MCDA, MCDM) pueden dar lugar a mejores decisiones

1.3.2 Los diferentes métodos de decisión

Nieminen (2013) menciona que a nivel práctico, la programación matemática bajo múltiples objetivos se ha convertido en una poderosa herramienta para ayudar en el proceso de búsqueda de las decisiones que mejor satisfagan una multitud de objetivos en conflicto, y hay una serie de metodologías diferentes para los problemas de toma de decisiones multicriterio.

Este mismo autor hace una diferencia en la cuestión a la teoría de decisiones, mientras que la teoría de decisión es *descriptiva* cuando muestra cómo las personas toman las decisiones, es *normativo* cuando la decisión es apoyada en un modelo matemático y en cambio es *prescriptiva* cuando se les apoya a las personas a tomar esas decisiones.

Las metodologías mencionadas se pueden categorizar en una gran variedad de maneras (Nieminen, 2013) y Kleindorfer, et al. (1993):

- Haciendo uso de inferencias basadas en información (modelos de regresión)
- A manera de modelo (por ejemplo: lineal, no lineal, estocástica),
- Caracterizando del espacio de decisiones (por ejemplo: número finito o infinito de alternativas) o
- Identificando las preferencias de decisor (construir la función de utilidad)

1.3.3 Sistemas de Soporte a las Decisiones (DSS)

Los Sistemas de Soporte a las Decisiones (DSS por sus siglas en inglés) son sistemas de información computarizada que apoyan las actividades de la toma de decisiones (Nieminen, 2013).

Una decisión implica de una selección de un conjunto de alternativas. En términos generales, los DSS no son más que sistemas informáticos que ayudan a tomar una decisión al aprovechar los múltiples criterios de un modelo de decisión. Los DSS proporcionan un conjunto de recursos para que los responsables de tomar decisiones sobre una base de información más completa (Nieminen, 2013). De acuerdo a este mismo autor, entre las principales ventajas del uso de DSS son los siguientes:

- Se incrementa el número de alternativas examinadas
- Una mejor comprensión del problema
- Respuesta rápida a las situaciones imprevistas
- Se ahorran costos
- Se toman mejores decisiones
- El trabajo en equipo es más eficaz
- Se ahorra tiempo
- Mejor uso de los recursos de datos e información

1.4 SIG aplicado a inundación

Un mapa de inundaciones tiene el propósito de brindar una herramienta útil en la toma de decisiones en caso de una eventual evacuación, en este sentido, los usuarios a los que va destinado estos mapas son a las autoridades encargadas de precisamente tomar una decisión en cuanto al manejo de dicha evacuación ya sean los gobiernos municipales o estatales, Protección Civil, organizaciones dedicadas a la ayuda humanitaria, etc. Cabe señalar que una serie de mapas que nos muestren las inundaciones no son suficientes para determinar de qué forma se deben trasladar a cierta población a una zona segura, ni qué cantidad de insumos se debe llevar de uno u otro albergue o refugio temporal ni por qué modos de transporte se evacuará a la misma, de manera que sea lo óptimo en cuanto tiempo y recursos monetarios; será necesaria una interface de los mapas con un modelo matemático que tome en cuenta las restricciones arriba mencionadas, las cuales van más allá del objetivo de la presente investigación.

En primer lugar, para la elaboración de los mapas de inundación será necesario contar con un Mapa Digital de Terreno (MDT) o también conocidos como Mapa Digital de Elevación (MDE) de la zona a analizar, que es la materia prima para simular inundaciones con los tirantes de agua que se requieran. Dichos mapas pueden ser solicitados directamente al INEGI.

En segundo lugar se requerirá de la base de datos a nivel de AGEB de dicha zona, para conocer a la población a evacuar de manera más precisa.

En tercer lugar se requerirá de un mapa así como la base de datos asociada de vialidades de la zona en estudio.

También se requerirá de la ubicación puntual tanto de los CDA como de los inmuebles destinados como albergues candidatos que, debido a un proceso de selección por parte de las autoridades de Protección Civil, hayan determinado como tales.

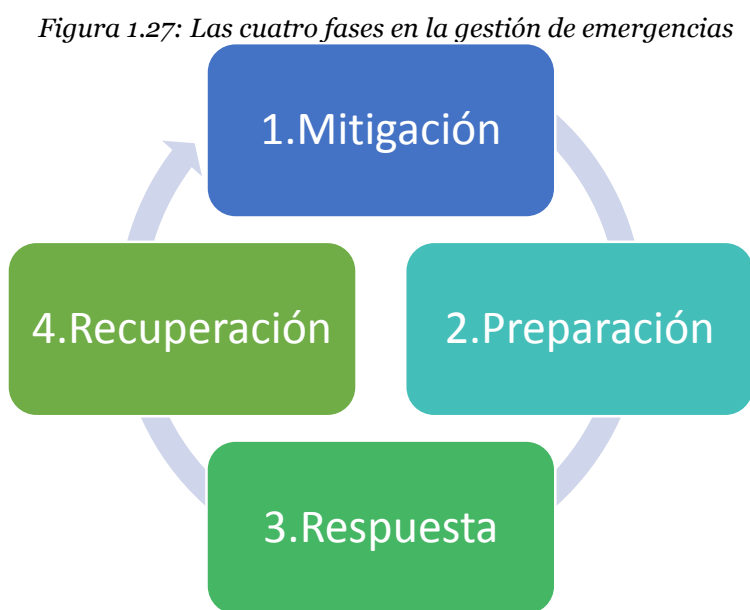
A partir de estos mapas será posible elaborar mapas de inundación, así como las vialidades, centros de distribución de ayuda y albergues disponibles cuando se tenga un tirante de agua dado. Esto se puede lograr en cualquier software que sea capaz de realizar álgebra de mapas.

1.4.1 Gestión de la emergencia

De acuerdo a la Ley General de Protección Civil emergencia es definida como una “*situación anormal que puede causar un daño a la sociedad y propiciar un riesgo excesivo para la seguridad e integridad de la población en general, generada o asociada con la inminencia, alta probabilidad o presencia de un agente perturbador*” (DOF, 2012).

De igual modo desastre “*al resultado de la ocurrencia de uno o más agentes perturbadores severos y o extremos, concatenados o no, de origen natural o de la actividad humana, que cuando acontecen en un tiempo y en una zona determinada, causan daños y que por su magnitud exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada*” (DOF, 2012).

(Green III, 2002) define cuatro fases de la gestión de una emergencia que está basado en el entendido que son [emergencias] eventos que continúan más allá de un periodo de tiempo y que pueden ser descritos en términos de un ciclo de vida los cuales se pueden ejemplificar por la *figura 1.27*.



Fuente: Elaboración propia con información de (Green III, 2002)

En la fase de *mitigación* se consideran a todas aquellas medidas que, o bien previenen la aparición de un desastre o reducen los impactos que se produzcan. Las medidas de mitigación pueden ser generales o de algún riesgo en específico, por lo general sobre la base de las vulnerabilidades locales.

En la fase de *preparación* se manejan actividades que disponen a la comunidad para responder en el caso de que se presente un desastre.

La fase de *respuesta* se caracteriza por el empleo de los recursos y procedimientos guiados por planes de emergencia para preservar la vida, las propiedades de las personas, el medio ambiente y la estructura social, económica y política de la comunidad.

La fase de *recuperación* son las medidas adoptadas en el largo plazo después de que los efectos inmediatos de la catástrofe han pasado y se tenga una cierta situación de estabilidad.

Entre las medidas adoptadas en cada fase se tienen aquellas descritas por (Altay y Green III, 2006) (ver *tabla 1.4*)

Tabla 1.4: Actividades típicas en la gestión del desastre

Mitigación	Respuesta
<ul style="list-style-type: none"> ● Zonificar y controlar el uso del suelo para prevenir la ocupación en zonas de alto riesgo ● Construcción de barreras para cambiar la fuerza del desastre ● Medidas activas de prevención para controlar situaciones en desarrollo ● Códigos de construcción para mejorar la resistencia de las estructuras en caso de desastre ● Incentivos o desincentivos fiscales ● Controles de la reconstrucción después de los eventos ● Análisis de los riesgos para medir el potencial de peligros extremos ● Seguros para reducir el impacto financiero de los desastres 	<ul style="list-style-type: none"> ● Activación del plan de operaciones de emergencia ● Activación del centro de operaciones de emergencia ● Evacuación de las poblaciones amenazadas ● Apertura de albergues y centros de distribución ● Rescate de emergencia y cuidados médicos ● Luchar contra incendios ● Búsqueda y rescate urbano ● Protección de la infraestructura de emergencia y la recuperación de los servicios básicos ● Gestión de la fatalidad
Preparación	Recuperación
<ul style="list-style-type: none"> ● Contratación de personal para servicios de emergencia y grupos de voluntarios de la comunidad ● Planes de emergencia ● Desarrollo de acuerdos de ayuda mutua y memorándums de entendimiento ● Entrenamiento para personal de respuesta y ciudadanos interesados ● La educación basada en amenaza pública ● Presupuesto para la adquisición de vehículos y equipo ● Mantenimiento de los suministros de emergencia ● Construcción de un centro de operaciones de emergencia ● Desarrollo de sistemas de comunicaciones ● Realización de simulacros para capacitar al personal y probar sus capacidades 	<ul style="list-style-type: none"> ● Limpieza de los escombros ocasionados por el desastre ● Asistencia financiera a las personas y gobiernos ● Reconstrucción de carreteras, puentes e instalaciones clave ● Atención continua para poblaciones humanas y animales desplazadas ● Inhumación de los restos humanos desplazados ● Restablecimiento pleno de los servicios básicos ● Salud mental

Fuente: (Altay y Green III, 2006)

Las medidas para la gestión de las inundaciones son descritas generalmente como medidas estructurales y medidas no estructurales y se pueden complementar la una a la otra. Mientras que las medidas estructurales son usadas para controlar el flujo del agua desde el exterior y dentro de los asentamientos urbanos. Las medidas no estructurales manejan el riesgo mediante la capacidad de las personas para hacer frente a las inundaciones a través de una mejor planificación y gestión (Cheong y Xiaotao, 2013).

Medidas estructurales

Este tipo de medidas cubren la gestión del agua a nivel de la cuenca y a nivel urbano. Las medidas estructurales incluyen:

1. Desalojo del agua, diseñado para canalizar el agua lejos de las zonas de riesgo a través de los cauces naturales o artificiales
2. Almacenamiento del agua para reducir el pico de las crecidas
3. Sistemas de drenaje urbano que incrementan la infiltración
4. Manejo de las aguas subterráneas para evitar el hundimiento del suelo
5. Diseño de edificios resistentes a las inundaciones
6. Defensas contra la inundaciones

Medidas no estructurales

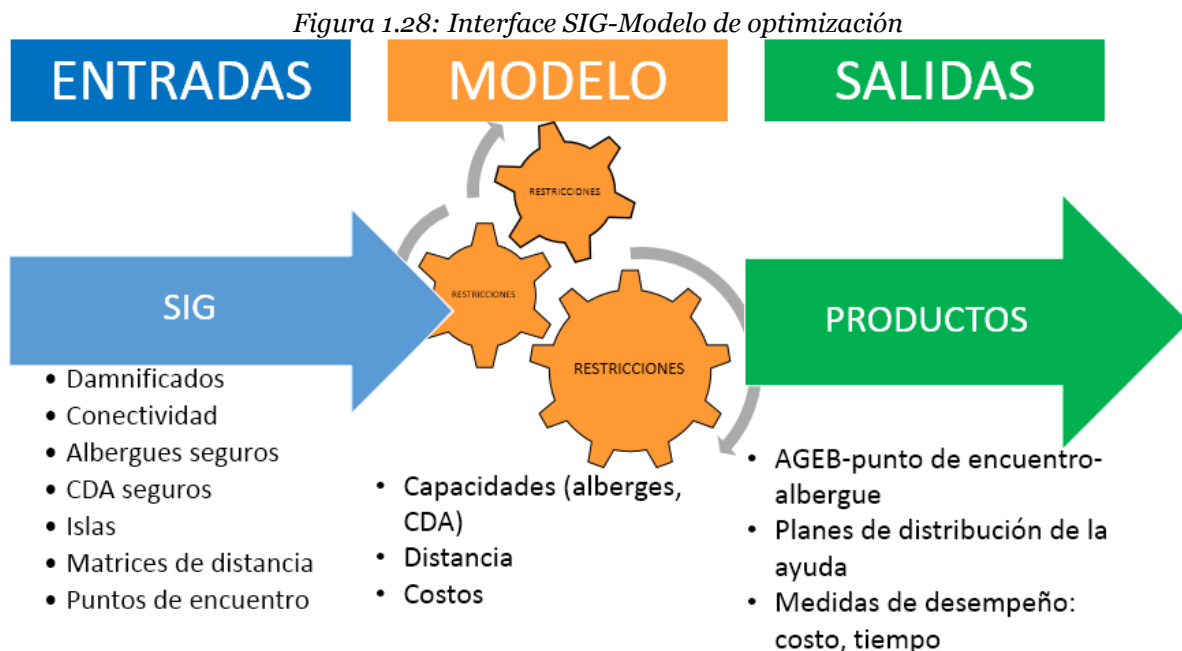
Siempre queda un riesgo residual de inundación en el uso de medidas estructurales que requiere la incorporación de las medidas no estructurales. Las medidas no estructurales casi no requieren de una gran inversión inicial y pueden ser más efectiva y costar menos si se compara con su contraparte. Las medidas no estructurales se pueden clasificar en cinco categorías principales:

1. Campañas de sensibilización
2. Evitar las inundaciones debidas a crecidas mediante la planeación y ordenamiento del uso del suelo además del reasentamiento poblacional.
3. Gestión de los planes de emergencia, incluida la alerta temprana y evacuación
4. Mayor planificación a través de normas de construcción
5. Sistema de soporte de decisiones (DSS por sus siglas en inglés) para la gestión de inundaciones en zonas urbanas que se basa en redes informáticas, SIG, monitoreo, modelos de alerta temprana, la predicción, modelo de evacuación de desastres de inundación y la tecnología de gestión de bases de datos.

1.5 Interfaces de los SIG

Anteriormente se mencionó que los mapas de inundación que se elaborarán en la presente investigación no son suficientes para determinar entre otras cosas el cómo, y hacia donde evacuar. Por esa razón se presenta de manera general el concepto de unir los mapas elaborados mediante alguna herramienta SIG y un modelo matemático de optimización para la evacuación de personas; Gaytán y Rodríguez (2012) elaboraron los mapas de inundación mediante un SIG, los mapas indicados fueron su materia prima para la elaboración de un modelo de "optimización bi-criterio, que identifica los mejores centros y albergues en función de los criterios costo y flujo-distancia". Por otra parte Astudillo (2011) en cuanto a la parte geográfica se refiere y con ayuda de un SIG analiza el peligro, eliminando los albergues de dicha zona y establece los niveles de emergencia de las zonas para posteriormente con ayuda del modelo de optimización multiobjetivos ayudar a definir cuáles son los albergues que son factibles de ser abiertos estableciendo un nivel mínimo y máximo de utilización. Recientemente, Mejía (2013) propone un modelo de optimización basado en SIG que permite determinar planes de evacuación y pre-posicionamiento de inventario considerando zonas inundadas aisladas. Este último autor resuelve el modelo haciendo uso de algoritmos heurísticos multiobjetivos. Los trabajos anteriores son los únicos estudios conocidos en México sobre diseño de planes de ayuda en caso de inundaciones.

La figura 1.28 resume lo indicado arriba.



Fuente: Elaboración propia

En este primer capítulo se dieron algunas definiciones con respecto a los Sistemas de Información Geográfica para tener una idea general de los mismos y de los componentes que lo integran. Además se dieron las formas en que se pueden simplificar los datos espaciales del mundo real para su fácil acceso y manipulación. Se mencionan también las formas en que la Tierra o una porción de la misma pueden ser representadas de acuerdo a las distintas proyecciones que mejor se ajusten a la zona y de acuerdo al propósito para el que se requiera esa información. Igualmente, se describen brevemente la representación de los datos espaciales que son utilizados comúnmente en los mapas digitales como lo son tanto el *modelo vectorial* como el *modelo raster* que de acuerdo a sus distintas propiedades espaciales y a la capacidad de algunos SIG y con ayuda de operaciones matemáticas se puede obtener información nueva a partir de datos iniciales.

Asimismo, se dio una definición de inundación y una clasificación de las mismas elaborada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres. De acuerdo con esta información se estableció que en la República Mexicana por sus condiciones geográficas y climáticas se tiene; a lo largo del año, diversas posibilidades de que surja una nueva amenaza de inundación ocurrida como en el 2007.

En cuanto a los costos se refiere, los daños asociados a las inundaciones se pueden clasificar en *daños tangibles* y *daños intangibles* que a su vez pueden ser *directos* o *indirectos* de acuerdo a diversos sectores de la sociedad (Nascimento et al., 2007). Esto implica que en una inundación no solo las personas damnificadas son las afectadas; sino que, las inundaciones afectan directa e indirectamente al comercio y a la industria o a la infraestructura de una ciudad e incluso afecta al patrimonio tanto cultural como histórico de una comunidad.

Se explicó de manera general el concepto de *toma de decisiones* y la importancia que implica hacer uso de herramientas tanto matemáticas como tecnológicas que como complemento se llega a tomar una mejor decisión en una eventual emergencia por inundación debida a un evento hidrometeorológico.

Por último se explicó el concepto de gestión de la emergencia y como los SIG en general pueden apoyar para este fin. En este sentido, se dan algunas de las medidas para la gestión de las inundaciones tanto estructurales como no estructurales utilizadas frecuentemente para contener esas inundaciones y se menciona las ventajas de las medidas no estructurales sobre las medidas estructurales, en las que los SIG forman parte de la clasificación de estas primeras medidas aludidas. Asimismo, se explicó porque es necesario complementar la información obtenida a partir de manipular datos geográficos en un SIG con un modelo matemático para que la toma de decisiones para una evacuación tenga un mayor peso.

CAPÍTULO 2: SIG PARA EL CASO EN ESTUDIO

En este capítulo se da una breve reseña de la ubicación geográfica del municipio Centro, ubicado en el estado de Tabasco que servirá para poner en práctica lo establecido en el capítulo anterior como georeferenciar los centros de distribución de ayuda, albergues y se proporcionará una breve descripción de los mapas mencionados. Asimismo, se dan a conocer algunos datos relevantes de dicho municipio en cuanto a las medidas tanto estructurales como no estructurales que los tres niveles de gobierno adoptan a partir de la inundación de 2007 o están por adoptar.

2.1 El sitio y la problemática

La ciudad de Villahermosa es la capital del estado de Tabasco, México y cabecera del municipio de Centro; se localiza entre los 18° 20' y a los 17°43' de latitud norte y entre los 92°35' y 93° 15' longitud oeste.

Villahermosa se ubica a 904 km al sureste de la ciudad de México , la ciudad se ubica en el municipio de Centro, el cual colinda al norte con los municipios de Nacajuca y Centla, al sur con los municipios de Jalapa y Teapa y aún más al sur con el Estado de Chiapas, al este con los municipios de Centla, Jalapa y Macuspana y al oeste con el estado de Chiapas y con los municipios de Cunduacán y Nacajuca.

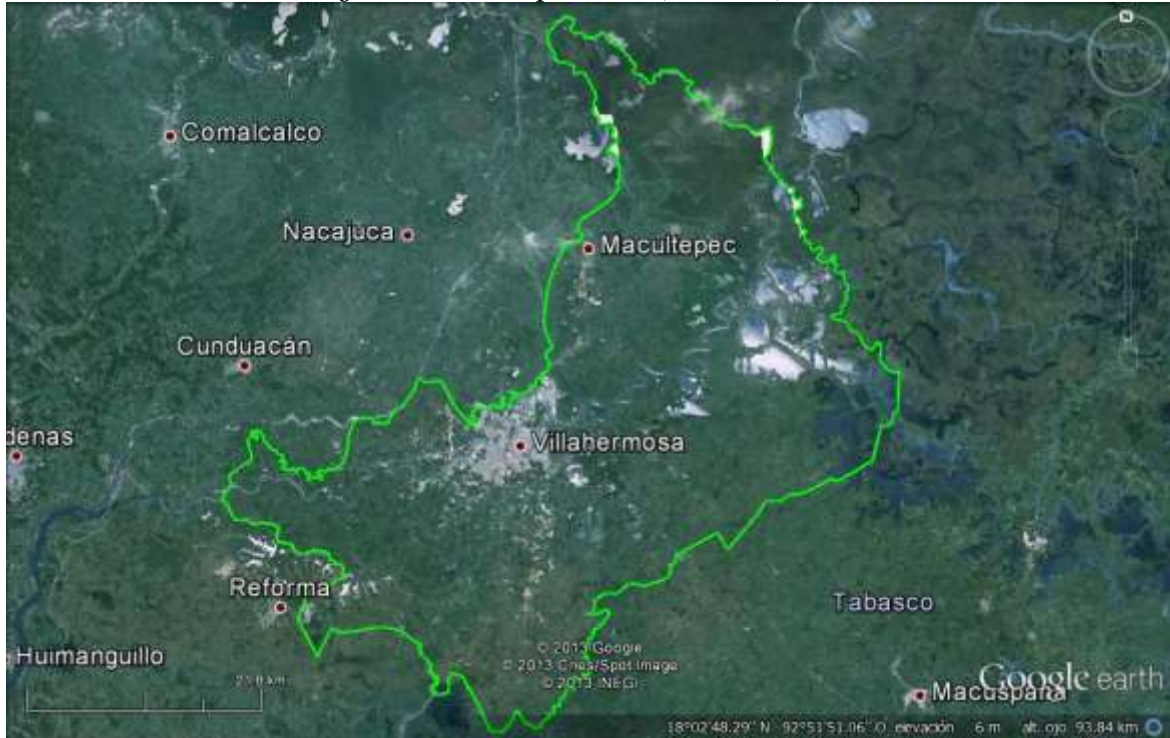
El área urbana de la ciudad de Villahermosa ocupa una superficie de 61.177 km², mientras que la extensión territorial del municipio de Centro es de 1,669 km², los cuales corresponden al 6.9% respecto del total del estado, ocupando el 7º lugar en la escala de extensión municipal del estado.

La división territorial del municipio de Centro está conformada por una ciudad, 7 villas, 1 poblado, 132 rancherías, 117 colonias y fraccionamientos. En el municipio se ubican 13 Centros de Desarrollos Regionales (CDR) en los que se lleva a cabo la mayoría de las actividades económicas y sociales, estos son: Villa Macultepec, Villa Ocuilzapotlán, Villa Parrilla 1ª. Sección, Villa Subteniente García, (Playas del Rosario), Villa Pueblo Nuevo de las Raíces, Poblado Dos Montes, Los Boquerones, Villa Luis Gil Pérez, y Villa Tamulte de Las Sabanas.

En la *figura 2.1* se muestra de manera general la ubicación de Villahermosa, dicha ciudad está rodeada de tres ríos: Río Carrizal, Río Grijalva y el Río Mezcalapa, además dentro de esta ciudad se ubican lagunas importantes: Laguna de las Ilusiones, Laguna el Negro y Laguna el Espejo con lo que lo hace vulnerable a

inundaciones debidas a causas de la precipitaciones extraordinarias que pudieran afectar dicha ciudad y las comunidades vecinas (ver *figura 2.2*).

Figura 2.1: Municipio Centro, Tabasco, México



Fuente: elaboración propia

De acuerdo al historiador De la Peña (2010), la ciudad de Villahermosa se construyó desde la época de la conquista por poseer las siguientes características:

- Agua en abundancia;
- Se tenía comunicación con otros asentamientos castellanos: San Francisco de Campeche y Veracruz, entre otros;
- Grupos indígenas muy cerca y concentrados
- Tierras limosas, consecuencia de las constantes inundaciones, que son excelentes para el desarrollo de la agricultura de temporal

Del mismo modo, se destaca que entre los inconvenientes que se tenían y se tienen desde ese entonces es la constante lucha contra las inundaciones (De la Peña, 2010).

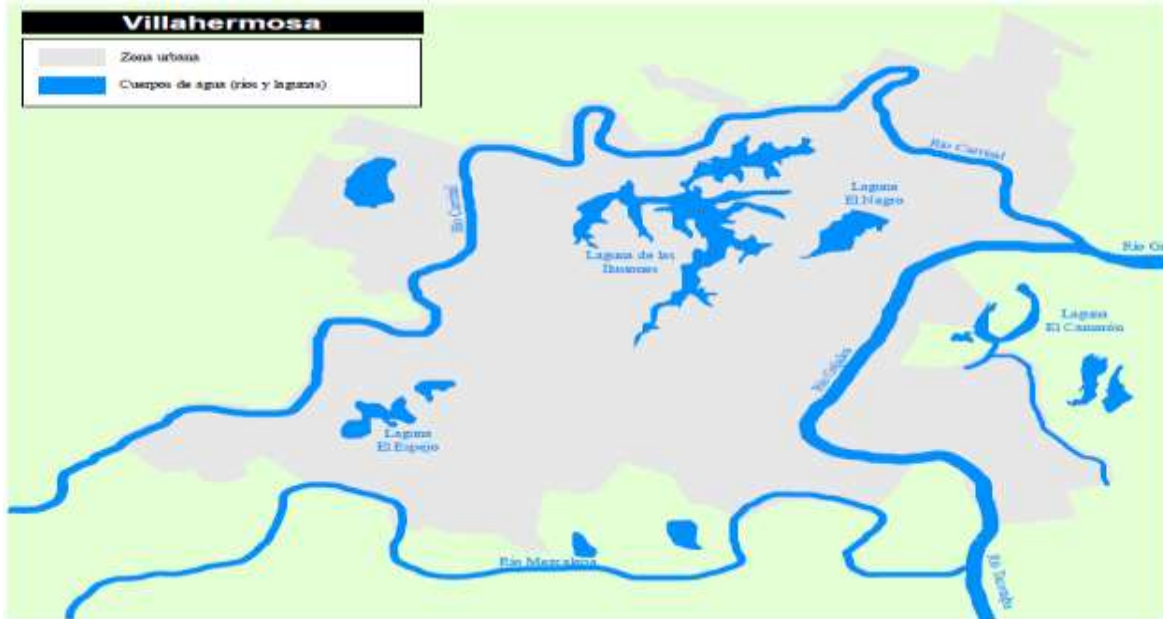
La Zona Metropolitana de Villahermosa es muy propensa a grandes inundaciones ya que se encuentra ubicada a un promedio de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm), y en ella confluyen los caudales de los ríos Grijalva, de La Sierra y Usumacinta (CONAGUA, 2012).

El Atlas Nacional de Riesgo elaborado por el CENAPRED cataloga al municipio de Centro según el índice de peligro municipal por inundaciones como de vulnerabilidad alta (ver *figura 2.3*).

El 31 de octubre de 2007, debido a las fuertes lluvias y al desfogue de las presas, la corriente del río Carrizal subió hasta alcanzar niveles históricos. Por esto, unos días después, el río Grijalva, mismo que no es contenido por ninguna presa, se desbordó de su cauce, al recibir el agua proveniente de los escurrimientos causados por las lluvias que cayeron en la Sierra Chiapaneca. El desbordamiento del río Grijalva y, en menor grado, del río Carrizal, dejaron bajo el agua a un 70% del territorio estatal (Luis López, 2007), siendo la capital, Villahermosa, y sus zonas aledañas, la región que tuvo mayores afectaciones, inundada con su casi 1,000,000 de habitantes (Villareal, 2007). Las comunicaciones y el abasto colapsaron, permaneciendo la ciudad prácticamente aislada del resto del país. El centro histórico de la ciudad quedó bajo el agua en su totalidad, y en algunas zonas el agua llegó hasta los 4 metros de altura. También, colonias como Casa Blanca, Gaviotas, Municipal, Las Brisas, Tulipanes, Valle Marino, INDECO Cd. Industrial, INFONAVIT Cd. Industrial, Lagunas, entre otras, quedaron bajo el agua por un lapso de entre 3 semanas a un mes, lo que obligó a la población a transportarse en lanchas a través de las calles inundadas. El Ejército Mexicano, la Marina y la Policía del Estado, patrullaron en lanchas las calles, que además se encontraban sin iluminación, por la falta de servicio eléctrico, producto del desastre.

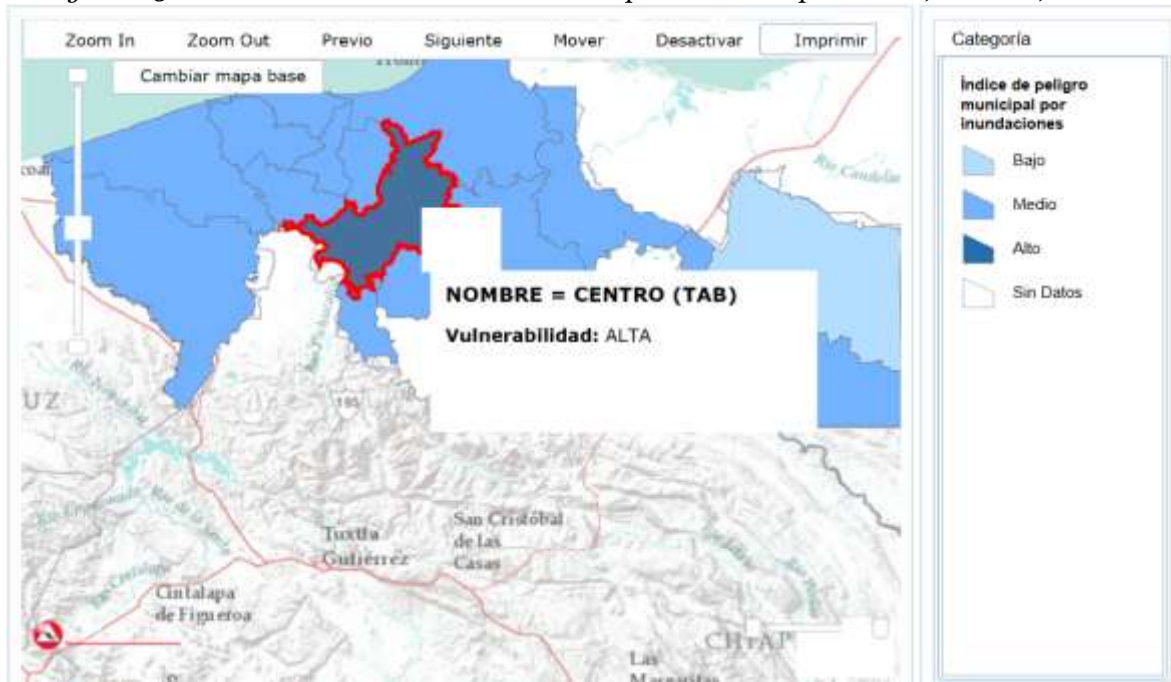
El 80% de la población del estado de Tabasco se asienta en zonas identificadas como potencialmente inundables y, con el evento registrado en 2007, las inundaciones cubrieron cerca del 70% del territorio tabasqueño y, en particular, el nivel de agua subió hasta cubrir el 80% de la Ciudad de Villahermosa.

Figura 2.2: Descripción de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México y los ríos que la rodean



Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/19/Villahermosa.svg> (2013)

Figura 2.3: Vulnerabilidad alta de inundaciones para el municipio Centro, Tabasco, México.



Fuente: (CENAPRED, 2013)

De acuerdo a la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) las inundaciones de Tabasco y Chiapas en 2007, donde el evento ocurrido a partir del 28 de octubre de aquel año en los estados de Tabasco y Chiapas, a causa de crecidas históricas en los ríos que recorren ambas entidades y terminó el 15 de diciembre de

2007 tuvo un costo de 700 mdd (Esquivel, 2007) siendo el siniestro más costoso después del Huracán Wilma (ver *tabla 2.1*).

Tabla 2.1: Los 10 siniestros más costosos en México, 1985-2007

SINIESTRO	COSTO EN US\$
Huracán Wilma	1,782,000,000.00
Inundaciones en Tabasco y Chiapas de 2007	700,000,000.00
Huracán Gilberto	567,000,000.00
Terremoto de México 1985	473,000,000.00
Huracán Isidoro	308,000,000.00
Huracán Emily	302,000,000.00
Huracán Stan	228,000,000.00
Huracán Kenna	176,000,000.00
Huracán Juliette	90,000,000.00
Huracán Paulina	62,000,000.00

Fuente: Elaboración propia

Según el informe LC/MEX/L.864 (SEGOB, 2008), el número de viviendas afectadas por la inundación de 2007 en el municipio Centro fue de 50,561 (ver *tabla 2.2*); además, en el Censo de Población y Vivienda 2005 se calcula que el promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas para este mismo municipio era de 3.89. Con estos datos se estima que los damnificados para este mismo municipio fueron de 196,682 en 2007.

Tabla 2.2: Viviendas afectadas por las lluvias e inundaciones ocurridas en 2007; Tabasco, México

Municipio	Daño Mínimo	Daño menor	Daño parcial	Daño Total	Suma
Balancán	21	68	49	24	162
Cárdenas	178	706	543	223	1,650
Centla	319	2,638	1,622	583	5,162
Centro	8,041	20,574	16,189	5,757	50,561
Comalcalco	69	546	404	68	1,087
Cunducán	251	1,204	1,070	283	2,808
Emiliano Zapata	2	12	4	0	18
Huimanguillo	61	709	450	143	1,363
Jalapa	172	918	395	129	1,614
Jalapa de Méndez	301	2,814	2,310	699	6,124
Jonuta	1	0	0	0	1
Macuspana	72	1,102	1,022	129	2,325
Nacajuca	1,050	7,668	5,082	848	14,648
Paraíso	49	413	362	50	874
Tacotalpa	64	348	183	32	627
Teapa	17	212	120	36	385
Tenique	7	75	45	5	132

Fuente: (SEGOB, 2008) con información de la Secretaría de Desarrollo Social

Aunque se dieron algunas clasificaciones de las inundaciones, en esta investigación no se tomarán los factores que provocan dichas inundaciones sólo se limitará a simular una inundación en el municipio de Centro, sin importar que eventos la provoquen; suponiendo un tirante igual a la inundación ocurrida en 2007 como escenario extremo y haciendo uso de datos recabados en 2010 como el Censo de Población y Vivienda 2010, y mapas actualizados también de este año.

2.2 Datos relevantes

Debido a las diversas inundaciones ocurridas año con año en el estado de Tabasco el gobierno federal junto con el estatal implemento un plan de acción el cual consta principalmente de medidas estructurales.

En el año de 2003 se creó el Proyecto Integral para Protección Contra Inundaciones de la Planicie de los Ríos Grijalva y Usumacinta en el estado de Tabasco (PICI), el cual consistió en la construcción de bordos, canales y otras obras hidráulicas, en los sistemas Mezcalpa-Samaría, Ríos de La Sierra y Carrizal-Medellín, cuya finalidad fue proteger a las zonas bajas de la planicie tabasqueña, en especial a la Ciudad de Villahermosa y su zona conurbada, contra las inundaciones provocadas por el desbordamiento de las principales corrientes fluviales que confluían esa zona. Sin embargo, los eventos meteorológicos extremos de finales de octubre y los primeros días de noviembre de 2007 en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta dejaron daños y pérdidas a la Entidad por \$36,486.7 millones de pesos; de ese valor \$17,468.6 millones de pesos se dieron en la Planicie, donde se ubica la Zona Metropolitana de Villahermosa (CONAGUA, 2012).

De acuerdo a ese mismo informe de la Comisión Nacional del Agua las principales razones por las cuales lo realizado por el PICI no logró contener los efectos de las condiciones extremas ocurridas en 2007 consistieron básicamente en que, de las estructuras de control, bordos, lagunas de inundación y otras que fueron propuestas, sólo la obra de control del Carrizal estaba en construcción cuando ocurrió el evento meteorológico; a muchos bordos que se habían concluido le habían sido abiertos cortes o ventanas, otros no se habían terminado y algunos más no se habían iniciado, como en el caso de las obras de control de los ríos Pichucalco y de la Sierra (CONAGUA, 2012).

Posteriormente en noviembre de 2007 se firma un primer convenio CONAGUA-UNAM para que se elabore el llamado Plan Hidráulico Integral de Tabasco (PHIT). El objetivo del PHIT es *“disminuir al máximo las condiciones de riesgo y vulnerabilidad a que está sujeta la población, sus actividades económicas y los ecosistemas frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos que*

afectan la planicie costera del Estado de Tabasco, principalmente las ciudad de Villahermosa” (CONAGUA, 2012)

El PHIT contempla un Sistema de Gestión de Crecidas esto debido a que anteriormente se tenía un enfoque diferente, el cual consistía en encontrar soluciones a problemas específicos sin atender a buscar las causas de origen. Las acciones que contempla el PHIT se clasifican en varias categorías no excluyentes entre sí. Estas medidas pueden ser estructurales o no estructurales; físicas o institucionales; pueden adoptarse antes, durante o después del evento (CONAGUA, 2012).

El propio PHIT señala que, *“además de la infraestructura hidráulica, la gestión integral de crecidas involucra el desarrollo de políticas públicas y procesos técnico-sociales para la predicción, prevención, atención a la población afectada, evaluación de impactos y formulación de medidas de mitigación y reconstrucción; todo ello en el marco definido por los arreglos y capacidades institucionales existentes, disposiciones jurídicas y capacidades de las distintas organizaciones sociales” (CONAGUA, 2012).*

Así; los objetivos de dicho Sistema son *“Diseñar y establecer las bases para la implementación de un Sistema para la Gestión Integral de Crecidas en el estado de Tabasco, que contenga la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos con períodos de retorno superiores a los 100 años” (CONAGUA, 2012).*

Medidas estructurales

La Comisión Nacional del Agua (2012) contempla medidas de solución de mediano y largo plazos para el control de inundaciones. Las acciones constituyen las medidas estructurales que forman parte del Sistema Integral para la Gestión de Crecidas en el estado. Estas medidas son las que enseguida se enumeran:

1. Operación adecuada de las presas Angostura, Chicoasén y Malpaso
2. Control de gastos en el río Carrizal (Obra del Macayo)
3. Adecuación de la capacidad de conducción del río Samaria (Retiro de obstáculos, cauce piloto, dragado y sobreelevación y protección de bordos)
4. Derivar un caudal entre 1,500 y 2,000 m³/s del río de la Sierra hacia la laguna Los Zapotes
5. Mayor drenado de las lagunas Parrilla y Zapotes (ampliación de descarga e intercomunicación entre lagunas)
6. Adecuar los bordos en torno a Villa hermosa para garantizar una adecuada protección
7. Incremento de la capacidad de descarga del río Grijalva

8. Manejo integral de la cuenca alta del río Grijalva

Medidas no estructurales

El concepto de Gestión Integral de Crecidas es más amplio que las soluciones de infraestructura, incluye también el conjunto de acciones no estructurales que abordan el problema asociado a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos en el estado de Tabasco.

En el PHIT se enuncian las acciones no estructurales en materia de mitigación de riesgos:

- Operación del sistema hidroeléctrico del río Grijalva
- Pautas para la ordenación del territorio del estado de Tabasco en función de las condiciones de riesgo y vulnerabilidad de los asentamientos humanos y de la ubicación de la actividad económica. Generalmente, el control del uso del suelo se adopta cuando no es recomendable aumentar el aprovechamiento de una planicie de inundación determinada. Se propone como una alternativa de solución incentivar el desarrollo de otras zonas en lugar de tratar de controlar el desarrollo de la planicie de inundación
- La construcción de estructuras a prueba de crecidas o la elevación de las viviendas podrían ser medidas más apropiadas cuando la presión de posible colapso es baja, las propiedades se encuentran dispersas o cuando el tiempo de alerta es corto. En las regiones sujetas a inundaciones frecuentes, las estructuras a prueba de crecidas y las medidas de protección a las líneas y vías de comunicación contra ellas, reducen los efectos de daño a la economía.
- Análisis de otras medidas no estructurales de suma importancia como la reforestación de las partes altas de la sierra, adecuaciones jurídicas, establecimiento de seguros contra riesgos de inundación, cambios en las normas de diseño de casas habitación, aprovechamiento agrícola sujeto a condiciones de riesgo de inundaciones.

Adicionalmente a lo expuesto líneas arriba, una medida no estructural, como ya se describió en el capítulo anterior, es hacer uso de algún SIG para predecir, prevenir y atender a la población que se vea afectada; con ayuda de un modelo de optimización que complemente a dicho SIG.

En esta investigación se omitirán la infraestructura construida para mitigar cualquier eventual inundación como lo son bordos, sobreelevaciones etc., pues

además de que las obras están inconclusas en su mayoría, no se tienen los datos de manera digital para su utilización en un SIG.

2.3 Identificación de los mapas

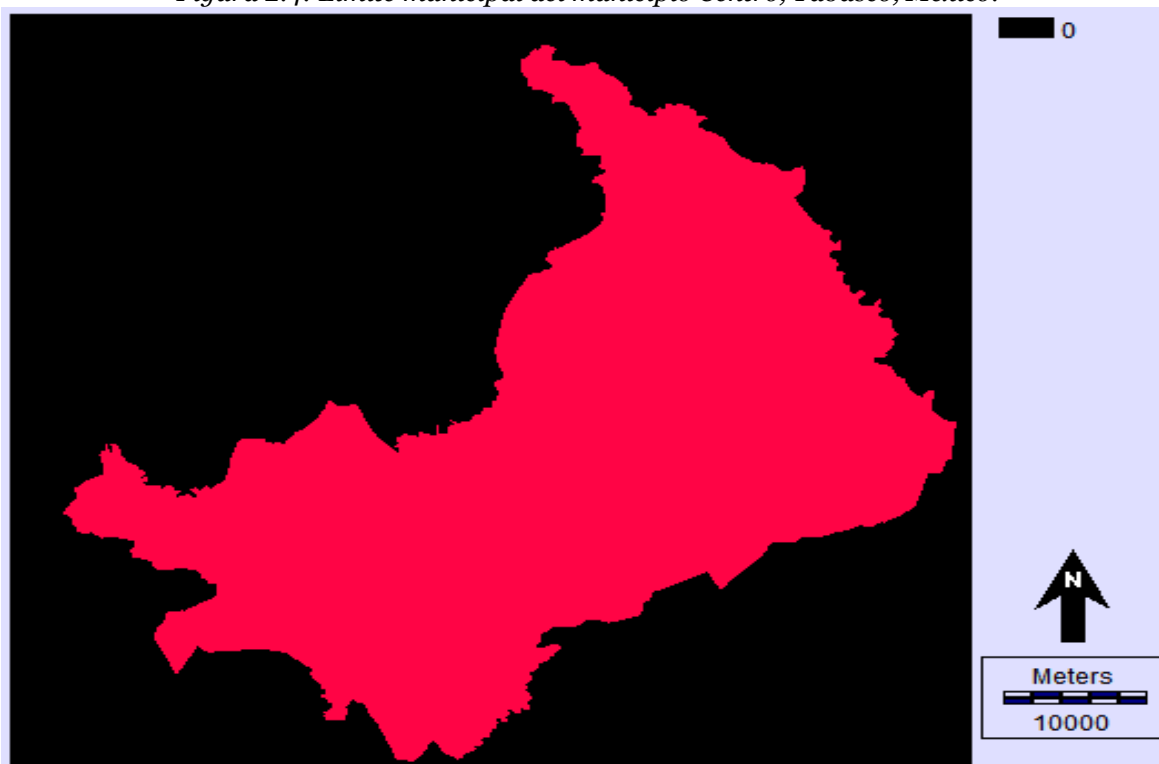
Los mapas que se utilizarán en esta investigación son: límite municipal MDT, traza vial, albergues y centros de distribución de ayuda.

El MDT o MDE es el principal por el hecho de que con este generarán los mapas con los cuales se simularán las inundaciones para tirantes de 80 cm, 2 m y 4 m que a su vez están ligados a cuestiones de menaje en una casa habitación típica de la región de Villahermosa.

2.3.1 Límite Municipal

Este mapa representa los límites del municipio Centro cuya superficie es de 1,669 km², y se incorporará en conjunto con los demás mapas para delimitar la zona en estudio (ver *figura 2.4*).

Figura 2.4: Límite municipal del municipio Centro, Tabasco, México.



Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)

Este tipo de imágenes se crean mediante la tecnología de detección por luz y distancia (LIDAR por sus siglas en inglés) la cual permite medir la distancia de un emisor a un objeto o superficie mediante un haz láser, esta distancia se determina calculando el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada («LIDAR (Light Detection and Ranging)», 2011).

De acuerdo a Reutebuch, et al. (2005), Los sistemas de escaneo láser aerotransportados tienen cuatro componentes principales de hardware:

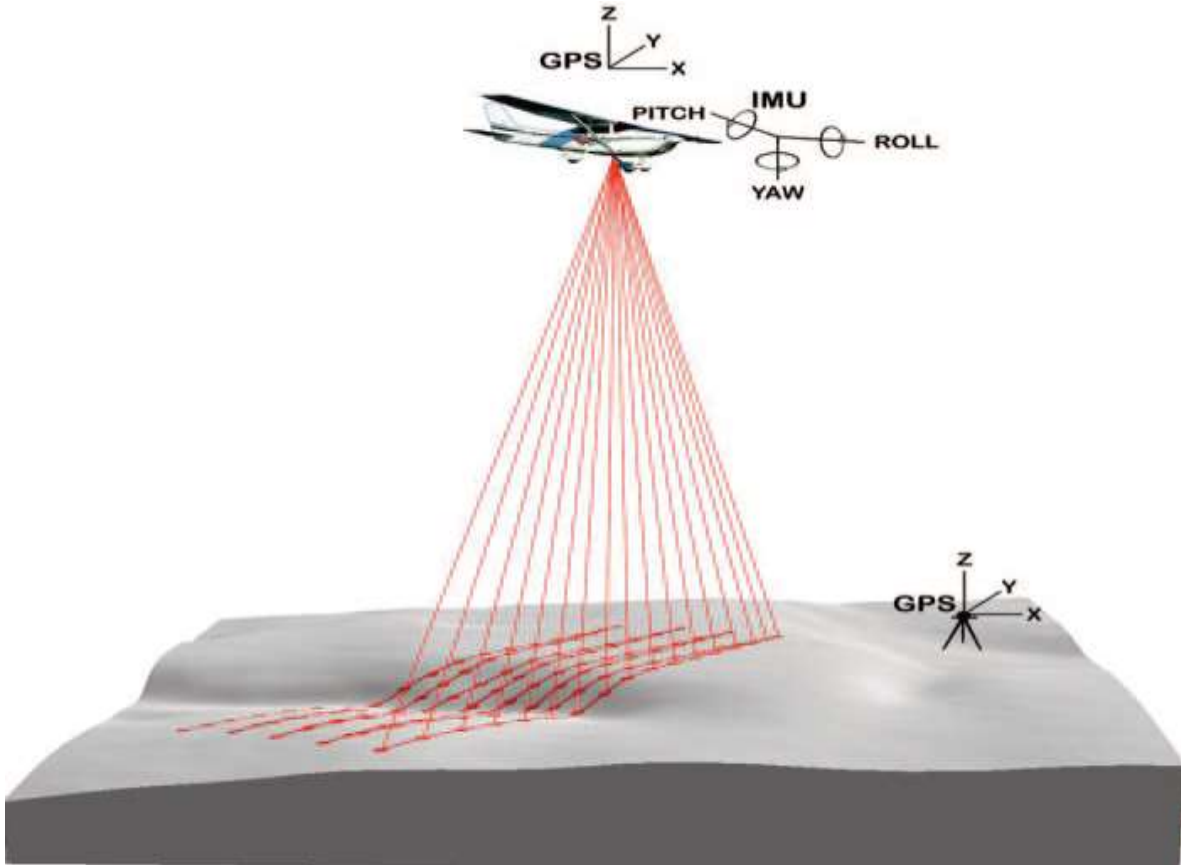
1. una unidad de láser emisor-receptor de exploración,
2. sistemas de posicionamiento global (GPS diferenciales; unidades de aeronaves y tierra),
3. una unidad de medición inercial de alta sensibilidad (IMU por sus siglas en inglés) unido a la unidad de exploración, y
4. un ordenador para controlar el sistema y almacenar los datos de los tres primeros componentes.

De esta forma, los escáneres láser diseñados para el mapeo de terreno emiten pulsos de láser en el infrarrojo cercano a una alta tasa (típicamente 10.000 - 100.000/segundo). La posición exacta y la actitud de la unidad de escáner láser en el momento de cada pulso se emite se determinan a partir de los datos de vuelo recogidos por las unidades de GPS y IMU. El rango o distancia entre el escáner y un objeto que refleja el pulso se calcula utilizando el tiempo que tarda el pulso para completar la distancia de viaje de regreso desde el escáner al objeto. Esta información de la distancia y la posición y orientación del escáner se usan para calcular una coordenada precisa para cada punto de reflexión.

Una franja de terreno bajo la aeronave se examina a través de la desviación lateral de los pulsos de láser y el movimiento hacia adelante de la aeronave. El patrón de exploración dentro de la franja se establece por un espejo oscilante o un prisma giratorio, que hace que los pulsos para barrer a través del paisaje en un patrón consistente debajo de la aeronave (ver *figura 2.5*). Se examinan grandes áreas con una serie de franjas que a menudo se superponen unas con otras en un 20% o más. Esto da lugar a la adquisición de una "nube de puntos" del terreno, a menudo con varios millones de mediciones por kilómetro cuadrado.

Esta tecnología tiene ventajas sobre los métodos tradicionales la principal es que poseen una mayor precisión (INEGI, 2013b).

Figura 2.5 Esquema que muestra la recopilación de datos con la tecnología LIDAR sobre el suelo desnudo

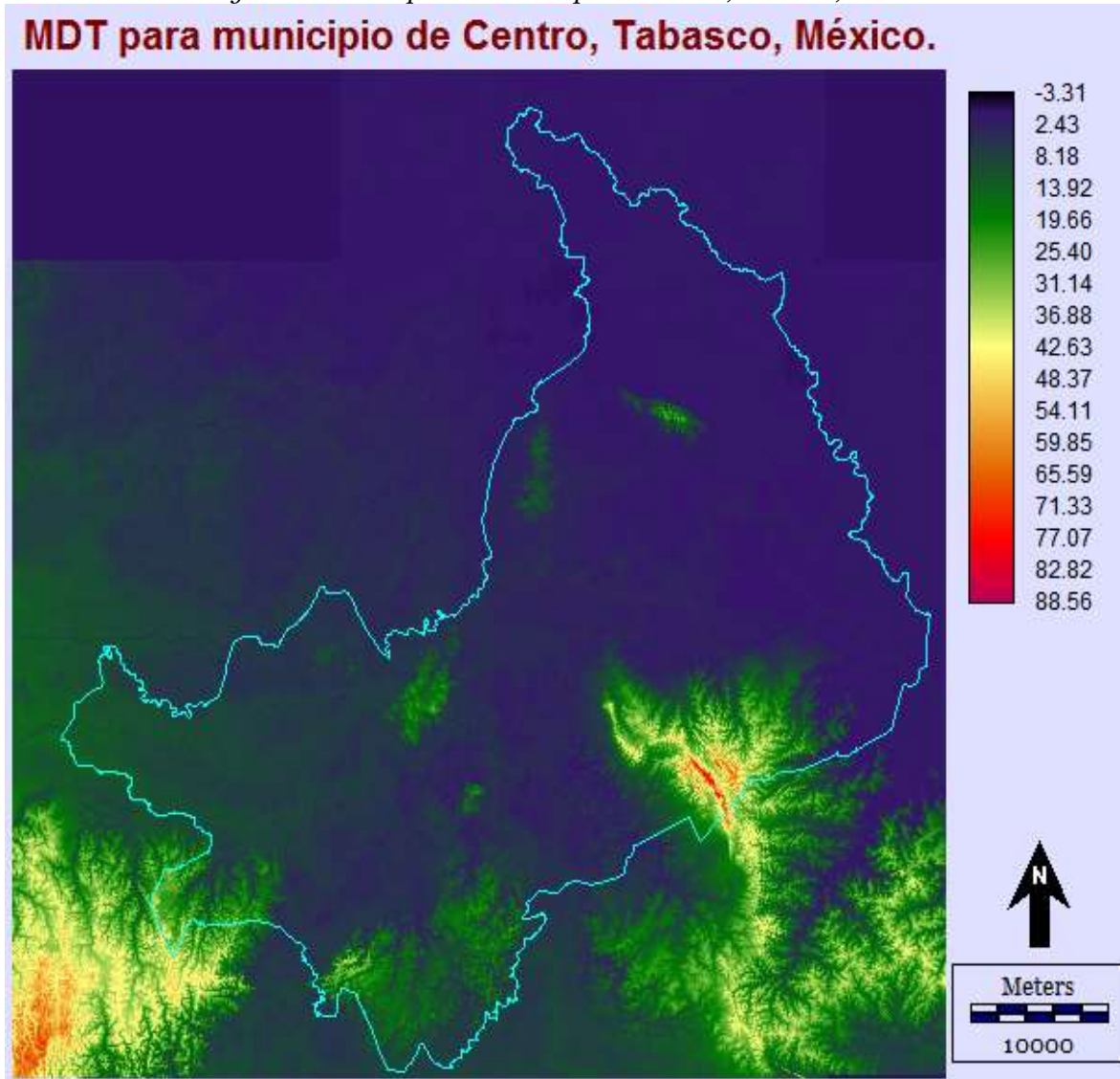


Fuente:(Reutebuch et al., 2005)

La *figura 2.6* muestra el MDT para la zona en estudio en formato raster visualizado en el software IDRISI® selva (versión 17) en el cual mediante una escala de colores muestra la altitud en metros sobre nivel del mar (msnm); de la figura se advierte que se tienen zonas a altitudes entre -3.31 y 88.56 msnm.

De manera visual se aprecia que la mayor parte del municipio está sobre zonas llanas entre los -3.31 y 4 m.s.n.m. aproximadamente.

Figura 2.6: MDT para el municipio de Centro, Tabasco, México

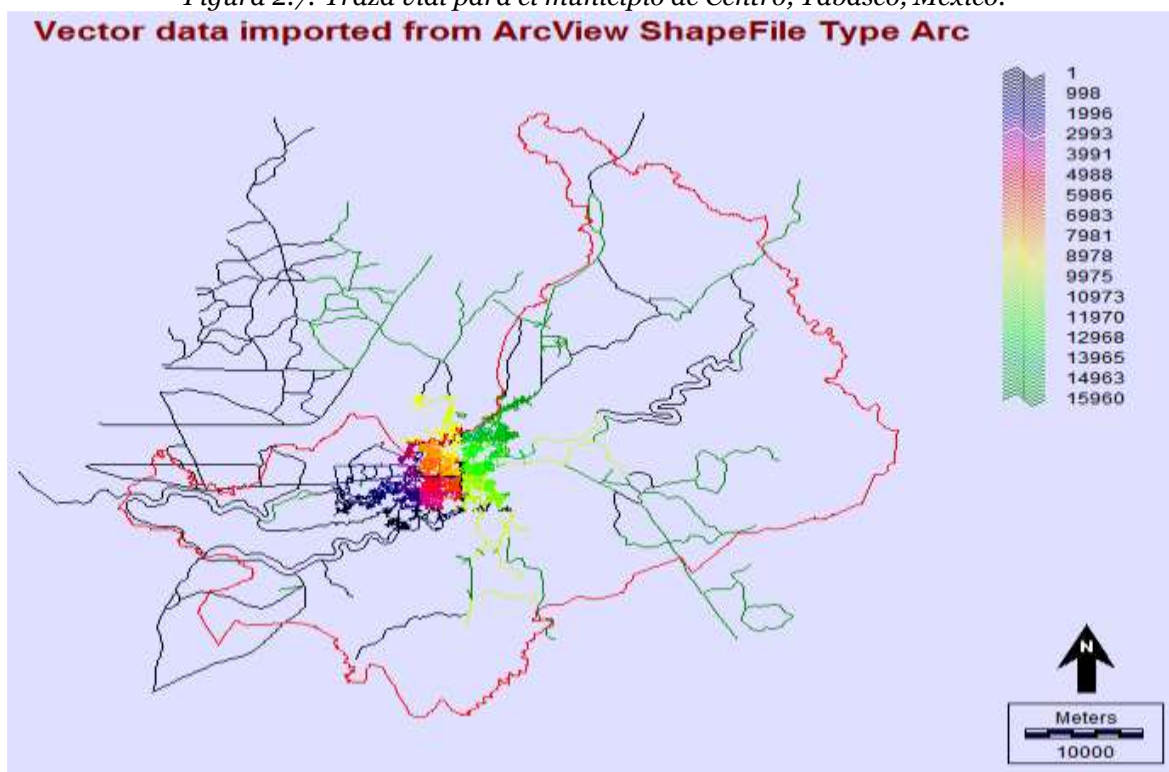


Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Traza vial

La red vial se compone de calles primarias y secundarias sólo en la ciudad de Villahermosa, para el resto del municipio sólo se incluyen las primarias. La distribución global de dichos caminos se aprecia en la *figura 2.7*.

Figura 2.7: Traza vial para el municipio de Centro, Tabasco, México.



Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Centros de Distribución de Ayuda

Un Centro de distribución de Ayuda (CDA) es un “lugar de donde parte la ayuda en especie para la población damnificada”. La diferencia entre éste y un Centro de Acopio radica en que éste último es un “lugar en donde se reciben, clasifican, seleccionan, empaacan y asignan donativos en especie para su distribución” (SEGOB, 2011). Es decir, antes de que la ayuda se distribuya se tiene un proceso de recepción, tipificación, selección y empaque si es el caso.

En la *tabla 2.3* se indica la georeferenciación de los cinco centros de distribución de ayuda.

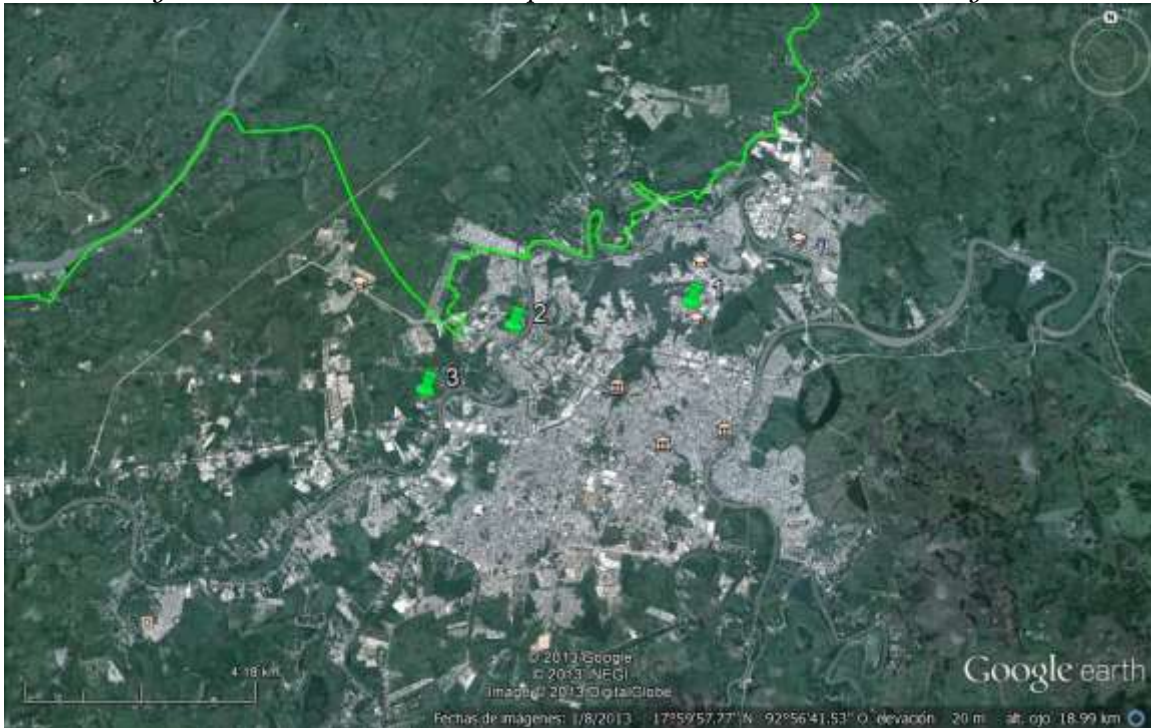
Tabla 2.3: Localización de los Centros de Distribución de Ayuda

ID	CDA	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
1	DIF Estatal	Centro	18° 0' 30" N	92° 55' 30" O
2	Parque Tabasco	Centro	18° 0' 15.3" N	92° 57' 29.34" O
3	Piedra Angular	Centro	17° 59' 33.86" N	92° 58' 29.92" O

Fuente: Elaboración propia

En la *figura 2.8* puede notarse que la distribución de los CDA se encuentra dentro de la ciudad de Villahermosa.

Figura 2.8: Localización en el mapa de los centros de distribución de ayuda



Fuente: Elaboración propia

2.3.5 Albergues

La Ley General de Protección Civil define a los albergues como una “*instalación que se establece para brindar resguardo a las personas que se han visto afectadas en sus viviendas por los efectos de fenómenos perturbadores y en donde permanecen hasta que se da la recuperación o reconstrucción de sus viviendas*” (DOF, 2012)

La *tabla 2.4* muestra la base de datos proporcionada por Protección Civil del estado donde se destaca la ubicación de cada uno de los albergues candidatos; así como la cantidad de familias que puede albergar (capacidad). Con esta información se establece que la capacidad total de los 16 albergues candidatos en su conjunto es de 7,184 familias o 26,581 personas.

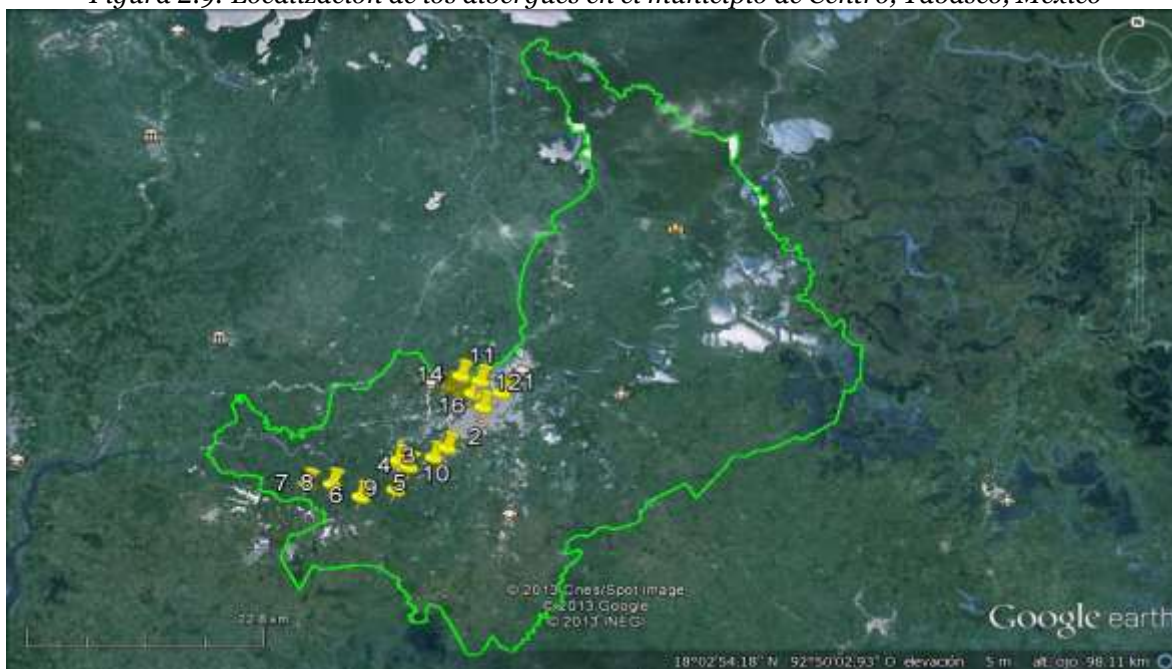
En la *figura 2.9* se localizan sobre el mapa los puntos de la *tabla 2.4*; donde se aprecia la distribución de los mismos.

Tabla 2.4: Albergues candidatos; servicios, capacidad y localización

ID	ALBERGUE	CAPACIDAD PERSONAS	CAPACIDAD FAMILIAS
1	Bodega SEDESOL	5,498	1,486
2	Esc. Prim. Eusebio Castillo	544	147
3	Esc. Prim. Francisco i. Madero	248	67
4	Templo Bethel	44	12
5	Esc. Ignacio Zaragoza	185	50
6	Iglesia Virgen del Rosario	100	27
7	Biblioteca	22	6
8	Esc. Prim. Marieta Fuentes	244	66
9	Esc. Pablo L. Sidar	322	87
10	Esc. Telesecundaria Gregorio Méndez	93	25
11	Estacionamiento de Liverpool	3,700	1,000
12	Plaza de toros	278	75
13	Central de abastos	278	75
14	Parque Tabasco	6,013	1,625
15	Piedra angular	3,001	811
16	Ciudad Deportiva	6,013	1,625
	TOTAL DE FAMILIAS		7,184
	TOTAL DE PERSONAS	26,581	

Fuente: Elaboración propia con datos de Protección Civil del estado de Tabasco.

Figura 2.9: Localización de los albergues en el municipio de Centro, Tabasco, México



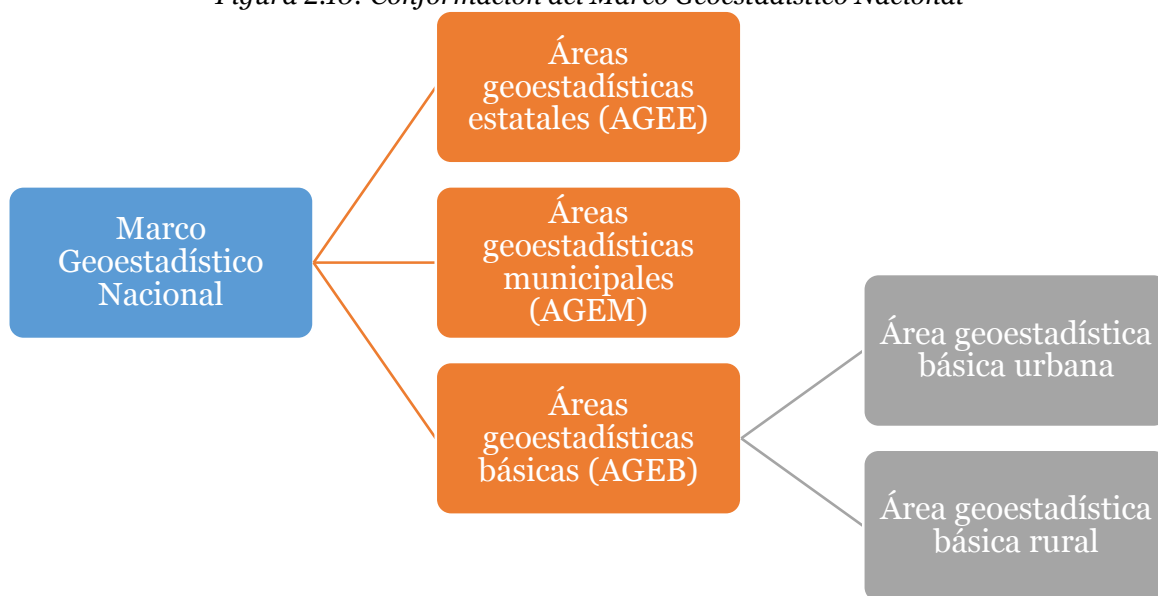
Fuente: elaboración propia

2.3.5.1 Área Geoestadística Básica

Antes de definir el concepto de AGEB es necesario definir primeramente al Marco Geoestadístico Nacional el cual “es un sistema único y de carácter nacional diseñado por el INEGI para referenciar correctamente la información estadística de los censos y encuestas con los lugares geográficos correspondientes” (INEGI, 2010).

El Marco Geoestadístico nacional se conforma de por áreas geoestadísticas (ver *figura 2.10*)

Figura 2.10: Conformación del Marco Geoestadístico Nacional



Fuente: Elaboración propia con información de (INEGI, 2010)

El Área Geoestadística Estatal (AGEE) es la extensión territorial que contiene todos los municipios que pertenecen a una entidad federativa o delegaciones para el caso del Distrito Federal, definidos por “límites geoestadísticos” que se apegan, en la medida de lo posible, a los límites político-administrativos.

El Área Geoestadística Municipal (AGEM) es la extensión territorial que corresponde al espacio geográfico de cada uno de los municipios que conforman la división política de las entidades federativas de los Estados Unidos Mexicanos; el número total de las AGEM por estado será igual al total de sus municipios; y en el caso del Distrito Federal, son las delegaciones políticas; actualmente existen a nivel nacional 2,456 municipios.

El Área Geoestadística Básica (AGEB): es la extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales. Constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional y, dependiendo de sus características, se clasifican en:

El Área Geoestadística Básica Urbana: que es el área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas que generalmente va de 1 a 50, perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el

terreno y cuyo uso del suelo sea principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etcétera, sólo se asignan al interior de las localidades urbanas.

El Área Geoestadística Básica Rural: es la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales que se ubican en la parte rural, cuya extensión territorial es variable y se caracteriza por el uso del suelo de tipo agropecuario o forestal. Contiene localidades rurales y extensiones naturales como pantanos, lagos, desiertos y otros, delimitada por lo general por rasgos naturales (ríos, arroyos, barrancas, etcétera) y culturales (vías de ferrocarril, líneas de conducción eléctrica, carreteras, brechas, veredas, ductos, límites prediales, etcétera).

Por las características de la investigación será necesario hacer uso de AGEB y por la zona en estudio se considerará AGEB urbana.

Para identificar la referencia geoestadística ya sea, estatal, municipal, AGEB, localidad y manzana se tiene un método de clavicaión de cada área del Marco Geoestadístico Nacional; dichas claves son únicas y se expresan con claves numéricas.

El orden que siguen estos códigos se expresan en la *tabla 2.5*

Tabla 2.5: Clavificación según el Marco Geoestadístico Nacional

Clave completa o concatenada según el Marco de Geostadístico Nacional	
Para las áreas urbanas	Para las áreas rurales
EE+MMM+LLLL+AAA-A+NNN	EE+MMM+AAA-A+LLLL+NNN

Donde :

EE= Estado (se representa con dos dígitos, 00)

MMM= Municipio (se representa con tres dígitos, 000)

LLLL= Localidad (se representa con cuatro dígitos, 0000)

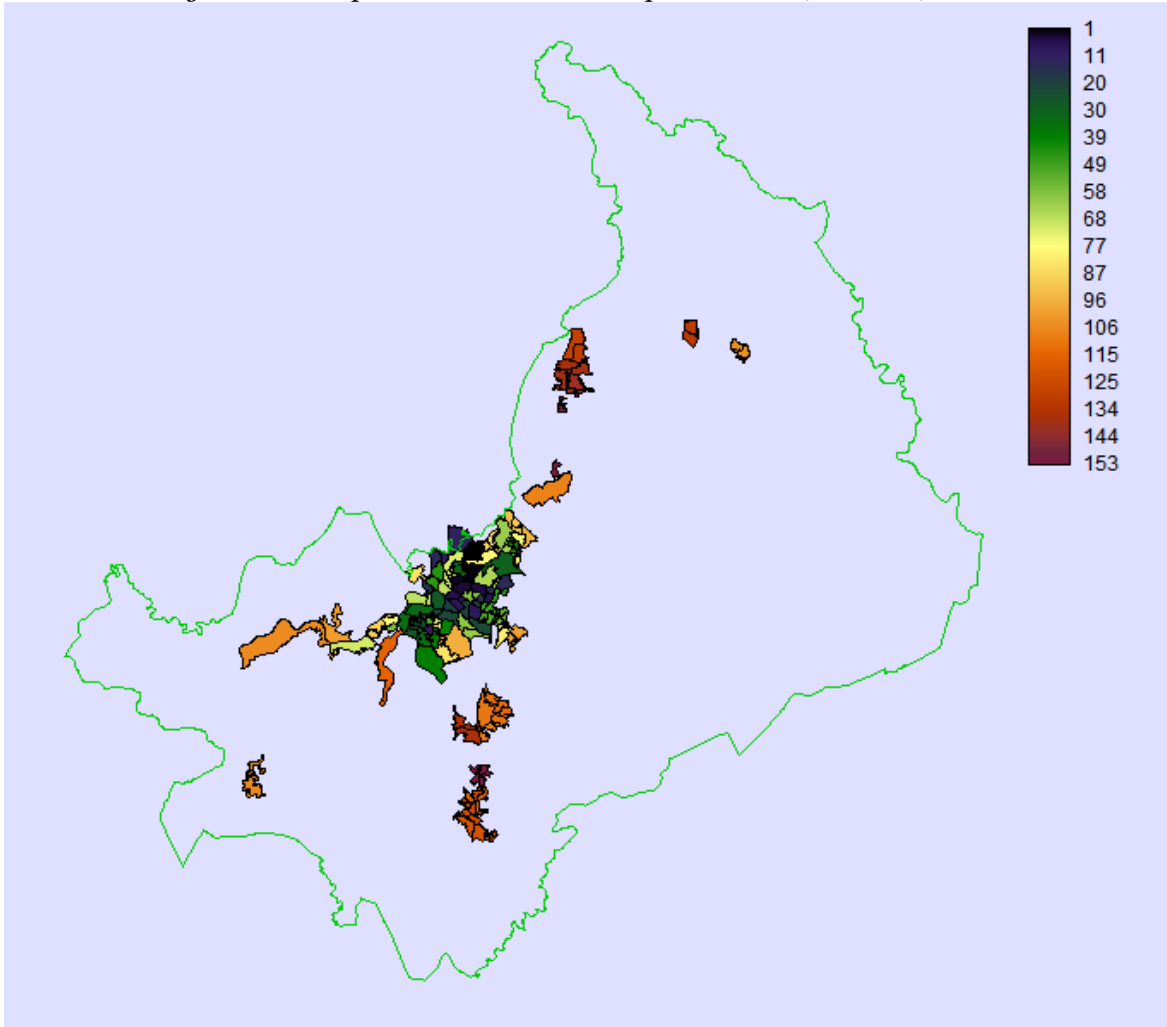
AAA-A= AGEB (se representa con tres dígitos, un guion y un dígito verificador, 000-0)

NNN= Manzana (se representa con tres dígitos, 000)

Fuente: Elaboración propia con información de (INEGI, 2010)

En la *figura 2.11* se muestra el mapa de las AGEB que se utilizarán en este proyecto, en este caso para el municipio de Centro, Tabasco, México se tienen 153 AGEB. Como se puede apreciar en dicha figura dichas AGEB son polígonos irregulares.

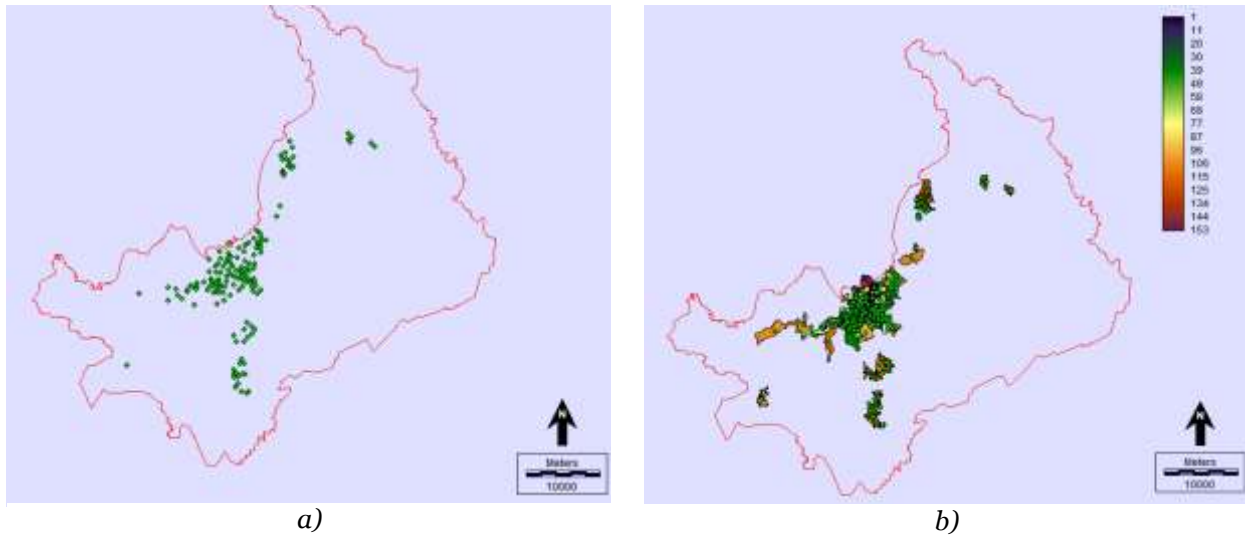
Figura 2.11: Mapa de AGEB en el municipio de Centro, Tabasco, México



Fuente: elaboración propia

La base de datos asociada a los mapas anteriores de AGEB se puede consultar en el Anexo 1. Para poder trabajar con estos datos se hizo necesario la obtención de los centroides de los polígonos para que posteriormente se obtenga la matriz de distancias AGEB-albergues. En la *figura 2.12 a) y b)* se tiene la ubicación espacial de dichos centroides en todo el municipio y para cada uno de los AGEB respectivamente.

Figura 2.12: Distribución de los centroides a lo largo del municipio de Centro, Tabasco, México. b): Localización de los centroides correspondiente a cada AGEB



Fuente: Elaboración propia

Se establecerá en el presente trabajo la definición de densidad de población la cual se define como:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Población}}{\text{Superficie}}$$

Mediante éste concepto se cuantificará la población damnificada medida a nivel de AGEB, la cual se obtiene al multiplicar el área dañada y la densidad de población. Esto es:

$$D_{am} = D_{ageb} \times (A_t - A_d)$$

Donde :

D_{am} : Número de personas damnificadas

D_{ageb} : Densidad de población por cada AGEB

A_t : Área total del AGEB antes de que se presente cualquier escenario

A_d : Área del AGEB después de que se presenta cualquier escenario

Según el Censo de Población y Vivienda 2010, para el municipio de Centro se tiene que el promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas es de 3.7. Este valor servirá para calcular la demanda de albergues el cual se explica en el siguiente capítulo.

En este segundo capítulo se hace una pequeña descripción del sitio en estudio que; en este caso es el municipio de Centro y de su problemática, que debido a que la mayor ciudad y capital del Estado: Villahermosa se encuentra rodeado por tres grandes ríos; a saber, los Ríos Grijalva, de La Sierra y Usumacinta en los que fluyen importantes caudales y que se intensifican en épocas de lluvias, además que debido a diversos factores no se han podido llevar a cabo en su totalidad las obras enmarcadas en el PHIT, por lo que es importante involucrar; como ya se ha reiterado en varias ocasiones, la implementación de planes de emergencia derivado de haber hecho un análisis de todas las variables implicadas para tal fin, además de las medidas estructurales que actualmente se están llevando a cabo es conveniente que se tengan planes de evacuación como lo mencionan Cheong y Xiaotao (2013) pues siempre queda un riesgo residual.

En la tercera parte de este segundo capítulo se describieron brevemente los mapas que se utilizarán posteriormente para obtener la información que requiere el modelo de optimización multi-objetivo. Para los mapas de los CDA y de albergues se integra su información complementaria como su localización puntual en coordenadas geográficas. Además se explicó en que consiste el concepto de densidad de población la cual se hará uso del mismo en el siguiente capítulo para estimar el número de damnificados en las AGEB urbanas del municipio.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE ESCENARIOS

En este capítulo se definen los escenarios simulados a partir del MDT, se da una explicación del porque se adoptan los tirantes de 0.8 m, 2 m, y 4 m. Igualmente, se dan a conocer los mapas generados a partir de los tirantes mencionados y con los datos obtenidos se hace un análisis del impacto que los escenarios simulados aportarían si no se toman las medidas pertinentes.

3.1 Definición de escenarios

Los escenarios que se simularán en esta investigación son los tirantes de 80 cm. correspondiente a la altura de una mesa; este valor se tiene del menaje de una casa habitación típica de Villahermosa, los siguientes escenarios de 2 m y 4 m corresponden a la altura promedio del primer y segundo nivel respectivamente de dicha casa habitación típica.

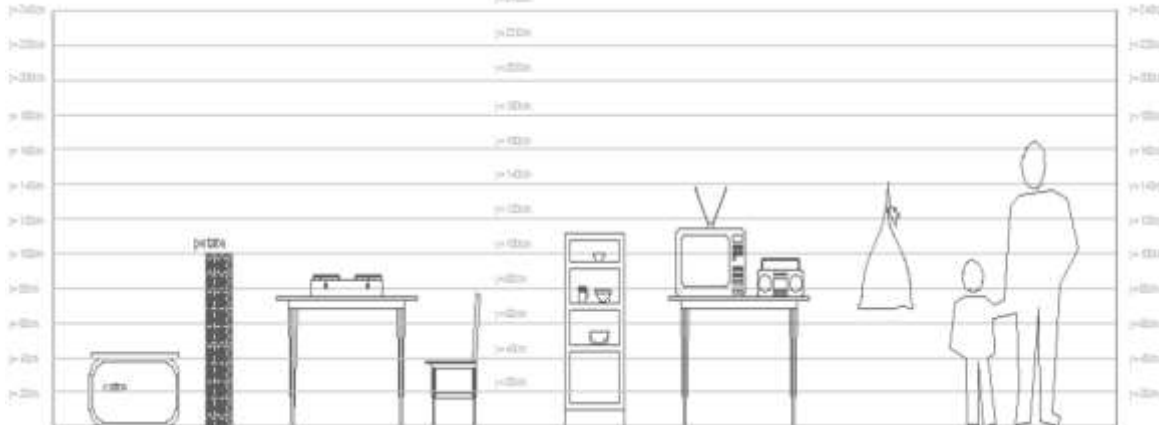
El CENAPRED propone una tipología de la vivienda la cual está en función del menaje de la vivienda (CENAPRED, 2006). El menaje de una casa es el “conjunto de bienes muebles y enseres usados que integran el mobiliario de una casa, que sirven exclusiva y propiamente para el uso y trato ordinario de una familia” (SHCP, 2009).

Para los fines aquí planteados se hará mención a la clasificación dada por CENAPRED los cuales clasifica a las viviendas de acuerdo a los siguientes criterios:

Vivienda tipo I

Corresponde a los hogares más humildes, la vivienda consta de un solo cuarto multifuncional, construido con material de desecho; el menaje es muy básico. En la *figura 3.1* se muestra un ejemplo de una vivienda tipo I.

Figura 3.1: Menaje de una vivienda tipo I



Fuente: (CENAPRED, 2006)

Como se explicó hace unos momentos, la razón por la que se eligió a los 80 cm como primer tirante es porque corresponde a la altura promedio de una mesa (ver *figura 3.6*), debido a que la mayoría de las personas tienden a ubicar sus pertenencias que consideran de valor sobre ésta debido a la incertidumbre que tienen con relación a si el tirante de agua pudiera sobrepasar dicha elevación (Commission, 2013), sobre todo para los tipos de vivienda I a III que son de un solo nivel por lo que los muebles más altos ayudan a proteger las pertenencias que los afectados consideren de mayor valor.

Desgraciadamente en las inundaciones súbitas no es posible tomar alguna medida de previsión precisamente por su naturaleza y en otras ocasiones la gente se niega a abandonar sus hogares por el temor de ser víctimas de robo; por lo que la decisión tomada generalmente es desplazar a un nivel superior -de acuerdo a su tipo de vivienda- tanto las pertenencias como las propias personas; esto es, un primer nivel o azotea que en promedio es de 2 m para todos los tipos de vivienda (ver *figura 3.7*); en aquellas de dos niveles el promedio es de 4 m en el caso de las casas tipo IV y V, así mismo se eligió éste último tirante porque es el que se tuvo en 2007 en este Estado y que provocó graves daños a la ciudadanía.

El informe LC/MEX/L.864 (SEGOB, 2008) señala que aun cuando muchas viviendas contaban en ese entonces con dos plantas, un gran sector de la población no pudo aprovechar ese recurso para resguardar sus bienes en el segundo nivel, puesto que, el diseño de las escaleras no les permitió hacerlo de esta manera.

Figura 3.6: Damnificado de Valle de Chalco, Estado de México, México



Fuente: http://www.aguariosypueblos.org/chalco/242_chalco_9/

Figura 3.7: Viviendas dañadas por las inundaciones de 2007, Tabasco, México



Fuente: http://www.aguariosypueblos.org/chalco/242_chalco_9/ (2013)

3.2 Mapas de inundación

Los mapas de inundación se generaron a partir del MDT descrito en capítulos anteriores. Los tirantes se crearon a partir de una cota de inicio (**cota 0**) en este caso fue de 3.0 msnm. La razón por la cual se inició en este valor fue porque no se tienen asentamientos humanos por debajo de dicha elevación.

La *tabla 3.1* muestra las cotas utilizadas para generar los mapas para cada uno de los escenarios con incrementos de 10 cm.


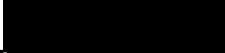
Tabla 3.1 Cotas utilizadas para generar los mapas de inundación

n	Δ	Tirante acum.	Cota	n	Δ	Tirante acum.	Cota
	m	m	msnm		m	m	msnm
0	0	0	3	21	0.1	2.1	5.1
1	0.1	0.1	3.1	22	0.1	2.2	5.2
2	0.1	0.2	3.2	23	0.1	2.3	5.3
3	0.1	0.3	3.3	24	0.1	2.4	5.4
4	0.1	0.4	3.4	25	0.1	2.5	5.5
5	0.1	0.5	3.5	26	0.1	2.6	5.6
6	0.1	0.6	3.6	27	0.1	2.7	5.7
7	0.1	0.7	3.7	28	0.1	2.8	5.8
8	0.1	0.8	3.8	29	0.1	2.9	5.9
9	0.1	0.9	3.9	30	0.1	3	6
10	0.1	1	4	31	0.1	3.1	6.1
11	0.1	1.1	4.1	32	0.1	3.2	6.2
12	0.1	1.2	4.2	33	0.1	3.3	6.3
13	0.1	1.3	4.3	34	0.1	3.4	6.4
14	0.1	1.4	4.4	35	0.1	3.5	6.5
15	0.1	1.5	4.5	36	0.1	3.6	6.6
16	0.1	1.6	4.6	37	0.1	3.7	6.7
17	0.1	1.7	4.7	38	0.1	3.8	6.8
18	0.1	1.8	4.8	39	0.1	3.9	6.9
19	0.1	1.9	4.9	40	0.1	4	7
20	0.1	2	5				

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que en el software IDRISI® Selva (versión. 17) los mapas generados son imágenes booleanas; es decir, consta de valores de 1 y 0 para representar las características que se quieran simbolizar, en este caso se representarán como se indica en la *tabla 3.2*.

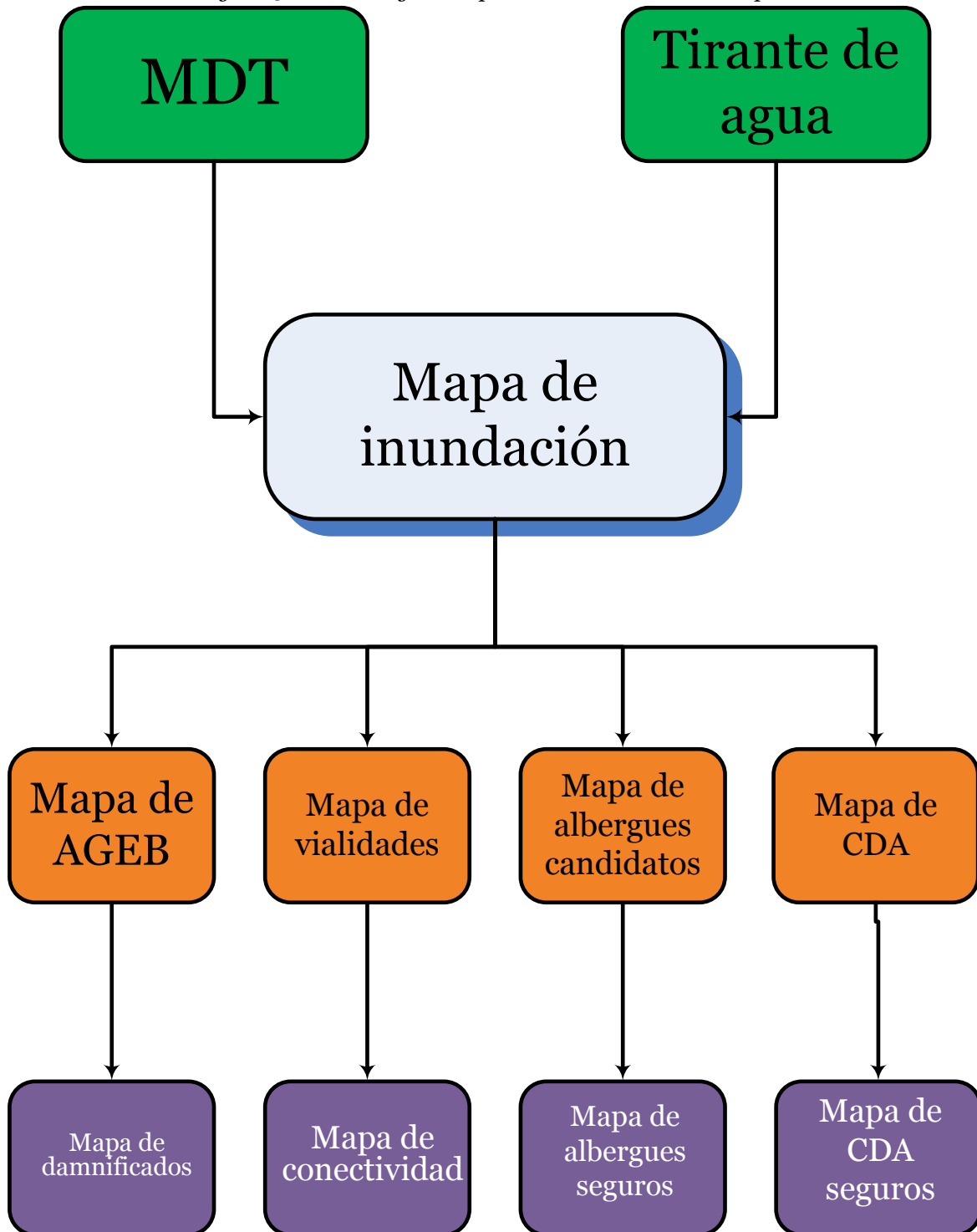
Tabla 3.2: Representación de las zonas secas e inundadas

ID	Representa	Color
1	Zona seca	
0	Zona inundada	

Fuente: Elaboración propia

En la *figura 3.8* se establece el procedimiento general para la elaboración de los mapas. Como se estableció líneas arriba, mediante el MDT y la asignación de los tirantes se genera el mapa de inundación (imagen booleana). Posteriormente, a partir de los mapas de AGEB, vialidades, albergues candidatos, centros de distribución de ayuda (CDA) al multiplicarse por el mapa de inundación por ser una imagen booleana se generan los mapas de damnificados, de conectividad, albergues seguros y de CDA seguros respectivamente.

Figura 3.8: Modelo general para la obtención de los mapas

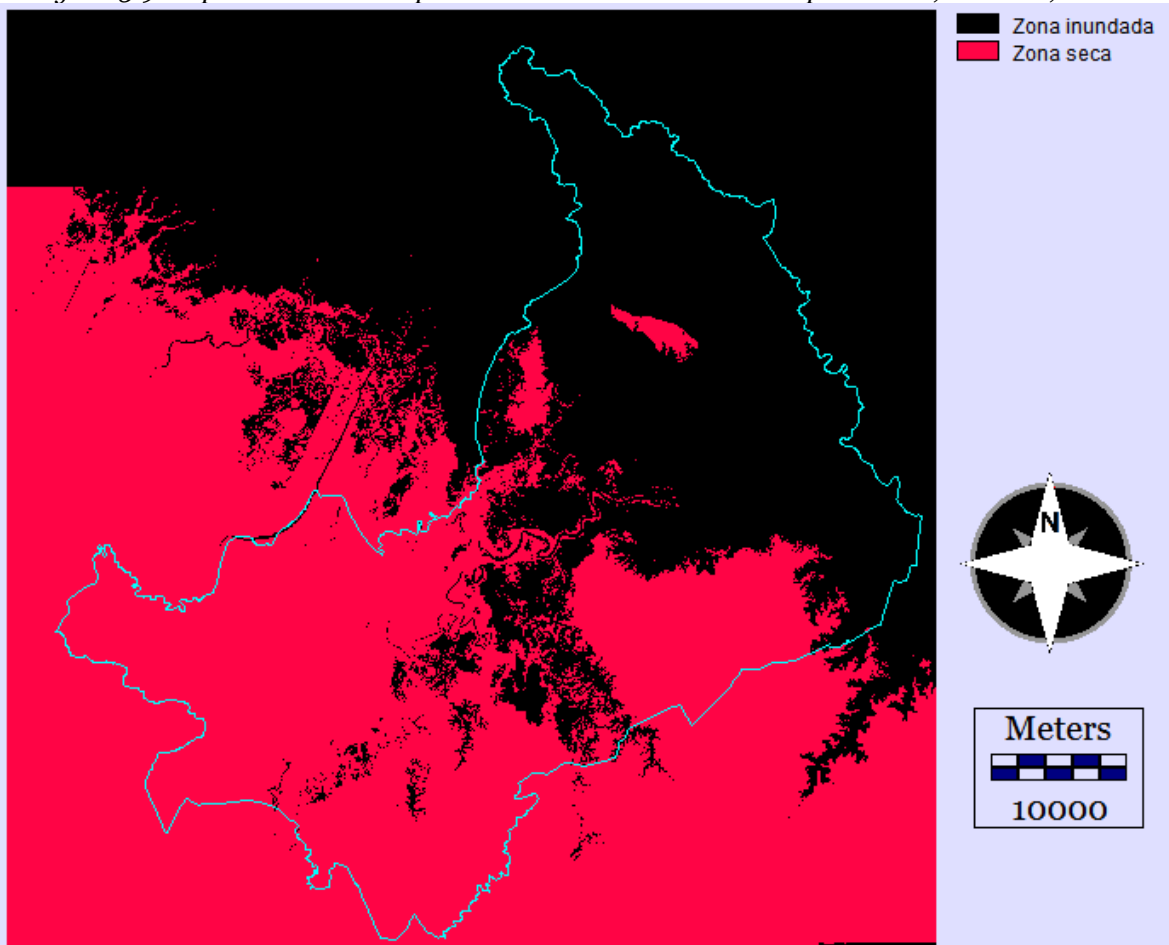


Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Mapa de inundación para un tirante de 80 cm.

En la *figura 3.9* se muestra el mapa de inundación para dicho tirante de acuerdo a la *tabla 3.1* de la sección anterior. A partir de este mapa se generan los demás (ver *figuras 3.10 - 3.12*) de acuerdo con la *figura 3.8*.

Figura 3.9 Mapa de inundación para un tirante de 0.8 m. Municipio Centro; Tabasco, México



Fuente: Elaboración propia

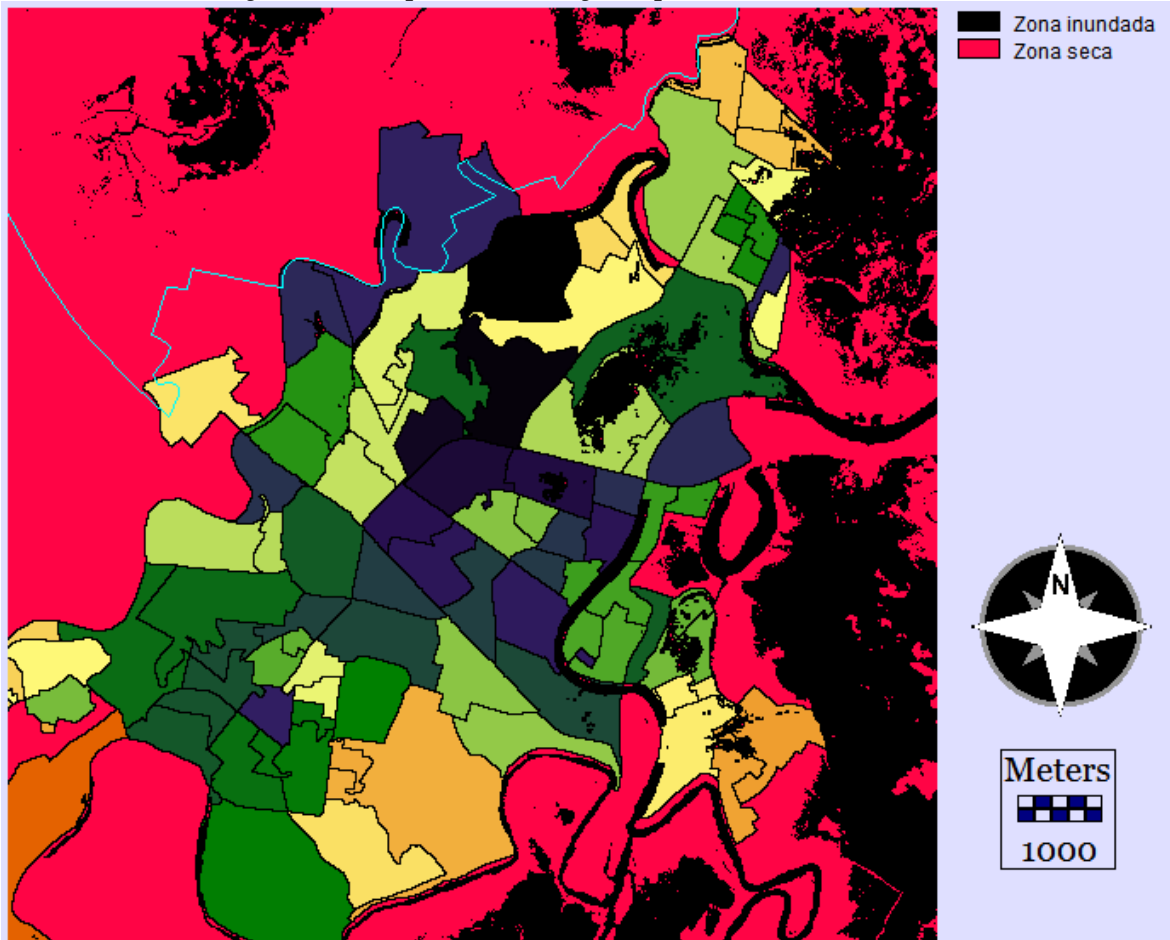
El mapa representado por la *figura 3.9* es una imagen booleana, la cual consta de únicamente valores de **0** y **1**. Para este caso en particular el valor **0** corresponde a la zona inundada y el valor **1** a la zona seca. La zona inundada dada por la mancha de color negro representa a altitudes menores a los 3.8 msnm según el MDT.

Como se aprecia en la figura anterior, cerca de la mitad del territorio que comprende el municipio Centro, quedaría cubierta por una lámina de agua. Sin embargo, con esta imagen no es posible determinar que AGEB se ven afectadas, para este último

caso es necesario incorporar la capa de dichos AGEB y de esta manera visualizar en el mapa las afectaciones surgidas a partir de este primer tirante supuesto.

Asimismo se aprecia en esa misma figura que en la zona norte del municipio se empiezan a formar dos zonas rodeadas completamente de agua a lo que le podríamos llamar “islas” o zonas aisladas.

Figura 3.10 Mapa de AGEB seguros para un tirante de 0.8 m.



Fuente: Elaboración propia

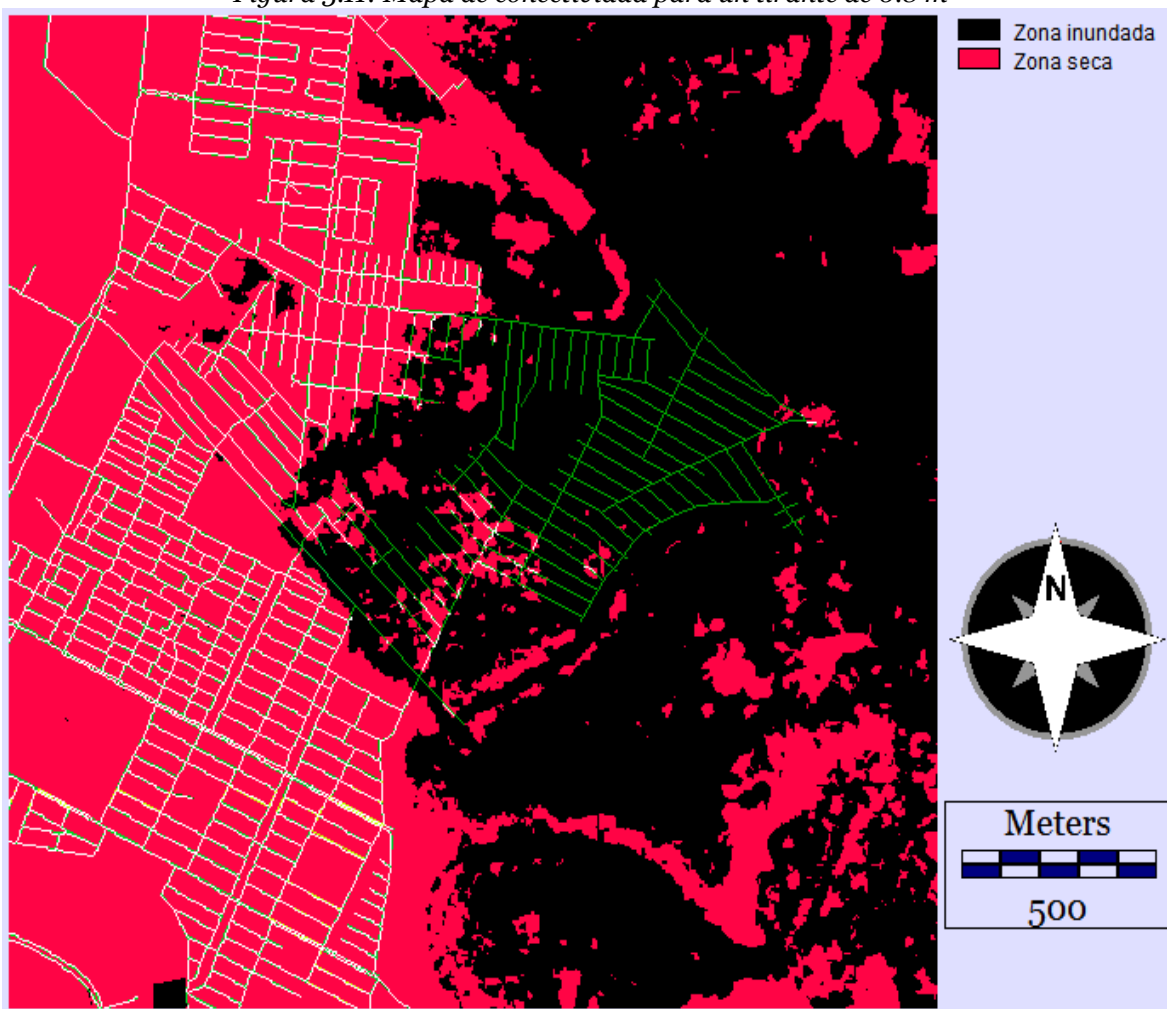
El mapa dado por la *figura 3.10* se realizó al utilizar la operación *OVERLAY* en IDRISI®; como el mapa de inundación es una imagen booleana (de 0 y 1) a la cual se establece que la zona inundada tiene el valor de 0, mientras que el valor de 1 a la zona seca. De tal manera que al hacer algebra de mapas con la operación matemática de multiplicación a todo valor de cada pixel del mapa de AGEB que sea multiplicado por un pixel de valor 0 del el mapa de inundación se obtendrá como resultado los AGEB afectados.

Como se puede apreciar en el mapa dado por la *figura 3.10* el cual se muestra una zona ampliada para una mejor visualización, en ella se aprecian huecos en algunas AGEB, esto indica que estos últimos son afectados por una lámina de agua.

Para este caso el porcentaje de afectación total de las AGEB fue del 8.06% del área habitable, lo que corresponde a 32,075 personas afectadas (ver Anexo 2).

El mapa de conectividad representado por la *figura 3.11*, al igual que el mapa anterior se considera una zona ampliada para una mejor visualización de la misma. Asimismo dicha imagen se obtuvo de hacer un proceso similar a los anteriores, utilizando el comando *OVERLAY* de IDRISI® y recurrir a la operación de multiplicación; de tal suerte que las vialidades seguras o las que no sufrieron daño están constituidas por las líneas de color blanco de dicha imagen. Por otra parte las líneas de color verde representan las vialidades dañadas o inutilizables para este primer caso.

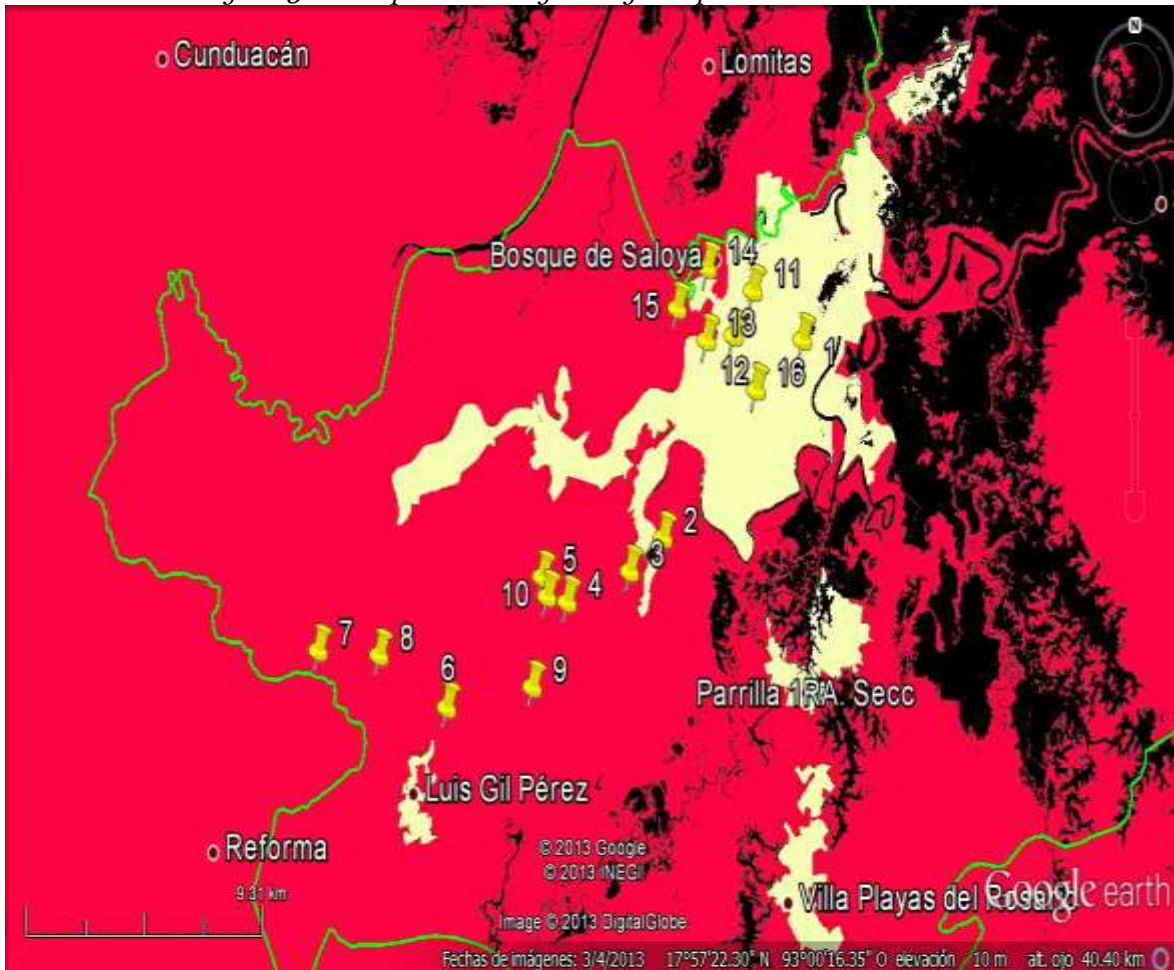
Figura 3.11: Mapa de conectividad para un tirante de 0.8 m



Fuente: Elaboración propia

En el mapa de albergues seguros representado por la *figura 3.12*, se aprecia la zona habitable referido por las manchas de color amarillo claro, la más grande corresponde a la ciudad de Villahermosa. También se notan los albergues disponibles para este primer escenario representados por puntos de color amarillo en donde se aprecia también su identificador (ID), nótese que dichos albergues se distribuyen al centro la ciudad de Villahermosa y algunos otros al oeste del municipio.

Figura 3.12: Mapas de albergues seguros para un tirante de 0.8m

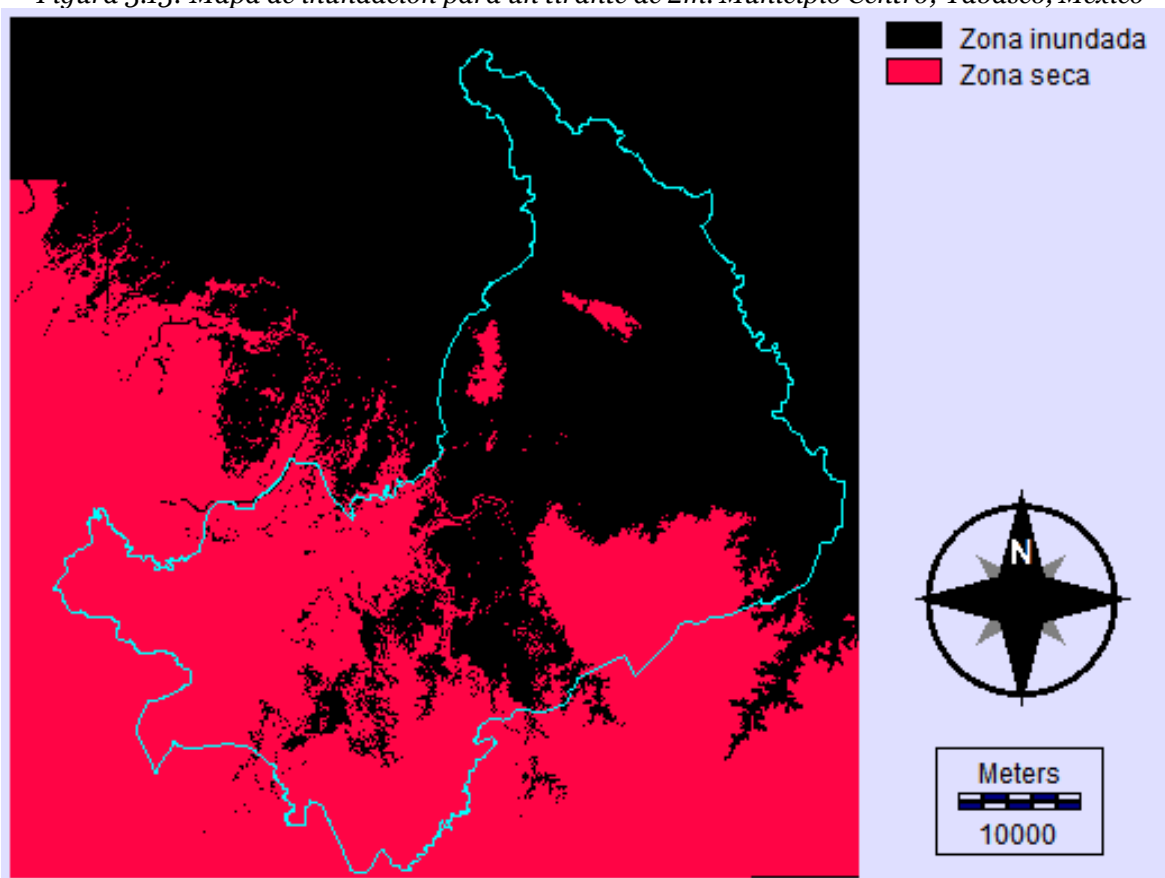


Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Mapa de inundación para un tirante de 2 m.

En la *figura 3.13* se muestra el mapa de inundación para este segundo escenario. Al igual que en los mapas del primer escenario con este mapa se generan los demás (ver *figuras 3.14 - 3.16*)

Figura 3.13: Mapa de inundación para un tirante de 2m. Municipio Centro; Tabasco, México



Fuente: Elaboración propia

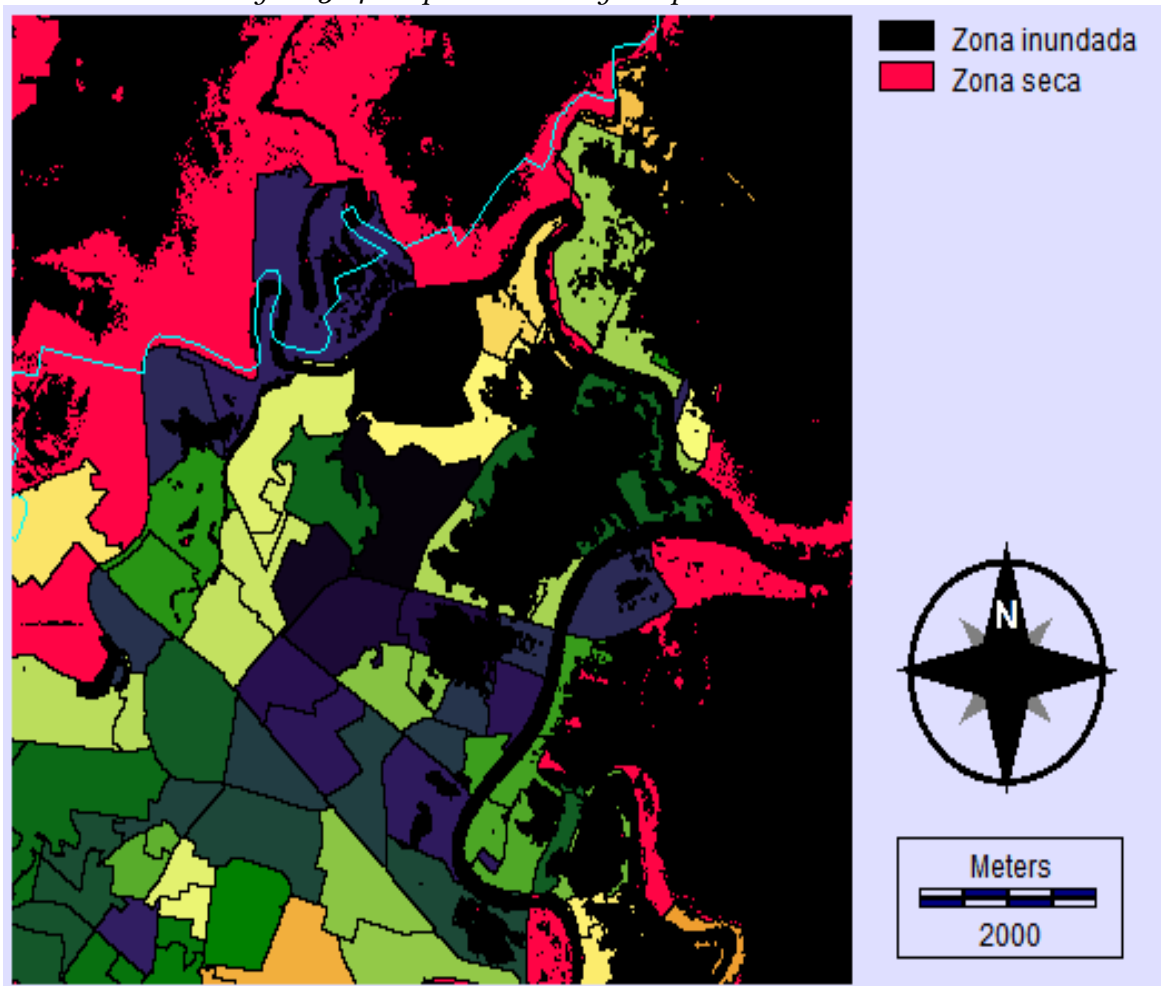
El proceso para generar el mapa de inundación representado por la *figura 3.13* es similar a los anteriores.

En dicho mapa se aprecia de manera visual que la zona inundada se extiende hasta abarcar a más del 50% del territorio del municipio Centro. De la misma forma las islas mencionadas en la sección anterior se empiezan a estrechar y a quedar aún más lejos de las zonas céntricas de Villahermosa.

En el mapa de AGEB para el segundo tirante considerado, representado por la *figura 3.14* fue elaborado de forma similar al anterior. Dicho mapa constituye una zona ampliada del mapa a efecto de una mejor visualización. En la figura mencionada se percibe que las zonas inundadas de las AGEB se amplían considerablemente, esto significa que hay puntos en donde la altitud es menor a los 5.0 msnm.

El porcentaje de afectación total de las AGEB para este segundo escenario es de 21.70% del área habitable, lo que corresponde a 103,800 personas afectadas (ver Anexo 2).

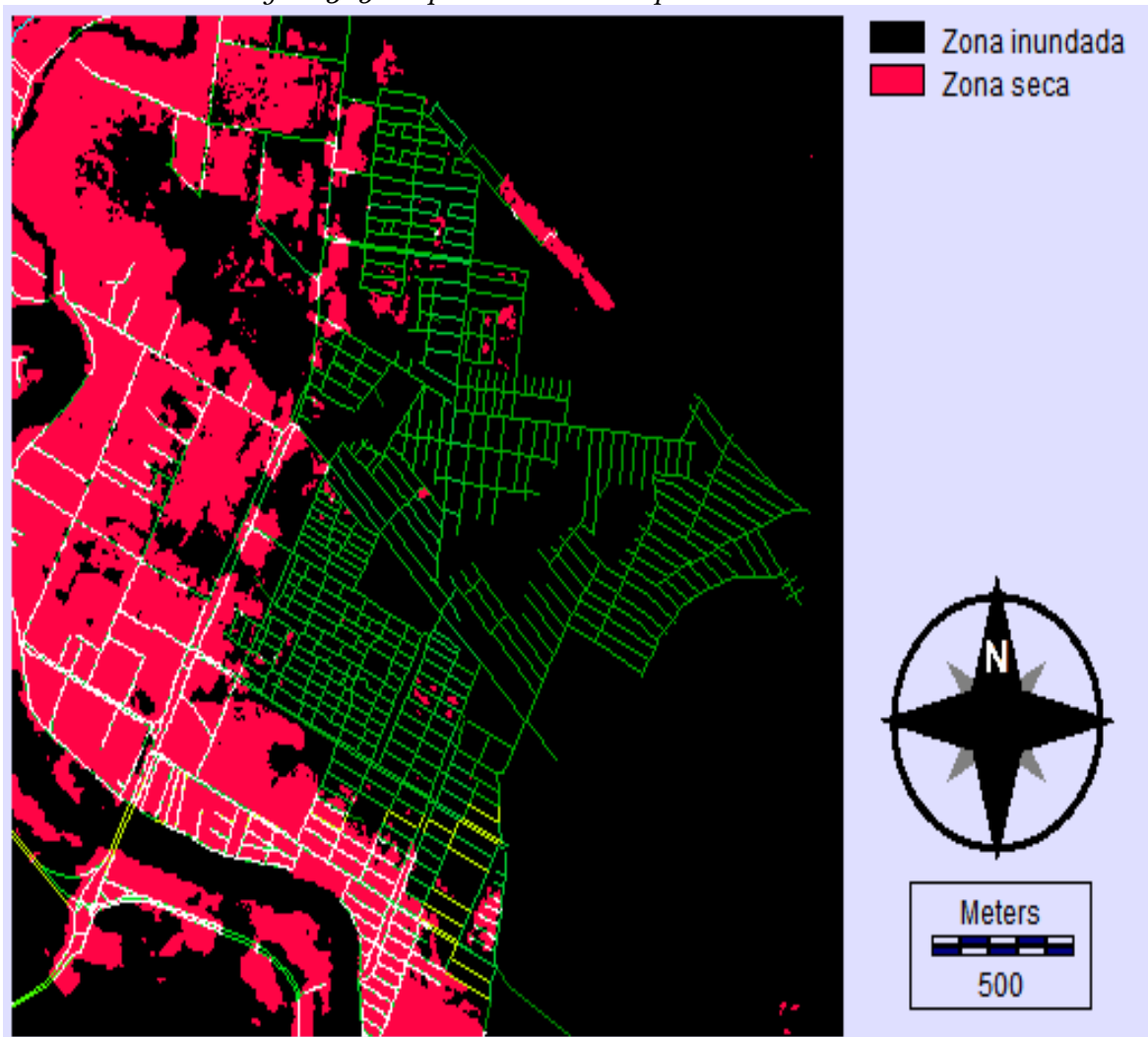
Figura 3.14: Mapa de AGEB seguros para un tirante de 2 m



Fuente: Elaboración propia

El mapa de conectividad representado por la *figura 3.15*, al igual que el mapa anterior se considera una zona ampliada para una mejor visualización de la misma. Al igual que la dicha imagen se obtuvo de hacer un proceso similar a los anteriores, utilizando el comando *OVERLAY* de IDRISI y recurrir a la operación de multiplicación; asimismo se aprecian las vialidades que no sufrieron daño las cuales están constituidas por las líneas de color blanco de dicha imagen. Por otra parte las líneas de color verde que representan las vialidades dañadas o inutilizables para este segundo caso y donde se aprecia que para este escenario cada vez más vialidades son afectadas por efecto de la inundación.

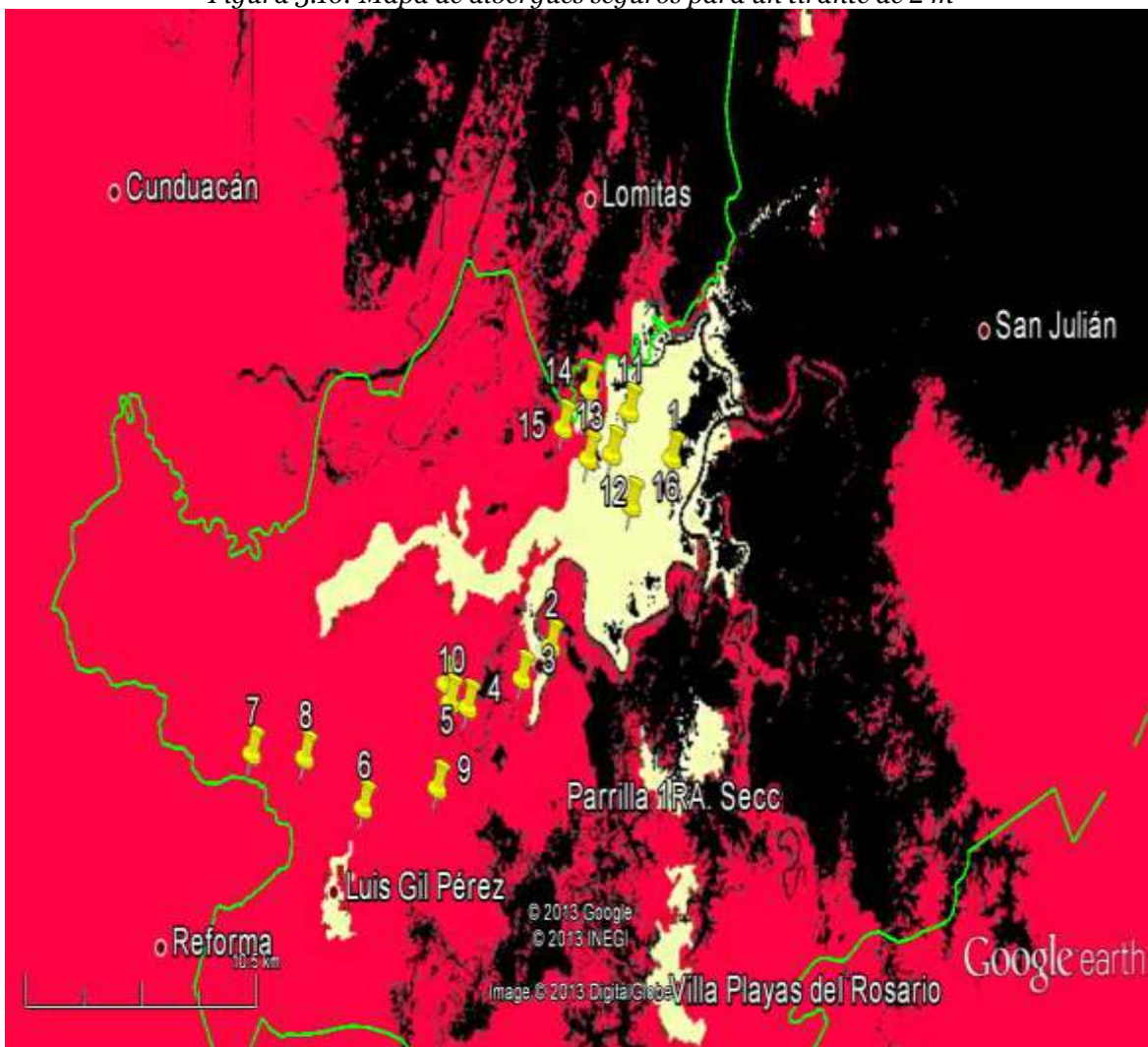
Figura 3.15: Mapa de conectividad para un tirante de 2 m



Fuente: *Elaboración propia*

En el mapa de albergues seguros representado por la *figura 3.16* para este segundo escenario, al igual que el mapa de albergues seguros anterior se aprecian los albergues disponibles para este mismo escenario representados por puntos de color amarillo. Del mismo modo, se destaca que la inundación crece hacia el sur del municipio representada en este caso por la mancha de color negro y donde se aprecia que para este escenario ya comienza a afectar la colonia Parrilla 1ra sección.

Figura 3.16: Mapa de albergues seguros para un tirante de 2 m



Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Mapa de inundación para un tirante de 4 m.

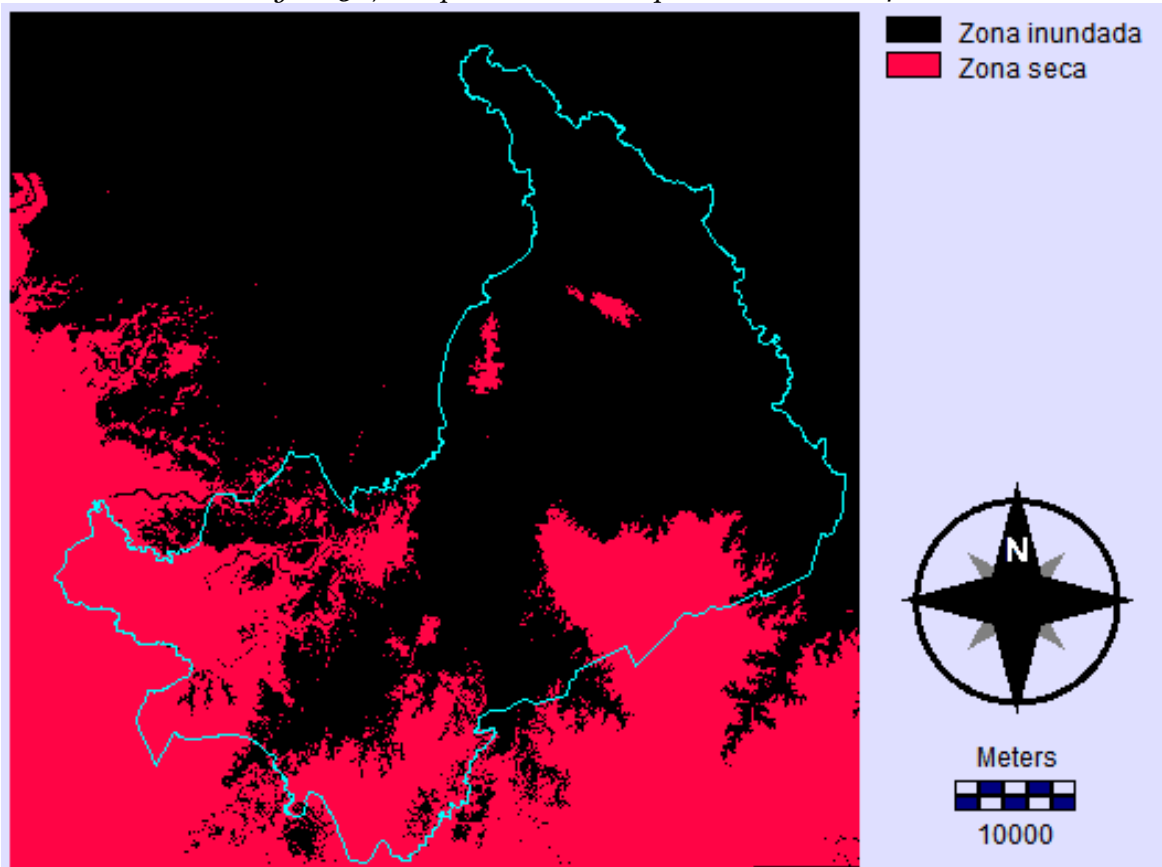
En la *figura 3.17* se muestra el mapa de inundación para este segundo escenario. Al igual que en los mapas del primer y segundo escenario con este mapa se generan los demás (ver *figuras 3.18 - 3.20*).

El proceso para generar el mapa de inundación representado por la *figura 3.17* es similar a los anteriores.

En dicho mapa se aprecia de manera visual que la zona inundada se extiende hasta abarcar a más del 70% del territorio del municipio Centro. De la misma forma, las islas mencionadas en la sección anterior se empiezan a estrechar cada vez más y ahora las dos islas ubicadas en la parte norte del territorio del municipio quedan completamente retiradas de la ciudad de Villahermosa.

Además de las islas ya descritas, comienzan a formar otras en la zona sur de la ciudad, aunque de menor extensión.

Figura 3.17: Mapa de inundación para un tirante de 4 m

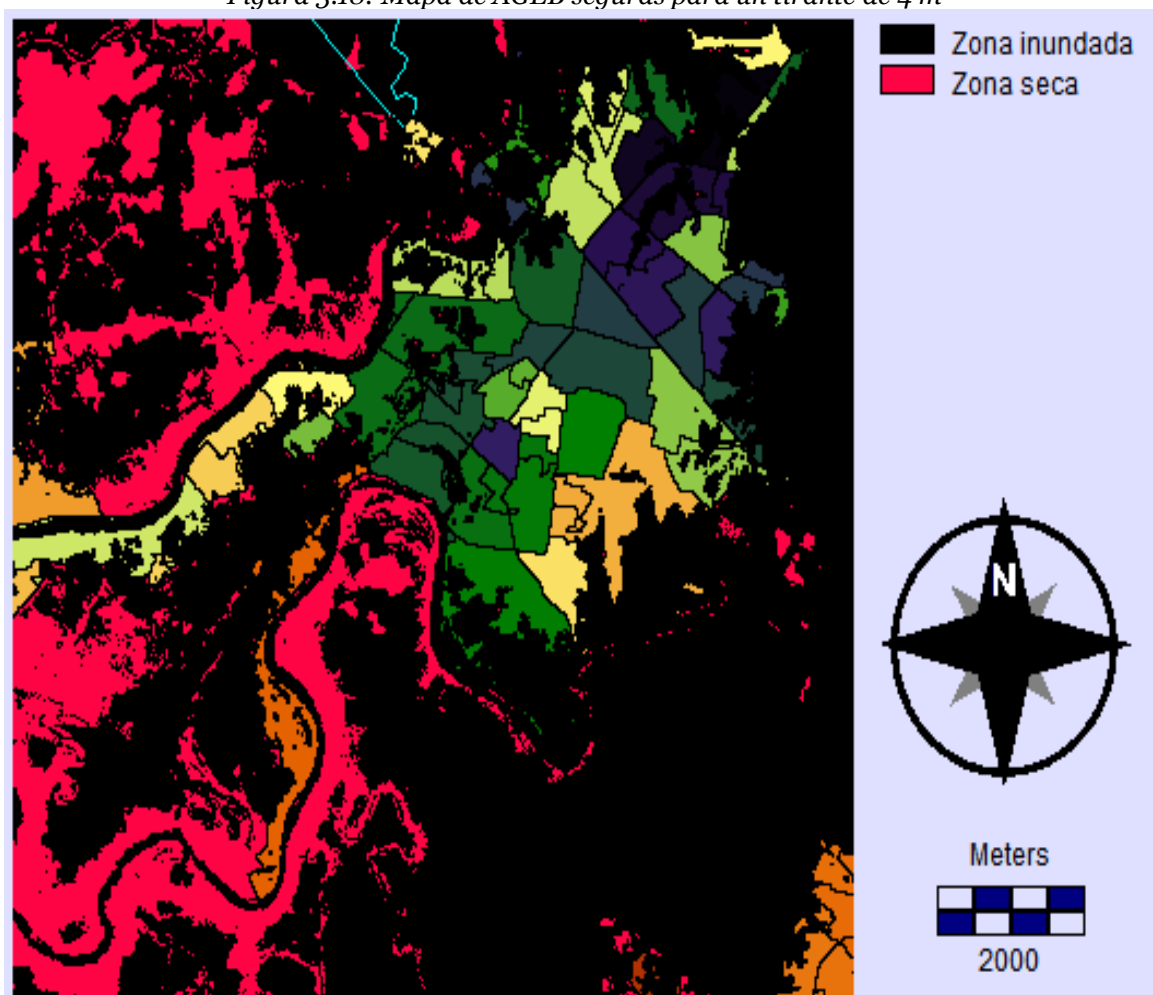


Fuente: *Elaboración propia*

En el mapa de AGEB para este último tirante considerado, representado por la *figura 3.18* fue elaborado de forma similar al anterior. Dicho mapa constituye una zona ampliada del mapa a efecto de una mejor visualización. En la figura mencionada se percibe que las zonas inundadas de las AGEB se amplían aún más con relación al mapa de AGEB seguras del escenario anterior, esto significa que hay puntos en donde la altitud es menor a los 7.0 msnm.

El porcentaje de afectación total de las AGEB para este tercer y último escenario es del 51.77% del área habitable, lo que representa un total de 232,457 personas afectadas (ver Anexo 2).

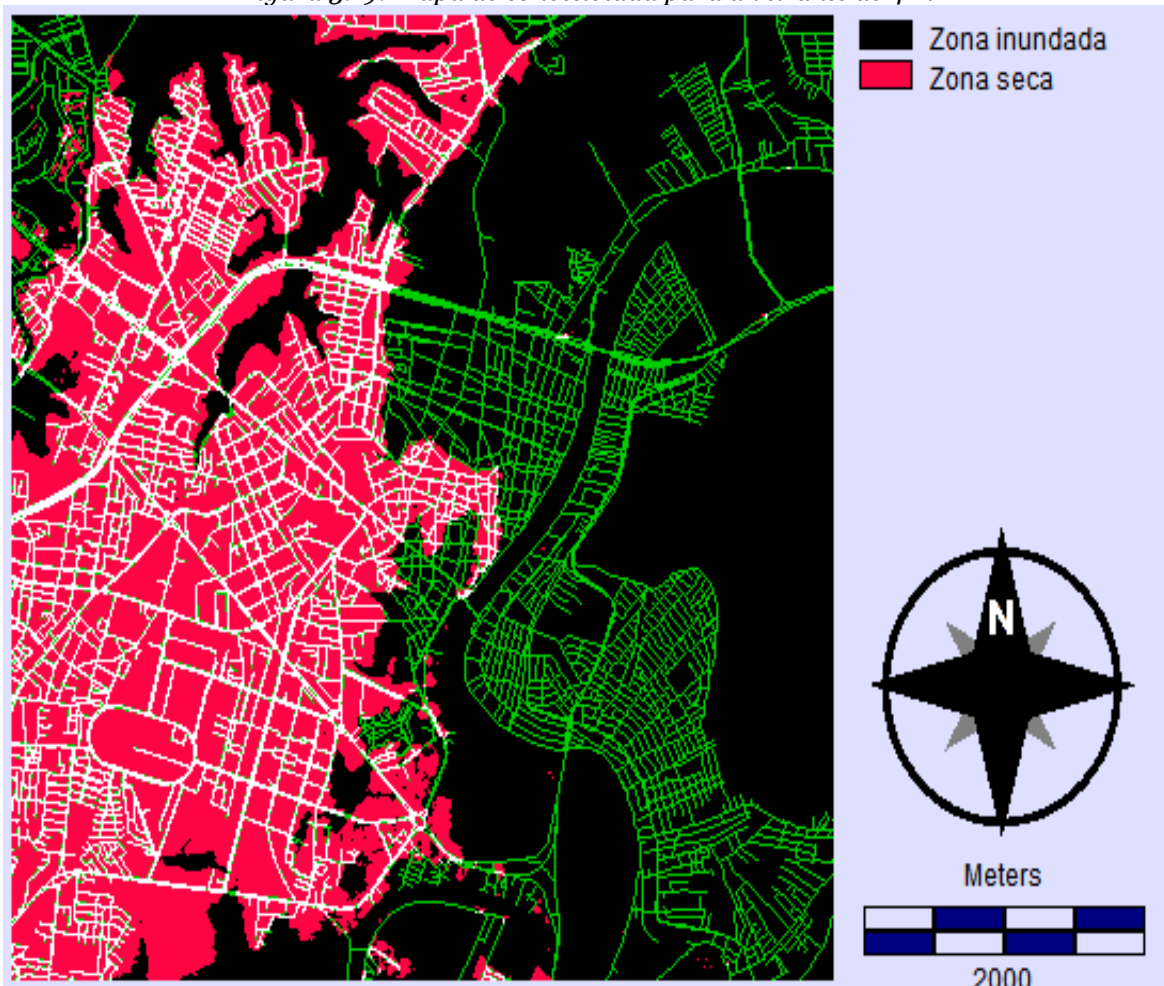
Figura 3.18: Mapa de AGEB seguras para un tirante de 4 m



Fuente: *Elaboración propia*

El mapa de conectividad indicado por la *figura 3.19*, al igual que los mapas anteriores se considera una zona ampliada para una mejor visualización de la misma. De la misma manera, se aprecian las vialidades que no sufrieron daño las cuales están constituidas por las líneas de color blanco en dicha imagen. Por otra parte las líneas de color verde que representan las vialidades dañadas o inutilizables para este último caso y donde se aprecia que para este escenario cada vez más vialidades son afectadas por efecto de la inundación.

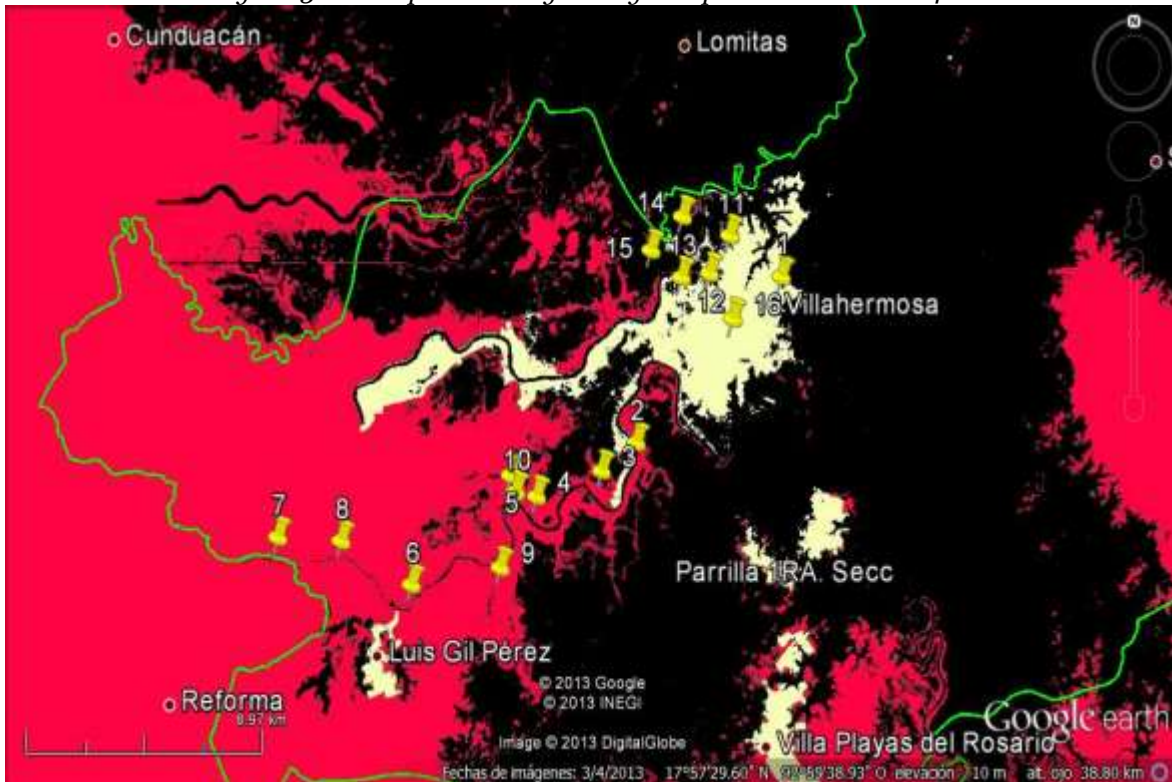
Figura 3.19: Mapa de conectividad para un tirante de 4 m



Fuente: *Elaboración propia*

En el mapa de albergues seguros representado por la *figura 3.20* para este último escenario. Al igual que el mapa de albergues seguros anterior se aprecian los albergues disponibles para este escenario representados por puntos de color amarillo. Para este escenario se aprecia que se empiezan a definir cada vez más islas al sur de la ciudad de Villahermosa y que se comienza a afectar a las AGEB ubicados en la colonia Luis Gil Pérez.

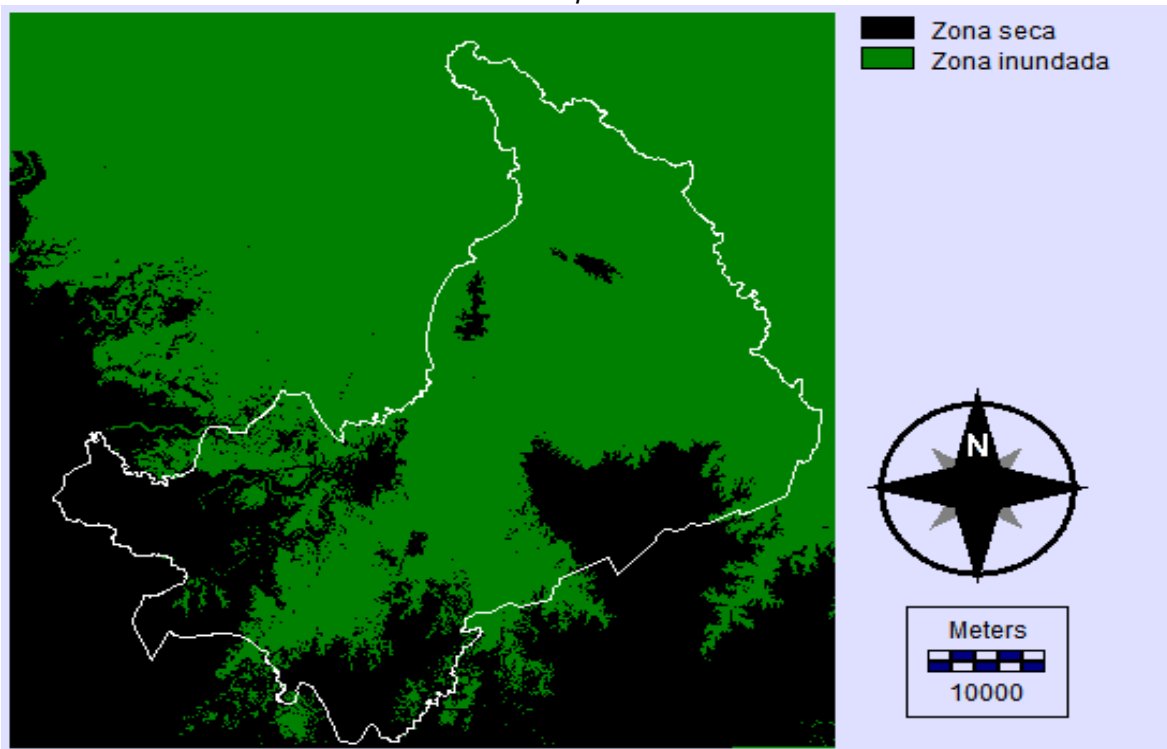
Figura 3.20: mapa de albergues seguros para un tirante de 4 m



Fuente: Elaboración propia

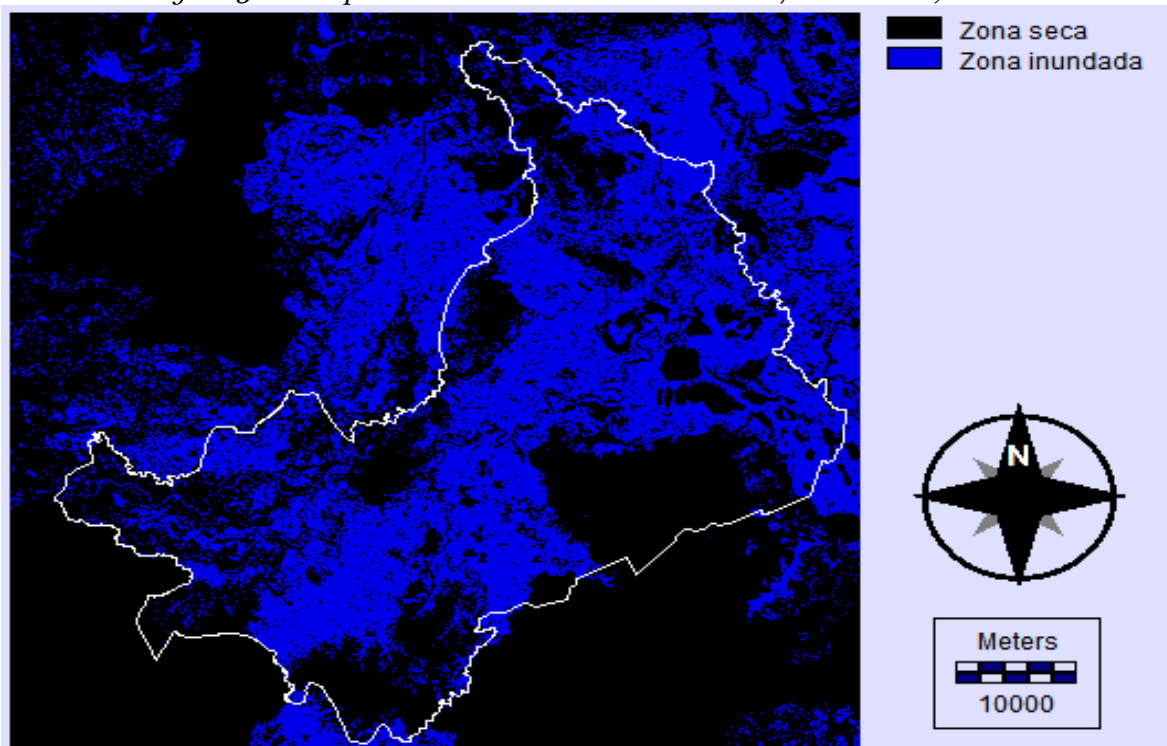
Se hizo una comparación de mapas entre lo que se obtuvo en esta investigación y la que realmente se presentó en 2007. En este caso se utilizó el mapa de 4 m de tirante de agua que es el tirante que se presentó en algunas zonas en dicho evento de aquel año. Para hacer coincidir el mapa realizado con el “real” proporcionado por investigadores de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), se hizo un paso previo, el cual consistió en invertir los colores; esto es, se representa por color verde la zona inundada en el caso del mapa estimado en esta investigación y el negro zona seca. Para el mapa correspondiente a la inundación ocurrida en 2007 la zona inundada se representa por el color azul, y el negro representa zona seca. Así, se puede mostrar que el mapa guarda cierta semejanza al mapa que se obtuvo de la inundación de ocurrida en 2007, lo cual indica que el elaborado en esta investigación tiene un grado elevado de confiabilidad. Esta comparación se aprecia en las *figura 3.21* y *figura 3.22*.

Figura 3.21: Mapa de inundación estimado en esta investigación correspondiente a un tirante de 4 m



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22: Mapa obtenido de la inundación de 2007 en Tabasco, México



Fuente: (UJAT, 2013)

3.3 Análisis e Impacto

De acuerdo a la lista de albergues de la *tabla 3.3* donde se muestra la capacidad (en número de las familias y en número de personas albergadas) se tiene que:

Tabla 3.3: Capacidad total de albergues disponibles

ID	ALBERGUE	CAPACIDAD PERSONAS	CAPACIDAD FAMILIAS
1	Bodega SEDESOL	5,498	1,486
2	Esc. Prim. Eusebio Castillo	544	147
3	Esc. Prim. Francisco I. Madero	248	67
4	Templo Bethel	44	12
5	Esc. Ignacio Zaragoza	185	50
6	Iglesia Virgen del Rosario	100	27
7	Biblioteca	22	6
8	Esc. Prim. Marieta Fuentes	244	66
9	Esc. Pablo L. Sidar	322	87
10	Esc. Telesecundaria Gregorio Méndez	93	25
11	Estacionamiento de Liverpool	3,700	1,000
12	Plaza de toros	278	75
13	Central de abastos	278	75
14	Parque Tabasco	6,013	1,625
15	Piedra angular	3,001	811
16	Ciudad Deportiva	6,013	1,625
	TOTAL DE FAMILIAS		7,184
	TOTAL DE PERSONAS	26,581	

Fuente: *Elaboración propia*

1. La capacidad de los albergues es rebasada en cualquier escenario, ya que para un tirante de 80 cm, la capacidad de los albergues resulta ser de 26,581 personas albergadas mientras las personas afectadas resulta ser de 32,075, lo que se traduce en 5,495 personas que no tienen cabida en ninguno de los albergues para este primer escenario.
2. Si se tuviera un tirante de 2 m, la cantidad de personas que no alcanzarían a ser albergadas ascienden a 77,220 personas.
3. Con un tirante de 4 m, los damnificados que no estarían siendo albergados ascenderían a 205,876.

Puesto que la cantidad de albergues no son suficientes para satisfacer la demanda en cualquiera de los escenarios, se estaría hablando de un evidente desastre, es decir, que las medidas adoptadas han sido rebasadas por el fenómeno. Lo que se podría evitar disponiendo de otros albergues en los municipios aledaños a este o incluso de albergues situados en los estados más próximos.

Es tal la extensión de los daños que es lógico contar con medidas tanto estructurales como no estructurales (medidas que en la actualidad ya se están desarrollando) para evitar o en el mejor de los casos reducir los daños asociados.

3.4 Matrices de distancia AGEB-albergue y CDA-albergue

Se obtuvieron las distancias de AGEB hacia albergues y de los CDA hacia albergues para utilizarlos posteriormente como una de las herramientas de interface con los modelos de optimización. Las matrices de distancia AGEB-albergue y CDA-albergue se muestran en el Anexo 3.

Las matrices de distancia se obtuvieron a partir de la fórmula de haversin (Heckbert, 1994) que calcula la distancia entre dos puntos sobre la superficie de la tierra dada la latitud y longitud (ver Anexo 4). Cabe aclarar que aunque la zona en estudio es pequeña con relación a la superficie terrestre, se utiliza la fórmula de haversin debido a que el georeferencimiento de los albergues y demás puntos identificados se encuentra en coordenadas esféricas.

Para cualquier par de puntos sobre la Tierra:

$$\text{haversin } \alpha = \text{haversin}(\theta_1 - \theta_2) + \cos \theta_1 \cos \theta_2 \text{haversin}(\phi_1 - \phi_2)$$

Donde:

$$\text{haversin}(A) = \sin^2\left(\frac{A}{2}\right) = \frac{1 - \cos(A)}{2}$$

D : distancia entre dos puntos (a lo largo del círculo máximo de la esfera)

R : radio de la esfera

θ_1 : latitud del punto 1

θ_2 : latitud del punto 2

ϕ_1 : longitud del punto 1

ϕ_2 : longitud del punto 2

De aquí se tiene que:

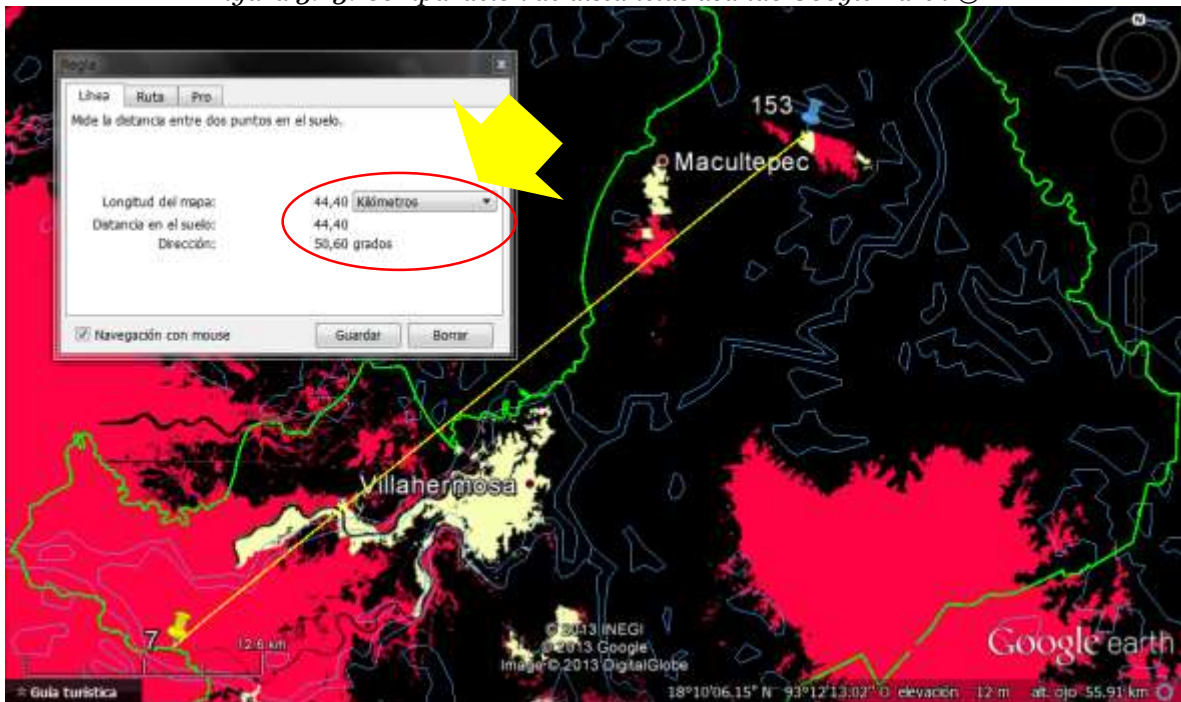
$$D = R\alpha = 2R \sin^{-1}\left(\sqrt{\text{haversin } \alpha}\right)$$

Se debe tomar en cuenta que el argumento a la función haversine debe darse en radianes y considerar el radio medio de la tierra como de $R = 6,378$ km.

Con el fin de comprobar la efectividad de este método para obtener las distancias entre los puntos mencionados se realizó una serie de comparaciones las cuales consistieron en medir la distancia entre el AGEB 153 y el albergue 7, se eligieron estos puntos por ser unos de los que poseen la mayor distancia entre sí.

El primer método fue ubicar los puntos referidos en el Software Google Earth® y obtener su distancia. Esta serie de procedimientos se aprecia en la *figura 3.23* y en donde se estima que para este caso la distancia es de 44.40 km.

Figura 3.23: Comparación de distancias usando Google Earth ®



Fuente: elaboración propia

El segundo procedimiento es el referido a la fórmula de haversin, la cual está representada por la *tabla 3.4* dada en kilómetros; y cuyo resultado es de 44.45 km

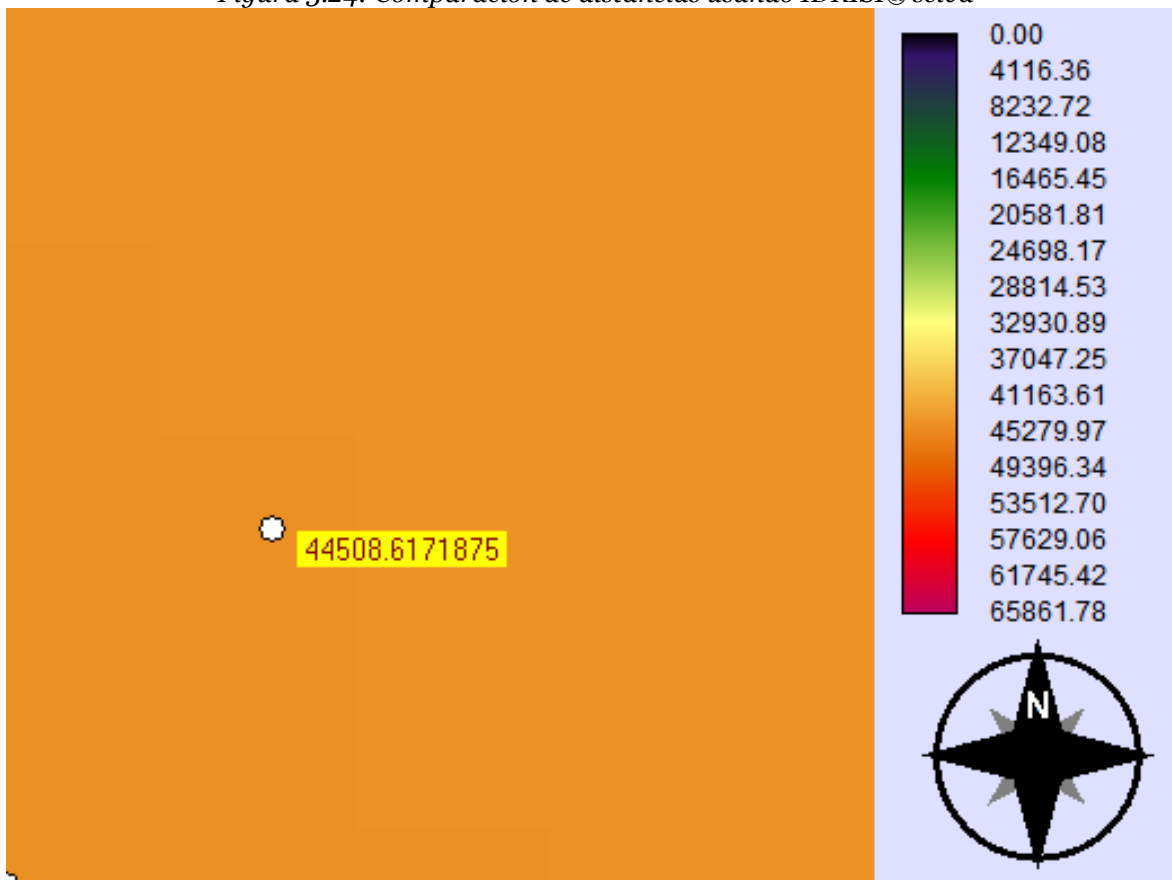
Tabla 3.4: Comparación de distancias usando la fórmula de haversin

AGEB	ID	ALBERGUE							
		Capacidad en [Personas]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
150
...
...	36.27	36.46	41.74
153	34.05	36.33	36.50	41.78	44.45	42.70	...

Fuente: elaboración propia

El último procedimiento consistió en obtener las distancias euclidianas en IDRISI selva ® del AGEB 153 y agregar la capa de los albergues. El resultado se aprecia en la *figura 3.24* la cual se hizo un acercamiento con el fin de visualizar mejor el punto a en cuestión. Cabe señalar que las distancias se dan en una escala de colores, sin embargo, es posible conocer de manera puntual el elemento seleccionado, para este caso se aprecia en el recuadro amarillo de la figura indicada, cuyas unidades están en metros, por lo que al convertir las unidades a kilómetros da como resultado 44.51 km.

Figura 3.24: Comparación de distancias usando IDRISI® selva



Fuente: elaboración propia

Al considerar estos tres métodos, resulta que el obtenido por el método de la fórmula de haversin se obtiene una buena aproximación si se compara con el obtenido con IDRISI®, el cual considera datos “reales” de la forma de la Tierra por las razones ya mencionadas en el primer capítulo de esta investigación. Y se puede considerar más rápido que este último método.

3.5 Interface SIG-Modelo de Optimización

Se estableció en capítulos anteriores que un SIG aplicado a inundaciones es una poderosa herramienta *per se* para obtener información y tomar decisiones a partir de mapas; sin embargo esa información debe ser complementada con algún método externo, y al respecto diversos autores, entre ellos (Astudillo, 2011) y de manera similar las investigaciones de (Gaytán y Rodríguez, 2012), quienes como datos de entrada para alimentar un modelo de optimización; consideran los albergues y centros de distribución candidatos para varios escenarios, además; toman en cuenta la conectividad.

Entre las restricciones que estos autores suponen se encuentran: las capacidades tanto de los albergues como de los centros de distribución de ayuda y de los modos de transporte, costos; distancias entre centros de distribución de ayuda-albergue y AGEB-albergue.

En la presente investigación se proporcionará sólo algunos datos de entrada que necesita un modelo de optimización y que pueden generarse a partir de una herramienta SIG los cuales pueden enumerarse de la siguiente manera:

1. Albergues seguros disponibles candidatos para cada escenario propuesto
2. Centros de distribución de ayuda candidatos para cada escenario propuesto
3. Matriz de distancia AGEB-albergue
4. Matriz de distancia CDA-albergue

Si bien las distancias de las matrices mencionadas arriba son euclidianas, poseen una valiosa pieza de información para el modelo de optimización, puesto que proporciona de manera general y relativamente rápida las distancia de los pares origen destino, una vez conocidos los pares origen-destino; se tendría que complementar con otra interface que involucre la conectividad para cada uno de los escenarios, para esto será necesario las vialidades generadas y un sistema que tome en cuenta el ancho de las arterias y el sentido de las mismas como TransCAD, asunto que queda fuera de los objetivos de este trabajo pero que se puede tomar en cuenta para futuras investigaciones.

En este tercer capítulo se clasificaron los cinco tipos de vivienda de una casa de acuerdo al menaje de la misma, además se definieron los escenarios utilizado tres tirantes en esta investigación y se da una breve explicación por qué se eligieron los tirantes señalados

Se construyeron cada uno de los mapas; a saber, mapa de inundación, mapa de AGEB seguras, mapa de conectividad y mapa de albergues seguros, esto para cada uno de los tirantes propuestos. Asimismo, con la ayuda del mapa de AGEB seguras se estima el número de afectados esto se hace para cada una de dichas AGEB, el cual si se compara con los datos de 2007 se llega a la conclusión de que la evaluación es efectiva usando este método.

Con la información obtenida a partir de los mapas elaborados, se hace un análisis para el caso en estudio en donde se llega a la conclusión de que al no tomarse las medidas pertinentes se estaría llegando a un desastre como el en 2007; sin embargo, en la actualidad ya se están o estarán por llevarse a cabo las obras de infraestructura establecidas por el PHIT.

Se construyeron tanto la matriz de distancia AGEB-albergue como la matriz CDA-albergue mediante la fórmula haversin el cual considera los puntos en coordenadas geográficas; es decir, supone que la Tierra es una esfera perfecta y como se estableció en el primer capítulo esto no es completamente cierto; sin embargo, este método posee una muy buena aproximación si se compara con otros métodos para la obtención de distancias, estas comparaciones se incluyen en este capítulo y dan como resultado que el error entre el método usando la fórmula citada y usando el software IDRISI® es del orden de tan sólo del 0.0000941% con respecto al radio de la Tierra.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación de los SIG como herramienta para el manejo de las emergencias debidas a una inundación, mejora significativamente la calidad del análisis de las evaluaciones e incluso estima el número de damnificados con gran confiabilidad; de esta forma ayuda a los tomadores de decisiones en la elección de medidas de mitigación e incluso en la implementación de acciones de preparativos y respuesta a la emergencia.

En este trabajo se hizo una mejora significativa a las investigaciones previas para el mismo caso en estudio, al utilizar mapas más actualizados obtenidos con la tecnología LiDAR brindando con una resolución mucho más fina; siendo esta de 5 m, estos mapas digitales ya disponibles en el mercado a partir del 1 de enero del 2013 para todo público.

La mayoría de la información está disponible a nivel nacional como la cantidad de habitantes por AGEB que puede consultarse vía *online* por medio de INEGI para cada uno de los municipios que conforman la república, así mismo los mapas digitales de dichas AGEB. Del mismo modo, la base de datos de los albergues y centros de distribución de ayuda es necesario solicitarla directamente en la centro de Protección Civil del estado donde se pretenda realizar el estudio.

Aunque se proporcione la base de datos de los albergues y centros de distribución es necesario una inspección *in situ* de los espacios para cotejar que efectivamente corresponda con la información dada por la entidad gubernamental. En este trabajo la información proporcionada fue cotejada mediante una visita realizada ex profeso.

En particular Protección Civil del Estado de Tabasco manifestó la existencia de 107 edificios que cumplían con la normativa para considerarse como albergues; sin embargo, de esos 107 posibles albergues después de la visita al sitio se redujo esa lista a 16, con los que se trabajó en la presente investigación. De igual modo se hizo con los centros de distribución, en los cuales antes del filtrado de información se contabilizaban 5 centros que posteriormente quedaron en 3.

El proceso de depuración mencionado para los albergues consistió en lo siguiente: debido a que la información contenía datos que se manifestaban como distintos pero que su localización era la misma; es decir, se nombraban 107 albergues pero en algunos casos su localización resultaba que era la misma para otros, en otras palabras no era posible distinguirlos geográficamente porque los puntos coincidían o se empalmaban. Así, de los 107 se obtuvieron de este primer filtro 29 albergues diferentes geográficamente hablando. El segundo filtro consistió en descartar aquellos albergues localizados en sitios inundados según los mapas elaborados y que como resultado quedaron finalmente 16. Así mismo, se optó por sumar las

capacidades de los albergues que tuvieran la misma localización, considerando que se trataban de puntos en común para los albergues geográficamente iguales.

La interface entre los SIG y el modelo de optimización se realizó utilizando archivos en extensión .xls, los cuales pueden ser leídos directamente por los lenguajes algebraicos de optimización.

Finalmente, se manifiesta que debido a la dinámica natural de las ciudades y de las políticas gubernamentales, es preciso la constante actualización de la información recabada y de la generada a partir del SIG; en este sentido, se propone realizar una actualización cada 5 años, en concordancia con los Conteos y Censos de Población y Vivienda. Así mismo, tomando en cuenta que la información adquirida de INEGI y utilizada en esta investigación fue únicamente de las zonas urbanas, se deberá considerar la población suburbana y rural que para la zona en estudio en su conjunto suman 157,602 habitantes, cantidad que debería tomarse en cuenta para futuras investigaciones por ser una población altamente vulnerable por el hecho de que se tiene un difícil acceso a dichas zonas y no cuentan la mayoría de estas con los servicios básicos de infraestructura vial o cualquier otra que pudiera servir para su evacuación.

ANEXO 1

Relación de población y localización de cada AGEB para el municipio Centro, Tabasco.

Clave AGEB	ID	POB TOTAL	LAT	LONG
2700401662325	1	1369	17°50'29.18"N	92°54'58.09"O
2700401662128	2	260	17°50'36.62"N	92°54'49.89"O
2700401662310	3	2157	17°50'37.17"N	92°55'21.95"O
2700401662306	4	3085	17°50'57.59"N	92°55'52.14"O
2700401662471	5	3731	17°51'14.4"	92°55'37.80"O
2700401662522	6	1028	17°51'41.49"N	92°55'53.48"O
2700401662467	7	3037	17°51'44.04"N	92°55'38.33"O
2700401662452	8	1857	17°51'51.00"N	92°55'57.63"O
2700401661806	9	1225	17°51'54.49"N	92°55'19.66"O
2700401662217	10	259	17°51'56.09"N	92°55'7.08"O
2700401661967	11	3577	17°51'57.92"N	92°55'46.25"O
2700401662518	12	308	17°52'15.63"N	92°55'57.49"O
2700401231007	13	6083	17°52'36.64"N	93° 4'14.42"O
2700402641859	14	3077	17°52'41.03"N	92°55'30.75"O
2700402642490	15	5066	17°52'42.20"N	92°55'12.05"O
2700402642486	16	2824	17°53'2.61"N	92°55'20.69"O
2700401451420	17	850	17°54'18.57"N	92°55'11.90"O
2700402062429	18	2534	17°54'20.71"N	92°55'46.14"O
2700401450969	19	2486	17°54'40.83"N	92°54'53.53"O
2700402062414	20	3104	17°54'47.47"N	92°55'58.69"O
2700401452113	21	2793	17°54'55.42"N	92°54'32.90"O
270040146240A	22	765	17°55'13.31"N	92°54'22.89"O
2700401451721	23	3535	17°55'14.34"N	92°55'10.49"O
2700401462397	24	3564	17°55'28.45"N	92°54'35.91"O
2700401462382	25	1439	17°55'46.26"N	92°54'56.70"O
2700401601844	26	6726	17°57'4.74"N	92°59'1.23"O
2700400011153	27	2716	17°57'6.51"N	92°57'17.50"O
2700400012151	28	5500	17°57'24.52"N	92°56'42.09"O
2700400012255	29	3906	17°57'25.04"N	93° 1'5.21"O
2700400012185	30	1169	17°57'31.94"N	93° 0'0.79"O
2700400011596	31	7815	17°57'45.04"N	93° 0'17.71"O
2700400012344	32	3443	17°57'48.31"N	92°56'15.14"O
2700400012560	33	2319	17°57'53.08"N	92°54'7.43"O
2700400651825	34	5627	17°57'56.13"N	93° 3'18.32"O
2700400011100	35	6046	17°57'57.65"N	92°57'32.76"O
2700400011149	36	3442	17°57'58.03"N	92°57'7.07"O
2700400012359	37	708	17°58'0.22"N	92°56'48.52"O
270040001226A	38	38	17°58'2.00"N	92°59'33.21"O
2700400011115	39	2430	17°58'3.50"N	92°57'23.10"O
2700400011929	40	4864	17°58'6.38"N	92°54'27.94"O

Relación de población y localización de cada AGEB para el municipio Centro, Tabasco (continuación).

Clave AGEB	ID	POB TOTAL	LAT	LONG
2700400010899	41	5979	17°58'9.72"N	92°57'59.66"O
2700400011505	42	2858	17°58'9.76"N	92°55'35.55"O
2700400012202	43	3989	17°58'10.24"N	92°59'32.96"O
2700400012575	44	1989	17°58'10.68"N	92°53'51.98"O
2700400342503	45	34	17°58'14.24"N	93° 0'27.16"O
2700400012541	46	375	17°58'14.26"N	92°58'55.00"O
2700400011134	47	2647	17°58'18.92"N	92°57'4.37"O
2700400010244	48	4359	17°58'20.41"N	92°57'21.53"O
2700400010884	49	4316	17°58'22.35"N	92°57'50.96"O
2700400341810	50	5119	17°58'23.02"N	93° 1'4.35"O
2700400011365	51	4925	17°58'24.48"N	92°58'49.15"O
2700400011172	52	3184	17°58'25.86"N	92°56'40.30"O
2700400011685	53	212	17°58'26.89"N	92°59'10.45"O
2700400010846	54	3272	17°58'26.93"N	92°55'18.43"O
2700400011647	55	1715	17°58'27.63"N	92°57'0.41"O
2700400011914	56	2570	17°58'27.75"N	92°54'31.76"O
2700400011933	57	997	17°58'28.86"N	92°54'17.52"O
270040001219A	58	3195	17°58'31.19"N	92°59'19.51"O
270040001087A	59	8090	17°58'33.59"N	92°57'40.97"O
2700400011492	60	6712	17°58'34.64"N	92°55'57.24"O
2700400011632	61	1901	17°58'38.46"N	92°57'3.10"O
2700400011308	62	2507	17°58'40.12"N	92°57'20.36"O
2700400011346	63	4585	17°58'40.47"N	92°54'36.47"O
270040001169A	64	3254	17°58'40.76"N	92°58'51.41"O
2700400011098	65	7036	17°58'43.74"N	92°58'19.26"O
2700400011295	66	4903	17°58'46.16"N	92°54'58.39"O
2700400011331	67	3312	17°58'46.81"N	92°54'22.84"O
2700400010850	68	3568	17°58'47.40"N	92°57'39.37"O
2700400011312	69	1797	17°58'48.91"N	92°57'10.89"O
2700400010831	70	5005	17°58'49.64"N	92°56'33.35"O
2700400011280	71	4922	17°58'51.67"N	92°55'12.10"O
2700400010920	72	4116	17°58'52.30"N	92°54'43.36"O
2700400010827	73	4117	17°58'58.90"N	92°57'6.30"O
270040001016A	74	7881	17°58'59.34"N	92°55'32.66"O
2700400011327	75	3661	17°59'1.93"N	92°54'26.30"O
2700400011083	76	8235	17°59'2.57"N	92°57'45.20"O
2700400010812	77	6631	17°59'7.07"N	92°55'54.77"O
2700400011276	78	3271	17°59'7.99"N	92°54'57.14"O
2700400010808	79	1662	17°59'12.12"N	92°56'31.88"O
2700400011261	80	1009	17°59'14.10"N	92°55'12.41"O

Relación de población y localización de cada AGEB para el municipio Centro, Tabasco (continuación).

Clave AGEB	ID	POB TOTAL	LAT	LONG
2700400010776	81	3949	17°59'18.89"N	92°55'27.45"O
2700400010140	82	7408	17°59'20.30"N	92°56'12.39"O
2700400011558	83	3979	17°59'27.26"N	92°57'21.62"O
2700400010916	84	5779	17°59'27.88"N	92°57'0.74"O
2700400011562	85	4418	17°59'30.29"N	92°57'51.06"O
2700400010761	86	2883	17°59'31.13"N	92°55'18.02"O
2700400010136	87	1149	17°59'31.95"N	92°55'0.77"O
2700400011488	88	3871	17°59'36.63"N	92°55'47.39"O
2700400011257	89	5316	17°59'36.93"N	92°54'43.67"O
2700400010102	90	3873	17°59'38.16"N	92°56'25.18"O
2700400011473	91	3100	17°59'38.69"N	92°55'31.46"O
2700400011242	92	3657	17°59'45.89"N	92°54'24.26"O
2700400010723	93	1050	17°59'49.26"N	92°54'56.07"O
270040001009A	94	3397	17°59'53.24"N	92°55'23.59"O
2700400010742	95	3679	17°59'53.83"N	92°57'25.04"O
2700400011577	96	1264	17°59'54.20"N	92°56'46.69"O
2700400010085	97	2266	17°59'55.96"N	92°56'1.61"O
2700400011539	98	1085	18° 0'6.01"N	92°54'44.40"O
2700400010719	99	7231	18° 0'6.47"N	92°54'22.69"O
2700400011238	100	2953	18° 0'7.90"N	92°57'11.61"O
2700400010051	101	1712	18° 0'12.22"N	92°56'15.79"O
2700400011581	102	2546	18° 0'13.97"N	92°56'34.93"O
2700400011543	103	2483	18° 0'19.44"N	92°55'5.37"O
2700400011948	104	4	18° 0'26.47"N	92°57'51.35"O
2700400011223	105	1361	18° 0'12.22"N	92°56'15.79"O
2700400011613	106	1510	18° 0'13.97"N	92°56'34.93"O
2700400010047	107	1649	18° 0'19.44"N	92°55'5.37"O
2700400011079	108	2087	18° 0'26.47"N	92°57'51.35"O
270040001105A	109	6238	18° 0'45.91"N	92°54'26.23"O
2700400011628	110	3203	18° 0'55.50"N	92°56'24.31"O
2700400011670	111	2340	18° 0'59.18"N	92°53'52.19"O
2700400010687	112	3205	18° 1'2.05"N	92°57'5.61"O
270040001190A	113	5991	18° 1'3.49"N	92°55'9.93"O
2700400010634	114	3569	18° 1'16.96"N	92°53'51.12"O
2700400010013	115	9181	18° 1'18.29"N	92°55'34.71"O
2700400011524	116	3086	18° 1'19.29"N	92°54'13.10"O
2700400011204	117	2994	18° 1'20.41"N	92°54'1.30"O
2700400012170	118	4930	18° 1'29.79"N	92°55'4.82"O
2700400011219	119	3003	18° 1'33.47"N	92°53'55.57"O
2700400011191	120	2480	18° 1'34.44"N	92°54'8.68"O

Relación de población y localización de cada AGEB para el municipio Centro, Tabasco (continuación).

Clave AGEB	ID	POB TOTAL	LAT	LONG
2700400010511	121	4578	18° 1'39.73"N	92°56'16.67"O
2700400012166	122	3426	18° 1'41.89"N	92°54'51.03"O
2700400011187	123	2418	18° 1'44.26"N	92°54'5.28"O
2700400011666	124	5584	18° 1'49.00"N	92°53'48.78"O
2700400012274	125	2993	18° 1'52.14"N	92°53'29.00"O
270040001151A	126	3043	18° 1'58.70"N	92°54'26.77"O
2700400012236	127	3079	18° 2'7.71"N	92°53'53.42"O
2700400012221	128	3354	18° 2'23.06"N	92°53'56.01"O
2700400012240	129	70	18° 2'34.71"N	92°54'13.71"O
270040134183A	130	5520	18° 3'36.05"N	92°52'38.76"O
2700402582556	131	2721	18° 4'25.12"N	92°52'22.22"O
2700402512096	132	3012	18° 6'41.20"N	92°52'7.32"O
2700402512448	133	107	18° 6'49.08"N	92°52'2.54"O
2700402512132	134	544	18° 6'53.35"N	92°52'10.38"O
2700402512433	135	1012	18° 7'2.44"N	92°52'8.96"O
2700402142081	136	968	18° 7'13.89"N	92°51'30.87"O
2700402142077	137	947	18° 7'21.91"N	92°51'20.78"O
2700402142062	138	1010	18° 7'21.98"N	92°51'33.80"O
2700402142058	139	1421	18° 7'23.03"N	92°51'46.97"O
2700402142043	140	1257	18° 7'42.30"N	92°51'37.59"O
2700402142024	141	3905	18° 7'49.68"N	92°52'8.77"O
2700402142039	142	1609	18° 7'55.88"N	92°51'52.92"O
270040214201A	143	2875	18° 8'3.73"N	92°51'20.26"O
2700402142537	144	62	18° 8'12.37"N	92°52'18.65"O
2700402142005	145	4258	18° 8'22.44"N	92°51'56.22"O
2700401761990	146	3826	18° 8'45.89"N	92°51'26.79"O
2700400611717	147	3005	18° 8'48.45"N	92°45'0.58"O
2700400622378	148	2119	18° 9'5.42"N	92°45'16.65"O
2700401831789	149	21	18° 9'7.51"N	92°46'54.66"O
2700401761986	150	2659	18° 9'11.61"N	92°51'38.63"O
2700401830653	151	3698	18° 9'22.48"N	92°47'5.33"O
2700401832363	152	135	18° 9'32.92"N	92°46'48.99"O
2700401830649	153	4970	18° 9'47.64"N	92°47'2.68"O

ANEXO 2

Número de personas damnificadas para un tirante de 80 cm por AGEB

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 1		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=0.8m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS habitantes
1	2700401662325	1369	0.251	5447	0.251	0.000	0
2	2700401662128	260	0.148	1757	0.148	0.000	0
3	2700401662310	2157	0.938	2300	0.938	0.000	0
4	2700401662306	3085	0.785	3930	0.785	0.000	0
5	2700401662471	3731	0.755	4942	0.751	0.004	22
6	2700401662522	1028	0.217	4746	0.212	0.004	21
7	2700401662467	3037	0.919	3306	0.919	0.000	0
8	2700401662452	1857	0.155	12008	0.152	0.002	27
9	2700401661806	1225	0.678	1807	0.678	0.000	0
10	2700401662217	259	0.041	6336	0.041	0.000	0
11	2700401661967	3577	0.294	12173	0.294	0.000	0
12	2700401662518	308	0.034	9119	0.034	0.000	0
13	2700401231007	6083	2.030	2996	2.030	0.000	0
14	2700402641859	3077	0.318	9691	0.318	0.000	0
15	2700402642490	5066	0.460	11007	0.459	0.001	10
16	2700402642486	2824	0.518	5449	0.518	0.000	0
17	2700401451420	850	0.368	2310	0.308	0.060	139
18	2700402062429	2534	1.268	1999	1.260	0.007	15
19	2700401450969	2486	0.391	6353	0.391	0.000	0
20	2700402062414	3104	1.015	3059	0.886	0.129	395
21	2700401452113	2793	0.780	3579	0.780	0.000	0
22	270040146240A	765	0.437	1749	0.437	0.000	0
23	2700401451721	3535	1.805	1959	1.230	0.575	1127
24	2700401462397	3564	0.712	5003	0.688	0.025	124
25	2700401462382	1439	0.624	2306	0.392	0.232	535
26	2700401601844	6726	3.369	1997	3.365	0.003	7
27	2700400011153	2716	3.208	847	3.135	0.073	62
28	2700400012151	5500	1.189	4626	1.189	0.000	0
29	2700400012255	3906	0.234	16694	0.234	0.000	0
30	2700400012185	1169	0.111	10494	0.111	0.000	0
31	2700400011596	7815	2.144	3645	2.144	0.000	0
32	2700400012344	3443	3.016	1141	2.991	0.025	29
33	2700400012560	2319	0.468	4952	0.421	0.047	235
34	2700400651825	5627	6.795	828	6.795	0.000	0
35	2700400011100	6046	0.658	9184	0.658	0.000	3
36	2700400011149	3442	0.592	5813	0.592	0.000	0
37	2700400012359	708	0.165	4287	0.165	0.000	0
38	270040001226A	38	0.003	11259	0.003	0.000	0
39	2700400011115	2430	0.140	17320	0.140	0.000	0
40	2700400011929	4864	0.832	5848	0.770	0.062	363
41	2700400010899	5979	0.557	10732	0.555	0.002	22
42	2700400011505	2858	0.841	3396	0.833	0.009	30
43	2700400012202	3989	0.354	11273	0.354	0.000	0
44	2700400012575	1989	0.828	2403	0.783	0.045	108
45	2700400342503	34	0.034	1002	0.034	0.000	0
46	2700400012541	375	0.020	18892	0.020	0.000	0
47	2700400011134	2647	0.135	19564	0.135	0.000	0
48	2700400010244	4359	0.313	13921	0.313	0.000	0
49	2700400010884	4316	0.287	15036	0.287	0.000	0
50	2700400341810	5119	2.347	2181	2.347	0.000	0
51	2700400011365	4925	0.323	15234	0.323	0.000	0
52	2700400011172	3184	0.750	4243	0.750	0.000	0

Número de personas damnificadas para un tirante de 80 cm por AGEB (continuación)

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 1		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=0.8m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS habitantes
53	2700400011685	212	0.019	11056	0.019	0.000	0
54	2700400010846	3272	1.053	3107	0.962	0.091	282
55	2700400011647	1715	0.172	9997	0.172	0.000	0
56	2700400011914	2570	0.160	16045	0.160	0.000	0
57	2700400011933	997	0.085	11688	0.083	0.002	27
58	270040001219A	3195	0.798	4005	0.798	0.000	0
59	270040001087A	8090	0.368	21997	0.368	0.000	0
60	2700400011492	6712	0.807	8319	0.807	0.000	0
61	2700400011632	1901	0.236	8045	0.236	0.000	0
62	2700400011308	2507	0.270	9302	0.270	0.000	0
63	2700400011346	4585	0.255	17977	0.209	0.046	825
64	270040001169A	3254	0.619	5256	0.619	0.000	0
65	2700400011098	7036	1.144	6152	1.144	0.000	0
66	2700400011295	4903	0.425	11549	0.424	0.000	3
67	2700400011331	3312	0.257	12877	0.196	0.061	787
68	2700400010850	3568	0.303	11794	0.303	0.000	0
69	2700400011312	1797	0.093	19396	0.093	0.000	0
70	2700400010831	5005	0.969	5165	0.969	0.000	0
71	2700400011280	4922	0.277	17777	0.222	0.055	972
72	2700400010920	4116	0.283	14558	0.283	0.000	0
73	2700400010827	4117	0.327	12579	0.327	0.000	0
74	270040001016A	7881	0.833	9464	0.803	0.030	279
75	2700400011327	3661	0.211	17357	0.173	0.038	651
76	2700400011083	8235	1.424	5783	1.424	0.000	0
77	2700400010812	6631	0.590	11237	0.590	0.000	0
78	2700400011276	3271	0.409	8001	0.318	0.091	728
79	2700400010808	1662	0.559	2974	0.559	0.000	0
80	2700400011261	1009	0.183	5521	0.183	0.000	0
81	2700400010776	3949	0.222	17758	0.222	0.000	0
82	2700400010140	7408	0.635	11671	0.635	0.000	0
83	2700400011558	3979	0.211	18853	0.211	0.000	0
84	2700400010916	5779	1.056	5473	1.056	0.000	0
85	2700400011562	4418	0.984	4488	0.984	0.000	1
86	2700400010761	2883	0.265	10862	0.265	0.000	0
87	2700400010136	1149	0.339	3386	0.338	0.001	3
88	2700400011488	3871	0.460	8424	0.460	0.000	0
89	2700400011257	5316	0.349	15251	0.259	0.090	1373
90	2700400010102	3873	0.511	7587	0.511	0.000	0
91	2700400011473	3100	0.193	16096	0.193	0.000	0
92	2700400011242	3657	0.190	19232	0.190	0.000	0
93	2700400010723	1050	0.270	3889	0.270	0.000	2
94	270040001009A	3397	0.641	5302	0.589	0.052	274
95	2700400010742	3679	0.502	7322	0.502	0.000	1
96	2700400011577	1264	0.609	2076	0.609	0.000	0
97	2700400010085	2266	0.805	2815	0.805	0.000	0
98	2700400011539	1085	0.192	5664	0.192	0.000	0
99	2700400010719	7231	0.877	8245	0.877	0.000	0
100	2700400011238	2953	0.565	5224	0.565	0.000	0
101	2700400010051	1712	0.465	3680	0.465	0.000	0
102	2700400011581	2546	0.509	4998	0.509	0.000	2
103	2700400011543	2483	1.562	1590	1.121	0.441	701
104	2700400011948	4	0.910	4	0.910	0.000	0

Número de personas damnificadas para un tirante de 80 cm por AGEB (continuación)

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 1		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=0.8m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS habitantes
105	2700400011223	1361	0.855	1591	0.849	0.006	10
106	2700400011613	1510	0.172	8782	0.172	0.000	0
107	2700400010047	1649	1.262	1306	1.262	0.000	0
108	2700400011079	2087	0.706	2957	0.706	0.000	0
109	270040001105A	6238	2.559	2437	2.228	0.332	809
110	2700400011628	3203	1.094	2929	1.075	0.019	55
111	2700400011670	2340	0.243	9639	0.243	0.000	0
112	2700400010687	3205	0.747	4291	0.729	0.018	76
113	270040001190A	5991	1.215	4933	1.210	0.004	22
114	2700400010634	3569	0.219	16334	0.196	0.023	370
115	2700400010013	9181	1.506	6097	1.475	0.031	190
116	2700400011524	3086	0.528	5849	0.505	0.023	133
117	2700400011204	2994	0.155	19363	0.155	0.000	1
118	2700400012170	4930	0.306	16103	0.284	0.023	363
119	2700400011219	3003	0.199	15125	0.186	0.012	186
120	2700400011191	2480	0.113	22005	0.113	0.000	0
121	2700400010511	4578	2.825	1620	2.740	0.085	138
122	2700400012166	3426	0.551	6214	0.362	0.189	1177
123	2700400011187	2418	0.110	21937	0.110	0.000	0
124	2700400011666	5584	0.565	9875	0.368	0.197	1946
125	2700400012274	2993	0.815	3671	0.196	0.619	2274
126	270040001151A	3043	1.639	1856	1.617	0.023	42
127	2700400012236	3079	0.261	11811	0.254	0.007	79
128	2700400012221	3354	0.305	10998	0.303	0.002	22
129	2700400012240	70	0.555	126	0.541	0.014	2
130	270040134183A	5520	3.968	1391	2.794	1.174	1634
131	2700402582556	2721	0.426	6383	0.142	0.285	1817
132	2700402512096	3012	0.225	13387	0.225	0.000	0
133	2700402512448	107	0.065	1634	0.065	0.000	0
134	2700402512132	544	0.046	11871	0.046	0.000	2
135	2700402512433	1012	0.080	12583	0.076	0.005	60
136	2700402142081	968	0.058	16639	0.058	0.000	0
137	2700402142077	947	0.129	7360	0.114	0.015	110
138	2700402142062	1010	0.065	15515	0.065	0.000	0
139	2700402142058	1421	0.166	8550	0.166	0.000	0
140	2700402142043	1257	0.883	1424	0.860	0.023	33
141	2700402142024	3905	0.907	4303	0.771	0.137	588
142	2700402142039	1609	0.223	7226	0.223	0.000	0
143	270040214201A	2875	1.009	2849	0.457	0.552	1572
144	2700402142537	62	0.046	1348	0.038	0.008	11
145	2700402142005	4258	0.810	5256	0.779	0.031	165
146	2700401761990	3826	1.084	3531	0.461	0.623	2199
147	2700400611717	3005	0.696	4319	0.333	0.363	1568
148	2700400622378	2119	0.436	4857	0.277	0.159	773
149	2700401831789	21	0.005	4158	0.005	0.000	0
150	2700401761986	2659	1.517	1753	0.543	0.973	1706
151	2700401830653	3698	0.670	5521	0.640	0.029	163
152	2700401832363	135	0.078	1739	0.078	0.000	0
153	2700401830649	4970	0.715	6954	0.485	0.229	1594
	SUMA	482,757	106		97		32,075

Número de personas damnificadas para un tirante de 2 m por AGEB.

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 2		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=2m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS Habitantes
1	2700401662325	1369	0.251	5447	0.251	0.000	0
2	2700401662128	260	0.148	1757	0.148	0.000	0
3	2700401662310	2157	0.938	2300	0.938	0.000	0
4	2700401662306	3085	0.785	3930	0.783	0.002	9
5	2700401662471	3731	0.755	4942	0.744	0.011	53
6	2700401662522	1028	0.217	4746	0.207	0.010	47
7	2700401662467	3037	0.919	3306	0.917	0.002	6
8	2700401662452	1857	0.155	12008	0.132	0.023	272
9	2700401661806	1225	0.678	1807	0.635	0.042	77
10	2700401662217	259	0.041	6336	0.041	0.000	0
11	2700401661967	3577	0.294	12173	0.293	0.001	10
12	2700401662518	308	0.034	9119	0.034	0.000	0
13	2700401231007	6083	2.030	2996	2.030	0.000	0
14	2700402641859	3077	0.318	9691	0.318	0.000	0
15	2700402642490	5066	0.460	11007	0.437	0.024	261
16	2700402642486	2824	0.518	5449	0.518	0.000	0
17	2700401451420	850	0.368	2310	0.267	0.101	234
18	2700402062429	2534	1.268	1999	1.223	0.045	89
19	2700401450969	2486	0.391	6353	0.384	0.007	46
20	2700402062414	3104	1.015	3059	0.751	0.264	807
21	2700401452113	2793	0.780	3579	0.757	0.023	82
22	270040146240A	765	0.437	1749	0.431	0.007	11
23	2700401451721	3535	1.805	1959	0.925	0.880	1724
24	2700401462397	3564	0.712	5003	0.681	0.032	158
25	2700401462382	1439	0.624	2306	0.284	0.340	784
26	2700401601844	6726	3.369	1997	3.242	0.126	253
27	2700400011153	2716	3.208	847	2.756	0.452	383
28	2700400012151	5500	1.189	4626	1.001	0.189	872
29	2700400012255	3906	0.234	16694	0.234	0.000	0
30	2700400012185	1169	0.111	10494	0.111	0.000	0
31	2700400011596	7815	2.144	3645	2.144	0.000	1
32	2700400012344	3443	3.016	1141	2.713	0.303	346
33	2700400012560	2319	0.468	4952	0.250	0.218	1079
34	2700400651825	5627	6.795	828	6.795	0.000	0
35	2700400011100	6046	0.658	9184	0.657	0.002	17
36	2700400011149	3442	0.592	5813	0.592	0.000	0
37	2700400012359	708	0.165	4287	0.165	0.000	0
38	270040001226A	38	0.003	11259	0.003	0.000	0
39	2700400011115	2430	0.140	17320	0.140	0.000	0
40	2700400011929	4864	0.832	5848	0.450	0.381	2230
41	2700400010899	5979	0.557	10732	0.549	0.008	88
42	2700400011505	2858	0.841	3396	0.828	0.013	46
43	2700400012202	3989	0.354	11273	0.354	0.000	0
44	2700400012575	1989	0.828	2403	0.347	0.481	1156
45	2700400342503	34	0.034	1002	0.034	0.000	0
46	2700400012541	375	0.020	18892	0.020	0.000	0
47	2700400011134	2647	0.135	19564	0.135	0.000	0
48	2700400010244	4359	0.313	13921	0.313	0.000	0
49	2700400010884	4316	0.287	15036	0.287	0.000	0
50	2700400341810	5119	2.347	2181	2.347	0.000	0
51	2700400011365	4925	0.323	15234	0.323	0.000	0
52	2700400011172	3184	0.750	4243	0.750	0.000	0

Número de personas damnificadas para un tirante de 2 m por AGEB (continuación)

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 2		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=2m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS Habitantes
53	2700400011685	212	0.019	11056	0.019	0.000	0
54	2700400010846	3272	1.053	3107	0.737	0.316	981
55	2700400011647	1715	0.172	9997	0.172	0.000	0
56	2700400011914	2570	0.160	16045	0.097	0.063	1007
57	2700400011933	997	0.085	11688	0.023	0.062	729
58	270040001219A	3195	0.798	4005	0.798	0.000	0
59	270040001087A	8090	0.368	21997	0.368	0.000	0
60	2700400011492	6712	0.807	8319	0.807	0.000	0
61	2700400011632	1901	0.236	8045	0.236	0.000	0
62	2700400011308	2507	0.270	9302	0.270	0.000	0
63	2700400011346	4585	0.255	17977	0.065	0.190	3414
64	270040001169A	3254	0.619	5256	0.619	0.000	0
65	2700400011098	7036	1.144	6152	1.144	0.000	0
66	2700400011295	4903	0.425	11549	0.350	0.074	860
67	2700400011331	3312	0.257	12877	0.061	0.196	2523
68	2700400010850	3568	0.303	11794	0.303	0.000	0
69	2700400011312	1797	0.093	19396	0.093	0.000	0
70	2700400010831	5005	0.969	5165	0.969	0.000	0
71	2700400011280	4922	0.277	17777	0.214	0.062	1110
72	2700400010920	4116	0.283	14558	0.223	0.060	869
73	2700400010827	4117	0.327	12579	0.327	0.000	0
74	270040001016A	7881	0.833	9464	0.707	0.126	1188
75	2700400011327	3661	0.211	17357	0.030	0.181	3139
76	2700400011083	8235	1.424	5783	1.424	0.000	0
77	2700400010812	6631	0.590	11237	0.590	0.000	0
78	2700400011276	3271	0.409	8001	0.225	0.184	1475
79	2700400010808	1662	0.559	2974	0.559	0.000	0
80	2700400011261	1009	0.183	5521	0.178	0.005	28
81	2700400010776	3949	0.222	17758	0.220	0.003	47
82	2700400010140	7408	0.635	11671	0.635	0.000	0
83	2700400011558	3979	0.211	18853	0.209	0.002	45
84	2700400010916	5779	1.056	5473	1.056	0.000	0
85	2700400011562	4418	0.984	4488	0.944	0.040	181
86	2700400010761	2883	0.265	10862	0.231	0.035	375
87	2700400010136	1149	0.339	3386	0.334	0.005	17
88	2700400011488	3871	0.460	8424	0.459	0.000	1
89	2700400011257	5316	0.349	15251	0.195	0.154	2344
90	2700400010102	3873	0.511	7587	0.511	0.000	0
91	2700400011473	3100	0.193	16096	0.143	0.050	798
92	2700400011242	3657	0.190	19232	0.064	0.126	2431
93	2700400010723	1050	0.270	3889	0.215	0.055	216
94	270040001009A	3397	0.641	5302	0.273	0.367	1948
95	2700400010742	3679	0.502	7322	0.446	0.057	416
96	2700400011577	1264	0.609	2076	0.607	0.002	5
97	2700400010085	2266	0.805	2815	0.805	0.000	0
98	2700400011539	1085	0.192	5664	0.152	0.040	226
99	2700400010719	7231	0.877	8245	0.617	0.260	2147
100	2700400011238	2953	0.565	5224	0.562	0.003	15
101	2700400010051	1712	0.465	3680	0.465	0.000	0
102	2700400011581	2546	0.509	4998	0.506	0.003	16
103	2700400011543	2483	1.562	1590	0.347	1.215	1932
104	2700400011948	4	0.910	4	0.904	0.006	0

Número de personas damnificadas para un tirante de 2 m por AGEB (continuación)

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 2		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=2m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS Habitantes
105	2700400011223	1361	0.855	1591	0.796	0.059	94
106	2700400011613	1510	0.172	8782	0.172	0.000	0
107	2700400010047	1649	1.262	1306	1.262	0.000	0
108	2700400011079	2087	0.706	2957	0.706	0.000	0
109	270040001105A	6238	2.559	2437	0.864	1.695	4131
110	2700400011628	3203	1.094	2929	0.997	0.096	282
111	2700400011670	2340	0.243	9639	0.176	0.067	648
112	2700400010687	3205	0.747	4291	0.653	0.094	402
113	270040001190A	5991	1.215	4933	0.803	0.412	2031
114	2700400010634	3569	0.219	16334	0.045	0.174	2838
115	2700400010013	9181	1.506	6097	1.326	0.180	1097
116	2700400011524	3086	0.528	5849	0.405	0.122	715
117	2700400011204	2994	0.155	19363	0.038	0.117	2256
118	2700400012170	4930	0.306	16103	0.274	0.033	523
119	2700400011219	3003	0.199	15125	0.002	0.196	2968
120	2700400011191	2480	0.113	22005	0.006	0.107	2356
121	2700400010511	4578	2.825	1620	2.248	0.577	935
122	2700400012166	3426	0.551	6214	0.286	0.266	1651
123	2700400011187	2418	0.110	21937	0.005	0.105	2309
124	2700400011666	5584	0.565	9875	0.003	0.563	5556
125	2700400012274	2993	0.815	3671	0.026	0.789	2897
126	270040001151A	3043	1.639	1856	1.158	0.481	893
127	2700400012236	3079	0.261	11811	0.031	0.230	2715
128	2700400012221	3354	0.305	10998	0.035	0.270	2966
129	2700400012240	70	0.555	126	0.280	0.275	35
130	270040134183A	5520	3.968	1391	0.349	3.619	5035
131	2700402582556	2721	0.426	6383	0.000	0.426	2721
132	2700402512096	3012	0.225	13387	0.225	0.000	0
133	2700402512448	107	0.065	1634	0.064	0.001	2
134	2700402512132	544	0.046	11871	0.042	0.004	42
135	2700402512433	1012	0.080	12583	0.051	0.029	366
136	2700402142081	968	0.058	16639	0.058	0.000	0
137	2700402142077	947	0.129	7360	0.107	0.022	159
138	2700402142062	1010	0.065	15515	0.065	0.000	0
139	2700402142058	1421	0.166	8550	0.166	0.000	0
140	2700402142043	1257	0.883	1424	0.780	0.103	146
141	2700402142024	3905	0.907	4303	0.663	0.245	1053
142	2700402142039	1609	0.223	7226	0.223	0.000	0
143	270040214201A	2875	1.009	2849	0.341	0.668	1902
144	2700402142537	62	0.046	1348	0.021	0.025	33
145	2700402142005	4258	0.810	5256	0.755	0.055	287
146	2700401761990	3826	1.084	3531	0.360	0.723	2554
147	2700400611717	3005	0.696	4319	0.243	0.452	1953
148	2700400622378	2119	0.436	4857	0.249	0.188	912
149	2700401831789	21	0.005	4158	0.005	0.000	1
150	2700401761986	2659	1.517	1753	0.345	1.172	2054
151	2700401830653	3698	0.670	5521	0.533	0.137	758
152	2700401832363	135	0.078	1739	0.078	0.000	0
153	2700401830649	4970	0.715	6954	0.441	0.274	1902
	SUMA	482,757	106				103,800

Número de personas damnificadas para un tirante de 4 m por AGEB

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 3		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=4m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS Habitantes
1	2700401662325	1369	0.251	5447	0.251	0.000	0
2	2700401662128	260	0.148	1757	0.148	0.000	0
3	2700401662310	2157	0.938	2300	0.938	0.000	0
4	2700401662306	3085	0.785	3930	0.763	0.022	86
5	2700401662471	3731	0.755	4942	0.658	0.097	477
6	2700401662522	1028	0.217	4746	0.160	0.057	270
7	2700401662467	3037	0.919	3306	0.842	0.077	253
8	2700401662452	1857	0.155	12008	0.061	0.094	1128
9	2700401661806	1225	0.678	1807	0.518	0.160	289
10	2700401662217	259	0.041	6336	0.039	0.002	13
11	2700401661967	3577	0.294	12173	0.277	0.017	205
12	2700401662518	308	0.034	9119	0.028	0.006	57
13	2700401231007	6083	2.030	2996	1.924	0.106	318
14	2700402641859	3077	0.318	9691	0.316	0.002	18
15	2700402642490	5066	0.460	11007	0.365	0.095	1050
16	2700402642486	2824	0.518	5449	0.439	0.079	429
17	2700401451420	850	0.368	2310	0.095	0.273	630
18	2700402062429	2534	1.268	1999	0.772	0.496	991
19	2700401450969	2486	0.391	6353	0.333	0.059	372
20	2700402062414	3104	1.015	3059	0.347	0.668	2043
21	2700401452113	2793	0.780	3579	0.688	0.093	333
22	270040146240A	765	0.437	1749	0.285	0.153	267
23	2700401451721	3535	1.805	1959	0.427	1.378	2698
24	2700401462397	3564	0.712	5003	0.659	0.054	269
25	2700401462382	1439	0.624	2306	0.209	0.415	957
26	2700401601844	6726	3.369	1997	1.501	1.867	3728
27	2700400011153	2716	3.208	847	1.384	1.824	1544
28	2700400012151	5500	1.189	4626	0.578	0.611	2826
29	2700400012255	3906	0.234	16694	0.230	0.004	71
30	2700400012185	1169	0.111	10494	0.075	0.037	387
31	2700400011596	7815	2.144	3645	1.290	0.854	3114
32	2700400012344	3443	3.016	1141	1.557	1.460	1666
33	2700400012560	2319	0.468	4952	0.000	0.468	2318
34	2700400651825	5627	6.795	828	5.415	1.380	1143
35	2700400011100	6046	0.658	9184	0.582	0.076	697
36	2700400011149	3442	0.592	5813	0.592	0.000	0
37	2700400012359	708	0.165	4287	0.165	0.000	0
38	270040001226A	38	0.003	11259	0.003	0.000	0
39	2700400011115	2430	0.140	17320	0.140	0.000	0
40	2700400011929	4864	0.832	5848	0.000	0.832	4863
41	2700400010899	5979	0.557	10732	0.528	0.029	314
42	2700400011505	2858	0.841	3396	0.530	0.311	1057
43	2700400012202	3989	0.354	11273	0.347	0.007	76
44	2700400012575	1989	0.828	2403	0.000	0.828	1989
45	2700400342503	34	0.034	1002	0.000	0.034	34
46	2700400012541	375	0.020	18892	0.001	0.019	353
47	2700400011134	2647	0.135	19564	0.135	0.000	0
48	2700400010244	4359	0.313	13921	0.313	0.000	0
49	2700400010884	4316	0.287	15036	0.257	0.030	449
50	2700400341810	5119	2.347	2181	1.668	0.679	1481
51	2700400011365	4925	0.323	15234	0.230	0.093	1417
52	2700400011172	3184	0.750	4243	0.750	0.000	0

Número de personas damnificadas para un tirante de 4 m por AGEB (continuación)

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 3		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=4m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS Habitantes
53	2700400011685	212	0.019	11056	0.017	0.002	27
54	2700400010846	3272	1.053	3107	0.266	0.787	2446
55	2700400011647	1715	0.172	9997	0.172	0.000	0
56	2700400011914	2570	0.160	16045	0.000	0.160	2570
57	2700400011933	997	0.085	11688	0.000	0.085	997
58	270040001219A	3195	0.798	4005	0.454	0.344	1377
59	270040001087A	8090	0.368	21997	0.367	0.000	8
60	2700400011492	6712	0.807	8319	0.735	0.072	596
61	2700400011632	1901	0.236	8045	0.236	0.000	0
62	2700400011308	2507	0.270	9302	0.270	0.000	0
63	2700400011346	4585	0.255	17977	0.000	0.255	4585
64	270040001169A	3254	0.619	5256	0.458	0.161	846
65	2700400011098	7036	1.144	6152	0.874	0.270	1661
66	2700400011295	4903	0.425	11549	0.000	0.425	4903
67	2700400011331	3312	0.257	12877	0.000	0.257	3312
68	2700400010850	3568	0.303	11794	0.290	0.012	142
69	2700400011312	1797	0.093	19396	0.093	0.000	0
70	2700400010831	5005	0.969	5165	0.969	0.000	0
71	2700400011280	4922	0.277	17777	0.000	0.277	4919
72	2700400010920	4116	0.283	14558	0.000	0.283	4116
73	2700400010827	4117	0.327	12579	0.327	0.000	0
74	270040001016A	7881	0.833	9464	0.377	0.456	4316
75	2700400011327	3661	0.211	17357	0.000	0.211	3661
76	2700400011083	8235	1.424	5783	1.179	0.245	1417
77	2700400010812	6631	0.590	11237	0.590	0.000	0
78	2700400011276	3271	0.409	8001	0.001	0.408	3261
79	2700400010808	1662	0.559	2974	0.559	0.000	0
80	2700400011261	1009	0.183	5521	0.083	0.100	550
81	2700400010776	3949	0.222	17758	0.187	0.036	631
82	2700400010140	7408	0.635	11671	0.632	0.003	32
83	2700400011558	3979	0.211	18853	0.188	0.023	427
84	2700400010916	5779	1.056	5473	0.820	0.236	1294
85	2700400011562	4418	0.984	4488	0.521	0.463	2079
86	2700400010761	2883	0.265	10862	0.108	0.157	1706
87	2700400010136	1149	0.339	3386	0.010	0.330	1116
88	2700400011488	3871	0.460	8424	0.448	0.012	100
89	2700400011257	5316	0.349	15251	0.000	0.349	5316
90	2700400010102	3873	0.511	7587	0.464	0.046	349
91	2700400011473	3100	0.193	16096	0.044	0.149	2396
92	2700400011242	3657	0.190	19232	0.000	0.190	3657
93	2700400010723	1050	0.270	3889	0.002	0.268	1041
94	270040001009A	3397	0.641	5302	0.109	0.531	2817
95	2700400010742	3679	0.502	7322	0.193	0.309	2264
96	2700400011577	1264	0.609	2076	0.568	0.041	85
97	2700400010085	2266	0.805	2815	0.590	0.215	605
98	2700400011539	1085	0.192	5664	0.000	0.192	1085
99	2700400010719	7231	0.877	8245	0.000	0.877	7231
100	2700400011238	2953	0.565	5224	0.229	0.337	1759
101	2700400010051	1712	0.465	3680	0.411	0.054	199
102	2700400011581	2546	0.509	4998	0.446	0.063	315
103	2700400011543	2483	1.562	1590	0.115	1.447	2301
104	2700400011948	4	0.910	4	0.192	0.718	3

Número de personas damnificadas para un tirante de 4 m por AGEB (continuación)

DATOS ACTUALES					ESCENARIO 3		
ID	CVEGEO	POBLACIÓN Habitantes	ÁREA km2	DENSIDAD P. Hab/km2	AREA (t=4m) km2	AREA DAÑADA km2	DAMNIFICADOS Habitantes
105	2700400011223	1361	0.855	1591	0.129	0.727	1156
106	2700400011613	1510	0.172	8782	0.146	0.026	227
107	2700400010047	1649	1.262	1306	0.514	0.748	977
108	2700400011079	2087	0.706	2957	0.411	0.295	871
109	270040001105A	6238	2.559	2437	0.110	2.449	5970
110	2700400011628	3203	1.094	2929	0.165	0.929	2719
111	2700400011670	2340	0.243	9639	0.000	0.243	2340
112	2700400010687	3205	0.747	4291	0.085	0.662	2840
113	270040001190A	5991	1.215	4933	0.395	0.819	4042
114	2700400010634	3569	0.219	16334	0.000	0.219	3569
115	2700400010013	9181	1.506	6097	0.524	0.981	5983
116	2700400011524	3086	0.528	5849	0.000	0.528	3086
117	2700400011204	2994	0.155	19363	0.000	0.155	2994
118	2700400012170	4930	0.306	16103	0.054	0.253	4068
119	2700400011219	3003	0.199	15125	0.000	0.199	3003
120	2700400011191	2480	0.113	22005	0.000	0.113	2480
121	2700400010511	4578	2.825	1620	0.052	2.773	4494
122	2700400012166	3426	0.551	6214	0.000	0.551	3426
123	2700400011187	2418	0.110	21937	0.000	0.110	2418
124	2700400011666	5584	0.565	9875	0.000	0.565	5584
125	2700400012274	2993	0.815	3671	0.000	0.815	2993
126	270040001151A	3043	1.639	1856	0.001	1.639	3042
127	2700400012236	3079	0.261	11811	0.000	0.261	3079
128	2700400012221	3354	0.305	10998	0.000	0.305	3354
129	2700400012240	70	0.555	126	0.000	0.555	70
130	270040134183A	5520	3.968	1391	0.014	3.954	5500
131	2700402582556	2721	0.426	6383	0.000	0.426	2721
132	2700402512096	3012	0.225	13387	0.225	0.000	2
133	2700402512448	107	0.065	1634	0.057	0.008	13
134	2700402512132	544	0.046	11871	0.017	0.029	345
135	2700402512433	1012	0.080	12583	0.010	0.070	881
136	2700402142081	968	0.058	16639	0.006	0.052	864
137	2700402142077	947	0.129	7360	0.052	0.077	568
138	2700402142062	1010	0.065	15515	0.061	0.004	64
139	2700402142058	1421	0.166	8550	0.166	0.000	0
140	2700402142043	1257	0.883	1424	0.598	0.284	405
141	2700402142024	3905	0.907	4303	0.329	0.578	2488
142	2700402142039	1609	0.223	7226	0.220	0.003	19
143	270040214201A	2875	1.009	2849	0.194	0.815	2323
144	2700402142537	62	0.046	1348	0.000	0.046	62
145	2700402142005	4258	0.810	5256	0.605	0.205	1080
146	2700401761990	3826	1.084	3531	0.190	0.894	3155
147	2700400611717	3005	0.696	4319	0.119	0.576	2489
148	2700400622378	2119	0.436	4857	0.196	0.240	1168
149	2700401831789	21	0.005	4158	0.000	0.005	21
150	2700401761986	2659	1.517	1753	0.198	1.318	2311
151	2700401830653	3698	0.670	5521	0.396	0.274	1515
152	2700401832363	135	0.078	1739	0.078	0.000	0
153	2700401830649	4970	0.715	6954	0.358	0.357	2479
	SUMA	482,757	106				232,457

ANEXO 3

Matriz de distancias AGEB-albergue en kilómetros.

Capacidad	ALBERGUE							
	5498	544	248	44	185	100	22	244
ID	1	2	3	4	5	6	7	8
1	16.47	12.76	12.76	13.88	15.10	16.47	21.79	19.50
2	16.27	12.70	12.74	13.92	15.14	16.61	21.94	19.64
3	16.19	12.19	12.13	13.19	14.41	15.73	21.05	18.76
4	15.55	11.21	11.09	12.10	13.32	14.67	20.00	17.70
5	15.03	10.96	10.94	12.09	13.31	14.90	20.23	17.91
6	14.20	10.00	10.00	11.21	12.44	14.22	19.55	17.20
7	14.11	10.18	10.24	11.52	12.75	14.63	19.96	17.61
8	13.91	9.69	9.70	10.94	12.16	14.02	19.35	17.00
9	13.81	10.23	10.39	11.80	13.02	15.08	20.40	18.04
10	13.78	10.42	10.62	12.09	13.31	15.43	20.75	18.39
11	13.69	9.69	9.76	11.09	12.31	14.30	19.62	17.26
12	13.15	9.05	9.14	10.51	11.73	13.86	19.17	16.80
13	19.59	11.77	10.14	7.67	7.48	2.29	5.47	3.90
14	12.36	8.90	9.19	10.80	12.01	14.51	19.78	17.39
15	12.35	9.25	9.60	11.28	12.49	15.05	20.32	17.92
16	11.70	8.62	9.03	10.78	11.99	14.73	19.97	17.56
17	9.38	7.39	8.18	10.35	11.47	14.97	20.02	17.61
18	9.28	6.50	7.22	9.35	10.48	13.98	19.02	16.60
19	8.77	7.56	8.50	10.78	11.87	15.58	20.56	18.15
20	8.46	5.75	6.60	8.85	9.94	13.70	18.65	16.24
21	8.44	7.96	9.00	11.34	12.40	16.23	21.17	18.77
22	7.99	8.08	9.21	11.61	12.64	16.61	21.49	19.09
23	7.67	6.72	7.81	10.21	11.25	15.24	20.10	17.70
24	7.43	7.60	8.78	11.23	12.24	16.32	21.14	18.75
25	6.76	6.90	8.15	10.65	11.62	15.84	20.58	18.20
26	7.23	1.46	2.56	4.72	5.10	10.29	14.06	11.86
27	5.03	3.06	4.69	7.27	7.91	12.88	16.98	14.72
28	4.02	4.24	5.87	8.45	9.08	14.06	18.14	15.89
29	10.18	4.49	4.02	3.87	3.25	8.23	10.97	9.00
30	8.34	3.09	3.31	4.41	4.30	9.57	12.76	10.69
31	8.65	3.72	3.84	4.63	4.36	9.55	12.49	10.50
32	3.03	5.30	6.92	9.49	10.08	15.11	19.11	16.89
33	3.86	8.77	10.34	12.96	13.67	18.51	22.75	20.47
34	13.69	8.46	7.69	6.34	5.16	7.84	8.45	7.15
35	4.17	3.78	5.36	7.75	8.17	13.35	17.06	14.90
36	3.60	4.28	5.90	8.36	8.83	13.98	17.77	15.59
37	3.19	4.72	6.35	8.84	9.35	14.47	18.31	16.12
38	7.25	3.44	4.14	5.59	5.53	10.80	13.89	11.87
39	3.84	4.10	5.68	8.09	8.50	13.69	17.40	15.24
40	3.15	8.36	9.96	12.56	13.22	18.15	22.28	20.03
41	4.63	3.71	5.18	7.41	7.71	12.96	16.48	14.36
42	2.21	6.63	8.26	10.83	11.41	16.45	20.43	18.21
43	7.16	3.67	4.39	5.82	5.74	10.99	14.02	12.02
44	3.87	9.38	10.97	13.58	14.27	19.16	23.33	21.08
45	8.66	4.58	4.78	5.46	5.05	10.11	12.71	10.82
46	6.06	3.56	4.66	6.48	6.57	11.85	15.07	13.02
47	3.11	4.81	6.41	8.81	9.22	14.42	18.08	15.94
48	3.50	4.55	6.11	8.46	8.82	14.04	17.64	15.51
49	4.23	4.17	5.65	7.87	8.15	13.40	16.87	14.77
50	9.67	5.52	5.47	5.66	5.01	9.78	11.95	10.19
51	5.80	3.88	5.01	6.84	6.91	12.19	15.36	13.34

Matriz de distancias AGEB-albergue dada en kilómetros (*continuación*).

		ALBERGUE							
Capacidad	322	93	3700	278	278	6013	3001	6013	
ID	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	13.65	14.59	18.11	17.02	17.18	19.14	17.91	15.32	
2	13.75	14.64	17.93	16.85	17.03	18.99	17.78	15.15	
3	12.92	13.89	17.75	16.63	16.74	18.73	17.45	14.95	
4	11.83	12.80	17.02	15.85	15.92	17.93	16.58	14.20	
5	11.97	12.81	16.55	15.41	15.51	17.50	16.21	13.74	
6	11.21	11.94	15.67	14.50	14.59	16.59	15.27	12.85	
7	11.59	12.26	15.64	14.51	14.63	16.61	15.33	12.83	
8	10.98	11.67	15.36	14.19	14.28	16.28	14.95	12.55	
9	11.99	12.55	15.40	14.31	14.47	16.43	15.22	12.61	
10	12.33	12.85	15.42	14.35	14.54	16.49	15.31	12.64	
11	11.22	11.83	15.19	14.04	14.15	16.14	14.85	12.38	
12	10.73	11.26	14.61	13.44	13.54	15.53	14.23	11.79	
13	5.12	7.20	19.11	17.65	16.82	18.42	16.44	17.25	
14	11.28	11.58	13.93	12.83	13.01	14.96	13.76	11.14	
15	11.81	12.06	14.00	12.94	13.16	15.09	13.95	11.22	
16	11.44	11.58	13.33	12.26	12.48	14.41	13.27	10.55	
17	11.57	11.16	11.10	10.12	10.43	12.29	11.30	8.37	
18	10.56	10.15	10.82	9.74	9.96	11.88	10.76	8.03	
19	12.15	11.59	10.59	9.69	10.08	11.88	11.01	7.92	
20	10.27	9.66	9.95	8.85	9.05	10.98	9.86	7.15	
21	12.81	12.15	10.38	9.57	10.04	11.76	11.01	7.80	
22	13.18	12.41	10.00	9.25	9.77	11.43	10.78	7.48	
23	11.81	11.01	9.45	8.55	8.94	10.73	9.88	6.78	
24	12.89	12.02	9.41	8.65	9.17	10.83	10.17	6.88	
25	12.42	11.43	8.66	7.86	8.36	10.05	9.36	6.09	
26	7.42	5.23	6.84	5.35	4.68	6.60	4.71	4.90	
27	9.71	7.92	5.62	4.27	4.25	6.27	4.99	2.90	
28	10.88	9.10	4.99	3.83	4.11	5.98	5.04	2.17	
29	6.38	3.75	9.05	7.73	6.74	8.05	6.12	7.97	
30	7.17	4.64	7.41	6.01	5.09	6.65	4.67	6.10	
31	7.35	4.76	7.55	6.21	5.23	6.64	4.68	6.46	
32	11.95	10.12	4.36	3.45	4.00	5.63	5.06	1.67	
33	15.22	13.65	6.25	6.17	7.09	8.07	8.23	4.78	
34	7.73	5.73	12.16	11.04	9.98	10.73	9.08	11.64	
35	10.39	8.29	4.18	2.74	2.61	4.64	3.37	1.83	
36	10.95	8.93	4.00	2.69	2.85	4.77	3.78	1.32	
37	11.40	9.43	3.89	2.72	3.08	4.88	4.09	1.08	
38	8.36	5.86	6.19	4.82	3.87	5.43	3.44	5.07	
39	10.72	8.63	3.93	2.52	2.51	4.50	3.36	1.50	
40	14.90	13.23	5.53	5.45	6.38	7.34	7.52	4.10	
41	10.12	7.89	4.17	2.67	2.20	4.26	2.72	2.35	
42	13.28	11.46	4.17	3.71	4.53	5.78	5.67	2.16	
43	8.59	6.07	6.03	4.68	3.71	5.21	3.23	5.02	
44	15.88	14.26	6.27	6.37	7.33	8.14	8.48	5.11	
45	8.12	5.50	7.32	6.07	5.04	6.20	4.30	6.58	
46	9.26	6.84	5.09	3.67	2.79	4.54	2.59	3.90	
47	11.44	9.35	3.35	2.05	2.34	4.17	3.35	0.77	
48	11.12	8.97	3.41	2.00	2.04	4.00	2.97	1.19	
49	10.58	8.34	3.71	2.21	1.80	3.86	2.45	2.00	
50	8.15	5.53	8.18	7.02	5.96	6.90	5.12	7.65	
51	9.61	7.19	4.75	3.35	2.44	4.18	2.24	3.69	

A
G
E
B

Matriz de distancias AGEB-albergue dada en kilómetros (*continuación*).

AGEB	ID	ALBERGUES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	52	2.44	5.45	7.06	9.50	9.94	15.11	18.82	16.67
	53	6.38	4.00	4.96	6.58	6.55	11.82	14.85	12.86
	54	1.80	7.34	8.97	11.53	12.09	17.15	21.08	18.88
	55	2.86	5.10	6.68	9.07	9.46	14.67	18.30	16.16
	56	2.62	8.54	10.16	12.75	13.36	18.36	22.38	20.16
	57	2.93	8.93	10.54	13.13	13.76	18.74	22.79	20.56
	58	6.60	4.18	5.06	6.58	6.49	11.74	14.68	12.72
	59	3.82	4.61	6.10	8.32	8.59	13.85	17.28	15.20
	60	1.51	6.56	8.19	10.69	11.17	16.31	20.09	17.93
	61	2.75	5.31	6.88	9.23	9.58	14.81	18.36	16.25
	62	3.18	5.08	6.61	8.89	9.20	14.45	17.92	15.83
	63	2.27	8.61	10.24	12.81	13.38	18.43	22.38	20.18
	64	5.73	4.38	5.48	7.23	7.24	12.51	15.54	13.56
	65	4.79	4.56	5.86	7.83	7.95	13.23	16.42	14.40
	66	1.65	8.16	9.79	12.34	12.88	17.96	21.84	19.65
	67	2.53	9.06	10.68	13.25	13.83	18.87	22.82	20.62
	68	3.63	5.02	6.48	8.67	8.90	14.17	17.51	15.45
	69	2.82	5.45	6.99	9.28	9.58	14.83	18.28	16.20
	70	1.82	6.13	7.72	10.12	10.50	15.71	19.30	17.18
	71	1.24	7.93	9.56	12.08	12.59	17.71	21.52	19.35
	72	1.91	8.63	10.26	12.81	13.36	18.44	22.32	20.13
	73	2.60	5.79	7.32	9.60	9.88	15.13	18.54	16.47
	74	0.71	7.60	9.23	11.72	12.18	17.34	21.05	18.91
	75	2.27	9.21	10.85	13.40	13.94	19.02	22.89	20.71
	76	3.69	5.39	6.81	8.91	9.08	14.36	17.57	15.56
	77	0.59	7.29	8.91	11.34	11.74	16.94	20.55	18.44
	78	1.35	8.58	10.21	12.73	13.22	18.35	22.12	19.96
	79	1.52	6.70	8.27	10.61	10.93	16.17	19.63	17.55
	80	0.87	8.35	9.98	12.47	12.92	18.08	21.78	19.64
	81	0.40	8.12	9.74	12.20	12.62	17.81	21.43	19.32
	82	0.92	7.25	8.84	11.20	11.54	16.78	20.25	18.17
	83	2.96	6.36	7.81	9.94	10.10	15.38	18.55	16.55
	84	2.35	6.64	8.15	10.35	10.57	15.85	19.09	17.08
	85	3.83	6.15	7.50	9.48	9.56	14.84	17.84	15.89
	86	0.74	8.58	10.20	12.65	13.05	18.25	21.84	19.74
	87	1.23	8.97	10.60	13.07	13.50	18.68	22.31	20.20
	88	0.52	8.11	9.71	12.09	12.43	17.67	21.13	19.06
	89	1.75	9.45	11.08	13.56	14.01	19.18	22.83	20.71
	90	1.40	7.46	9.02	11.31	11.58	16.84	20.17	18.13
	91	0.61	8.47	10.08	12.49	12.85	18.08	21.58	19.50
	92	2.38	10.07	11.70	14.19	14.64	19.81	23.47	21.35
	93	1.58	9.43	11.06	13.50	13.90	19.10	22.66	20.57
	94	1.12	8.96	10.56	12.95	13.30	18.53	21.99	19.92
	95	3.22	7.08	8.49	10.52	10.61	15.89	18.87	16.94
	96	2.19	7.56	9.05	11.24	11.42	16.70	19.85	17.87
	97	1.24	8.31	9.88	12.19	12.46	17.72	21.03	19.01
	98	2.17	10.04	11.66	14.09	14.47	19.69	23.20	21.12
	99	2.70	10.52	12.14	14.60	15.01	20.21	23.78	21.69
	100	3.03	7.63	9.05	11.11	11.20	16.48	19.44	17.51
	101	1.88	8.49	10.03	12.26	12.47	17.75	20.91	18.93
	102	2.28	8.26	9.76	11.92	12.09	17.37	20.46	18.50
	103	2.09	9.92	11.51	13.89	14.21	19.46	22.83	20.80

Matriz de distancias AGEB-albergue dada en kilómetros (*continuación*).

AGEB	ID	ALBERGUES							
		9	10	11	12	13	14	15	16
	52	12.11	10.06	3.11	2.07	2.67	4.26	3.77	0.30
	53	9.36	6.87	5.19	3.85	2.87	4.42	2.43	4.31
	54	14.00	12.15	4.03	3.84	4.77	5.78	5.91	2.53
	55	11.72	9.61	3.07	1.81	2.20	3.96	3.26	0.53
	56	15.15	13.39	5.02	5.09	6.06	6.87	7.20	3.89
	57	15.52	13.79	5.34	5.47	6.46	7.21	7.60	4.31
	58	9.35	6.83	5.34	4.04	3.03	4.46	2.48	4.57
	59	11.04	8.79	3.26	1.76	1.48	3.52	2.30	1.67
	60	13.24	11.27	3.19	2.74	3.62	4.78	4.76	1.38
	61	11.90	9.74	2.75	1.47	1.91	3.62	3.00	0.57
	62	11.59	9.38	2.82	1.39	1.53	3.41	2.56	1.08
	63	15.25	13.44	4.68	4.83	5.83	6.55	6.97	3.75
	64	10.01	7.55	4.49	3.16	2.17	3.76	1.79	3.74
	65	10.60	8.21	3.70	2.29	1.41	3.31	1.56	2.81
	66	14.83	12.95	4.05	4.16	5.17	5.91	6.30	3.13
	67	15.69	13.88	4.91	5.17	6.19	6.81	7.32	4.17
	68	11.39	9.11	2.87	1.37	1.07	3.09	2.00	1.67
	69	11.98	9.77	2.48	1.11	1.52	3.24	2.63	0.90
	70	12.76	10.65	2.40	1.62	2.46	3.75	3.61	0.56
	71	14.61	12.68	3.63	3.73	4.74	5.48	5.87	2.75
	72	15.29	13.43	4.31	4.54	5.57	6.20	6.69	3.59
	73	12.29	10.07	2.15	0.83	1.46	3.00	2.60	0.99
	74	14.28	12.29	3.02	3.08	4.10	4.84	5.23	2.23
	75	15.87	14.01	4.60	4.98	6.03	6.52	7.14	4.13
	76	11.66	9.32	2.59	1.14	0.58	2.62	1.56	1.99
	77	13.95	11.88	2.40	2.40	3.43	4.17	4.55	1.76
	78	15.26	13.32	3.71	4.06	5.11	5.62	6.21	3.31
	79	13.28	11.11	1.73	1.30	2.33	3.25	3.45	1.21
	80	15.03	13.04	3.23	3.59	4.65	5.13	5.75	2.95
	81	14.79	12.75	2.77	3.14	4.20	4.67	5.29	2.63
	82	13.86	11.71	1.76	1.82	2.88	3.51	3.97	1.69
	83	12.68	10.35	1.56	0.23	0.88	2.02	1.93	1.96
	84	13.08	10.80	1.24	0.41	1.48	2.32	2.54	1.71
	85	12.25	9.84	2.17	1.10	0.30	1.76	1.06	2.61
	86	15.25	13.19	2.85	3.42	4.49	4.77	5.55	3.07
	87	15.65	13.62	3.31	3.93	5.00	5.23	6.06	3.51
	88	14.74	12.60	1.99	2.58	3.65	3.90	4.69	2.53
	89	16.13	14.13	3.75	4.44	5.51	5.67	6.56	4.03
	90	14.00	11.78	1.09	1.50	2.57	2.90	3.58	2.03
	91	15.12	13.01	2.39	3.05	4.12	4.31	5.16	2.91
	92	16.75	14.76	4.26	5.04	6.11	6.15	7.14	4.66
	93	16.11	14.04	3.32	4.13	5.20	5.22	6.21	3.92
	94	15.60	13.47	2.50	3.37	4.43	4.40	5.42	3.39
	95	13.28	10.89	1.16	0.95	1.27	1.25	1.92	2.72
	96	13.97	11.66	0.37	1.22	2.15	2.10	3.01	2.45
	97	14.88	12.66	1.39	2.34	3.38	3.30	4.32	2.80
	98	16.71	14.62	3.62	4.58	5.65	5.47	6.61	4.51
	99	17.19	15.15	4.26	5.20	6.27	6.10	7.24	5.03
	100	13.87	11.48	0.70	1.34	1.86	1.25	2.45	2.99
	101	14.98	12.70	0.96	2.26	3.21	2.78	4.03	3.12
	102	14.66	12.34	0.45	1.91	2.77	2.22	3.52	3.07
	103	16.55	14.39	3.03	4.15	5.18	4.82	6.09	4.34

Matriz de distancias AGEB-albergue dada en kilómetros (*continuación*).

	ID	ALBERGUES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
AGEB	104	4.33	7.83	9.11	10.94	10.89	16.13	18.78	16.95
	105	1.88	8.49	10.03	12.26	12.47	17.75	20.91	18.93
	106	2.28	8.26	9.76	11.92	12.09	17.37	20.46	18.50
	107	2.09	9.92	11.51	13.89	14.21	19.46	22.83	20.80
	108	4.33	7.83	9.11	10.94	10.89	16.13	18.78	16.95
	109	3.42	11.29	12.90	15.29	15.62	20.87	24.23	22.20
	110	3.18	9.54	11.01	13.12	13.22	18.50	21.40	19.51
	111	4.41	12.29	13.90	16.32	16.67	21.90	25.31	23.27
	112	3.99	9.26	10.63	12.58	12.58	17.84	20.51	18.69
	113	3.29	10.89	12.46	14.74	14.97	20.24	23.38	21.42
	114	4.82	12.70	14.31	16.70	17.02	22.27	25.60	23.59
	115	3.63	10.86	12.39	14.58	14.75	20.03	23.01	21.09
	116	4.47	12.32	13.91	16.27	16.56	21.82	25.07	23.08
	117	4.71	12.57	14.18	16.55	16.85	22.11	25.39	23.39
	118	4.12	11.64	13.19	15.43	15.62	20.90	23.94	22.01
	119	5.13	12.99	14.58	16.94	17.23	22.50	25.74	23.75
	120	4.93	12.76	14.35	16.68	16.95	22.22	25.42	23.45
	121	4.41	10.87	12.31	14.35	14.40	19.66	22.36	20.54
	122	4.59	12.18	13.73	15.98	16.18	21.46	24.48	22.56
	123	5.24	13.05	14.64	16.97	17.23	22.50	25.66	23.70
	124	5.64	13.48	15.07	17.42	17.69	22.96	26.15	24.18
	125	6.07	13.94	15.54	17.91	18.20	23.46	26.70	24.72
	126	5.34	13.02	14.58	16.85	17.05	22.33	25.36	23.44
	127	6.04	13.84	15.42	17.73	17.96	23.24	26.34	24.40
	128	6.41	14.16	15.73	18.01	18.22	23.50	26.53	24.61
	129	6.51	14.14	15.70	17.93	18.10	23.38	26.29	24.42
	130	9.52	17.34	18.92	21.21	21.42	26.70	29.66	27.78
	131	11.06	18.83	20.40	22.65	22.82	28.10	30.93	29.10
	132	14.97	22.55	24.07	26.19	26.24	31.49	33.91	32.23
	133	15.25	22.83	24.35	26.46	26.51	31.77	34.17	32.50
	134	15.28	22.82	24.33	26.43	26.47	31.72	34.09	32.43
	135	15.55	23.09	24.59	26.69	26.72	31.97	34.31	32.66
	136	16.35	23.97	25.50	27.63	27.70	32.95	35.38	33.70
	137	16.70	24.34	25.87	28.01	28.08	33.34	35.76	34.08
	138	16.53	24.14	25.66	27.78	27.84	33.09	35.48	33.81
	139	16.40	23.96	25.48	27.58	27.62	32.87	35.21	33.56
	140	17.05	24.62	26.13	28.22	28.26	33.50	35.82	34.18
	141	16.90	24.36	25.84	27.89	27.88	33.11	35.31	33.71
	142	17.26	24.75	26.25	28.31	28.31	33.55	35.78	34.17
	143	17.87	25.45	26.96	29.06	29.09	34.34	36.64	35.01
	144	17.46	24.84	26.31	28.32	28.28	33.49	35.60	34.03
	145	17.98	25.42	26.90	28.94	28.92	34.13	36.28	34.71
	146	18.98	26.47	27.96	30.02	30.01	35.24	37.41	35.82
	147	25.71	33.58	35.20	37.61	37.90	43.16	46.21	44.33
	148	25.73	33.61	35.22	37.61	37.88	43.15	46.13	44.27
	149	23.81	31.68	33.27	35.59	35.80	41.08	43.86	42.07
	150	19.58	27.00	28.48	30.49	30.45	35.66	37.72	36.18
	151	23.97	31.82	33.41	35.71	35.90	41.18	43.90	42.13
	152	24.52	32.38	33.97	36.27	36.46	41.74	44.48	42.70
	153	24.62	32.47	34.05	36.33	36.50	41.78	44.45	42.70

Matriz de distancias AGEB-albergue dada en kilómetros (*continuación*).

	ID	ALBERGUES							
		9	10	11	12	13	14	15	16
AGEB	104	13.72	11.23	1.97	2.20	2.04	0.07	1.93	3.97
	105	14.98	12.70	0.96	2.26	3.21	2.78	4.03	3.12
	106	14.66	12.34	0.45	1.91	2.77	2.22	3.52	3.07
	107	16.55	14.39	3.03	4.15	5.18	4.82	6.09	4.34
	108	13.72	11.23	1.97	2.20	2.04	0.07	1.93	3.97
	109	17.94	15.80	4.33	5.54	6.56	5.99	7.41	5.73
	110	15.87	13.50	1.67	3.16	3.88	2.64	4.40	4.38
	111	18.95	16.84	5.41	6.61	7.64	7.03	8.49	6.74
	112	15.35	12.90	1.81	3.02	3.40	1.67	3.62	4.59
	113	17.44	15.19	3.37	4.76	5.69	4.81	6.41	5.36
	114	19.35	17.20	5.63	6.90	7.90	7.16	8.70	7.13
	115	17.32	15.00	3.09	4.57	5.40	4.25	6.00	5.45
	116	18.94	16.76	5.07	6.39	7.37	6.55	8.14	6.74
	117	19.21	17.04	5.40	6.70	7.69	6.89	8.47	7.00
	118	18.15	15.87	3.98	5.42	6.30	5.20	6.93	6.14
	119	19.61	17.43	5.73	7.06	8.03	7.16	8.79	7.41
	120	19.37	17.16	5.41	6.76	7.72	6.80	8.45	7.19
	121	17.12	14.70	3.03	4.50	5.11	3.52	5.45	5.77
	122	18.70	16.42	4.53	5.97	6.85	5.72	7.47	6.66
	123	19.65	17.44	5.65	7.03	7.97	7.00	8.68	7.48
	124	20.10	17.90	6.14	7.50	8.45	7.50	9.17	7.91
	125	20.57	18.40	6.69	8.03	9.00	8.08	9.74	8.37
	126	19.56	17.29	5.41	6.84	7.73	6.58	8.35	7.48
	127	20.42	18.19	6.35	7.75	8.67	7.59	9.33	8.27
	128	20.72	18.46	6.58	8.01	8.90	7.73	9.52	8.61
	129	20.65	18.35	6.44	7.91	8.75	7.46	9.30	8.63
	130	23.91	21.66	9.77	11.21	12.09	10.82	12.67	11.77
	131	25.37	23.08	11.17	12.63	13.47	12.09	13.99	13.28
	132	28.95	26.54	14.72	16.22	16.94	15.31	17.28	17.08
	133	29.22	26.82	15.00	16.50	17.22	15.58	17.55	17.36
	134	29.20	26.78	14.98	16.48	17.19	15.53	17.51	17.37
	135	29.45	27.03	15.24	16.74	17.44	15.78	17.75	17.64
	136	30.39	28.00	16.16	17.65	18.39	16.77	18.74	18.48
	137	30.77	28.38	16.53	18.03	18.76	17.15	19.12	18.85
	138	30.54	28.14	16.32	17.81	18.54	16.90	18.87	18.66
	139	30.34	27.93	16.13	17.62	18.33	16.68	18.65	18.50
	140	30.99	28.57	16.78	18.27	18.98	17.31	19.29	19.16
	141	30.66	28.21	16.49	17.99	18.66	16.93	18.92	18.95
	142	31.08	28.64	16.90	18.39	19.07	17.37	19.35	19.32
	143	31.82	29.41	17.61	19.11	19.81	18.15	20.12	19.98
	144	31.09	28.62	16.97	18.46	19.10	17.34	19.32	19.47
	145	31.71	29.25	17.56	19.05	19.71	17.97	19.95	20.02
	146	32.79	30.34	18.61	20.11	20.78	19.06	21.05	21.05
	147	40.25	38.10	26.29	27.70	28.62	27.37	29.22	28.04
	148	40.27	38.09	26.25	27.67	28.57	27.29	29.16	28.05
	149	38.29	36.04	24.14	25.59	26.45	25.05	26.97	26.11
	150	33.26	30.80	19.14	20.63	21.27	19.51	21.50	21.62
	151	38.42	36.15	24.24	25.70	26.55	25.12	27.04	26.25
	152	38.98	36.71	24.81	26.27	27.11	25.69	27.61	26.81
	153	39.05	36.76	24.85	26.32	27.15	25.69	27.62	26.90

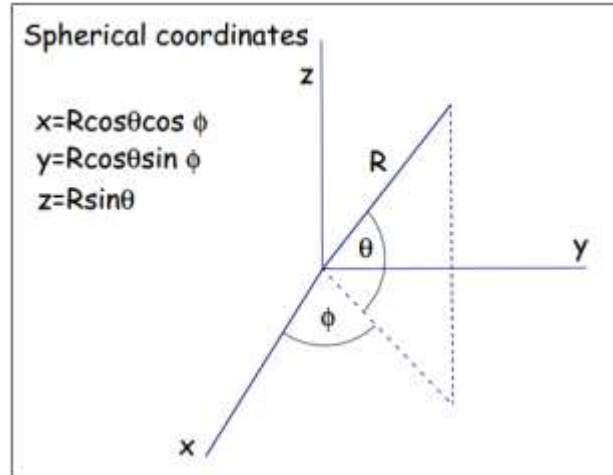
Matriz de distancias CDA-albergue dada en kilómetros.

		CDA		
A L B E R G U E	ID	1	2	3
	1	2.16	3.60	4.89
	2	9.71	7.66	6.05
	3	11.28	9.03	7.25
	4	13.59	10.99	9.01
	5	13.85	11.03	8.97
	6	19.11	16.29	14.22
	7	22.35	19.12	17.01
	8	20.36	17.24	15.12
	9	16.28	13.76	11.79
	10	14.05	11.33	9.30
	11	2.40	1.26	3.08
	12	3.67	1.62	2.15
	13	4.65	1.80	1.14
	14	4.09	0.69	1.98
	15	5.48	2.12	0.00
16	4.17	3.38	3.53	

ANEXO 4

Desarrollo de la fórmula de haversin para calcular la distancia entre dos puntos sobre la superficie Terrestre

El cálculo de la distancia entre dos puntos sobre la superficie de la Tierra consiste en dos pasos (1) calcular la distancia Euclidiana de esos dos puntos (pasando a través la Tierra) y (2) convertir esta distancia en una medida a lo largo de la superficie de la Tierra la *figura A4.1* describe las coordenadas esféricas que se utilizarán para este fin. Se orientan estas coordenadas a fin de que:



- i. El origen sea el centro de la tierra
- ii. El eje x pasa a través del Primer Meridiano (0° longitud)
- iii. El plano xy contiene el ecuador de la Tierra

Nótese que el ángulo θ es la medida de la latitud y el ángulo ϕ es la de la longitud, donde $0 \leq \phi \leq 360^\circ$, y $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. Los valores negativos de θ corresponden a puntos en el Hemisferio Sur, y valores positivos de θ corresponden a puntos ubicados en el Hemisferio Norte.

Para este análisis se tomara en cuenta el valor del radio medio de la Tierra como:

$$R=6,378\text{km}$$

Así, se asume que dados dos puntos P_1 y P_2 definido por sus respectivas pares latitud-longitud: $P_1(\theta_1, \phi_1)$, $P_2(\theta_2, \phi_2)$. En coordenadas cartesianas se tiene $P_1 = P_1(x_1, y_1, z_1)$ y $P_2 = P_2(x_2, y_2, z_2)$, donde x, y, z se determinan por las coordenadas esféricas a través de las ecuaciones:

$$\begin{aligned}x &= R \cos \theta \cos \phi \\y &= R \cos \theta \sin \phi \\z &= R \sin \theta\end{aligned}$$

La distancia Euclidiana d entre P_1 y P_2 está dada por el teorema Pitágoras en tres dimensiones:

$$d^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2$$

Ahora el trabajo consistirá en calcular esta distancia en términos de las coordenadas esféricas. Convirtiendo las coordenadas cartesianas a coordenadas esféricas se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{R^2} &= (\cos \theta_1 \cos \phi_1 - \cos \theta_2 \cos \phi_2)^2 + (\cos \theta_1 \sin \phi_1 - \cos \theta_2 \sin \phi_2)^2 + (\sin \theta_1 - \sin \theta_2)^2 \\ &= \cos^2 \theta_1 \cos^2 \phi_1 - 2 \cos \theta_1 \cos \phi_1 \cos \theta_2 \cos \phi_2 + \cos^2 \theta_2 \cos^2 \phi_2 + \cos^2 \theta_1 \cos^2 \phi_1 \\ &\quad - 2 \cos \theta_1 \sin \phi_1 \cos \theta_2 \sin \phi_2 + \cos^2 \theta_2 \sin^2 \phi_2 + \sin^2 \theta_1 - 2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 + \sin^2 \theta_2 \\ &= 2 - 2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - 2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 \end{aligned}$$

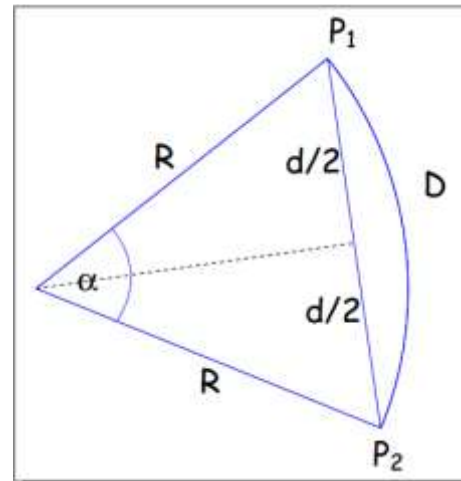
Para calcular la distancia D a través de la superficie de la Tierra, será necesario analizar la figura. Nótese que D es la longitud de arco definido por el sector. De ahí que:

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{d}{2R},$$

Tenemos que:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= 2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ &= \frac{d}{R} \times \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2R}\right)^2} \\ &= \frac{d}{2R^2} \sqrt{4R^2 - d^2} \end{aligned}$$

Figura A4. 2: Sector Circular



Por lo tanto, en términos de d y R , la distancia D está dada por:

$$D = R\alpha = R \sin^{-1}\left(\frac{d}{2R^2} \sqrt{4R^2 - d^2}\right),$$

La distancia es a menudo representada en términos de la también llamada función **haversine**, definida por:

$$\text{havrsin } A = \sin^2\left(\frac{A}{2}\right) = \frac{1 - \cos A}{2}$$

Esto quiere decir que:

$$A = 1 - 2\text{havrsin } A .$$

Regresando a la fórmula d expuesta arriba, continuamos en términos de la nueva notación:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{R^2} &= 2 - 2\cos\theta_1 \cos\theta_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - 2\sin\theta_1 \sin\theta_2 \\ &= 2 - 2\cos\theta_1 \cos\theta_2 [1 - 2\text{havrsin}(\phi_1 - \phi_2)] - 2\sin\theta_1 \sin\theta_2 \\ &= 2 - 2\cos(\theta_1 - \theta_2) + 4\cos\theta_1 \cos\theta_2 \text{havrsin}(\phi_1 - \phi_2) \\ &= 4\text{havrsin}(\theta_1 - \theta_2) + 4\cos\theta_1 \cos\theta_2 \text{havrsin}(\phi_1 - \phi_2) \end{aligned}$$

De aquí que:

$$\left(\frac{d}{2R}\right)^2 = \text{havrsin}(\theta_1 - \theta_2) + \cos\theta_1 \cos\theta_2 \text{havrsin}(\phi_1 - \phi_2)$$

Así

$$\text{havrsin } \alpha = \text{havrsin}(\theta_1 - \theta_2) + \cos\theta_1 \cos\theta_2 \text{havrsin}(\phi_1 - \phi_2)$$

Finalmente se tiene (de acuerdo a la figura A4.2)

$$\left(\frac{d}{2R}\right)^2 = \text{havrsin}(\theta_1 - \theta_2) + \cos\theta_1 \cos\theta_2 \text{havrsin}(\phi_1 - \phi_2); \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \text{havrsin } \alpha$$

Lo que significa que:

$$D = R\alpha = 2R \sin^{-1}\left(\sqrt{\text{havrsin } \alpha}\right)$$

REFERENCIAS

- ¿Cómo aplanar a México? (2010). *Centro de recursos Idrisi-México*. Recuperado 28 de febrero de 2013, a partir de <http://idrissi.uaemex.mx/index.php/esta-semana/nocion/lista-de-nociones/43-como-aplanar-a-mexico>
- ¿Qué es el Geoide? (2013). *Geodesia*. Recuperado 28 de febrero de 2013, a partir de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/que_es_geoide.aspx
- Altay, N., y Green III, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175, 475-493.
- Astudillo, O. (2011). *Metodología para la identificación de albergues y rutas de evacuación de la población para zonas vulnerables por inundación y una aplicación a un caso en estudio*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Baró, J., Díaz, C., Calderón, G., Esteller, V., Cadena, E., y Franco, R. (2012). *Metodología para la valoración económica de daños potenciales tangibles directos por inundación* (1.ª ed.). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Bitrán, D. (2001). *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-1999* (1ra ed.). CENAPRED.
- Cardozo, O. D., Puebla, J. G., y Palomares, J. C. G. (2010). Influencia de la morfología urbana en la demanda de transporte público: Análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 4-.
- CENAPRED. (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos : Fenómenos Hidrometeorológicos* (1.ª ed.). Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Cheong, T. S., y Xiaotao, C. (2013). Disaster Risk Management For Urban Floods. En *Guidelines On Urban Flood Risk Management (UFDM)*. Recuperado a partir de http://www.typhooncommittee.org/45th/Docs/item%207/TOD_of_the_Guidelines_on_UFRM-2013.pdf

- Commission, A. T. (2013). Desastres naturales. Recuperado 14 de abril de 2013, a partir de <http://www.studyinaustralia.gov.au/es/Living-in-Australia/Student-Safety-Portal/Natural-Disasters/Natural-Disasters>
- CONAGUA. (2012). *Libro Blanco CONAGUA-01 Programa Integral Hídrico de Tabasco (PIHT)*. Recuperado a partir de [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/LIBROS%20BLANCOS/C ONAGUA-01%20Programa%20Integral%20de%20Tabasco%20\(PIHT\).pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/LIBROS%20BLANCOS/C ONAGUA-01%20Programa%20Integral%20de%20Tabasco%20(PIHT).pdf)
- Coordenadas geográficas: Latitud y Longitud. (2009). *Soopernova.com*. Recuperado 27 de febrero de 2013, a partir de <http://soopernova.com/coordenadas-geograficas-latitud-y-longitud/>
- Dale, P. F., y McLaughling, J. D. (1988). *Land Information Management: An Introduction with Special Reference to Cadastral Problems in Third World Countries*. Oxford: Clarendon Press.
- De la Peña, R. (2010). *Historia mínima de Villahermosa* (1.ª ed.). México: Grupo Editorial Design Attakc.
- DOF. (2012). Ley General de Protección Civil. Diario Oficial de la Federación.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva: Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*. (L. Mosca, Trad.).
- Esquivel, R. (2007, noviembre 9). Seguros pagan \$7,500 millones por daños... 10% de la pérdida. *CRÓNICA*. Recuperado a partir de <http://www.cronica.com.mx/notas/2007/332235.html>
- ESRI. (2012). *Essays on Geography and GIS. Volume 5*. Recuperado a partir de <http://www.esri.com/library/bestpractices/essays-on-geography-gis-vol5.pdf>
- Estrada, F. (1996). Análisis económico del control de crecidas. En *Apuntes del Curso de Planificación Hidrológica y Medio Ambiente*. Madrid: CEDEX. Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente.
- Fallas de obras hidráulicas: la presa Delhi. (2012). *No queremos inundarnos: un blog sobre inundaciones y ambiente*. Recuperado a partir de

<http://noqueremosinundarnos.blogspot.mx/2012/01/fallas-de-obras-hidraulicas-7-la-presa.html>

- Garnica, R., y Alcántara, I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones Geográficas*, 55, 23-45.
- Gaytán, J., y Rodríguez, O. (2012). Metodología para la ubicación de albergues, centros de distribución y determinación de la política de abastecimiento inicial en inundaciones en México. En *La Importancia de las Inundaciones en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en México* (1ra ed.). Universidad Autónoma de Querétaro.
- Goodchild, M. F., y Shiren, Y. (1992). A hierarchical spatial data structure for global geographic information systems. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 54, 31-44.
- Green III, W. G. (2002). Four Phases of Emergency Management. *The Electronic Encyclopedia of Civil Defense and Emergency Management*. Recuperado 28 de febrero de 2013, a partir de <https://facultystaff.richmond.edu/~wgreen/Ecd4phases.htm>
- Greene, R., Rodolphe, D., Luthe, J., y Eddy, B. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography Compass*, 412-432.
- Hagget, P., y Chorley, R. J. (1967). Models, paradigms and the new geography. En *Models in Geography* (Chorley R J, Hagget P., pp. 19-42). London: Methuen.
- Hanold, T. (1972). An executive view of MIS. *Datamation*, 18, 66.
- Heckbert, P. S. (1994). *Graphics Gems: IV*. Morgan Kaufmann.
- Heywood, I., Cornelius, S., y Carver, S. (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems* (4.^a ed.). Pearson.
- INEGI. (2010). *Manual de cartografía geoestadística* (1.^a ed.). Recuperado a partir de http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=manual%20de%20cartograf%C3%ADa%20geoestad%C3%ADstica%20inegi&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.inegi.org.mx%2Fgeo%2Fcontenidos%2Fgeoestadistica%2F%3F_fil

e%3D%2Fgeo%2Fcontenidos%2Fgeoestadistica%2Fdoc%2FManual_Cartografia_Censal.pdf&ei=6xfXUf6PH42uqAGC-YG4CQ&usg=AFQjCNFbdNhuhNcq-
WsK9GGgVj4hsN5Xg

INEGI. (2013a). Marco de Referencia ITRF92 Época 1988.0. *Marco de Referencia ITRF92 Época 1988.0*. Recuperado 28 de febrero de 2013, a partir de

<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/infgeodesia/itrf.cfm>

INEGI. (2013b). Aspectos teóricos/metodológicos. Tecnología LiDAR. *Geodesia*. Recuperado 21 de febrero de 2013, a partir de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/lidar.aspx>

Kleindorfer, P., Kunreuther, H., y Schoemaker, P. (1993). *Decision Sciences: An Integrative Perspective* (1.^a ed.). USA: Cambridge University Press.

LIDAR (Light Detection and Ranging). (2011). *ingeniatic*. Recuperado 12 de marzo de 2013, a partir de <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/496-lidar-light-detection-and-ranging>

López, Liliana. (2003). El uso de sistemas de información geográfica para el análisis del mercado inmobiliario. Recuperado 20 de mayo de 2013, a partir de [http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146\(101\).htm](http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146(101).htm)

López, Luis. (2007, octubre 31). Agua cubre estado mexicano Tabasco tras crecida ríos. *Reuters*.

Recuperado a partir de

<http://lta.reuters.com/article/domesticNews/idLTAN3134087020071101>

Mejía, C. (2013, abril). *Modelo de Optimización y Metaheurístico Integral del Problema de Logística Humanitaria a través e un enfoque Multi-criterio: caso de estudio en Villahermosa, Tabasco, México* (Tesis Doctoral en Ingeniería Industrial (Tesis no publicada)). Tecnológico de Monterrey Campus Toluca, Toluca, México.

Montoya, G., Hernández, J., Castillo, M., Díaz, D., y Velasco, A. (2008). Vulnerabilidad y riesgo por inundación en San Cristobal de Las Casas, Chiapas. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 23(1), 83-122.

- Nascimento, N., Machado, M. L., Baptista, M., y De Paula E Silva, A. (2007). The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context. *Urban Water Journal*, 4, 195-210.
- Nieminen, J. (2013). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Presentado en Course of Rehabilitation and Monitoring. Recuperado a partir de http://www.helsinki.fi/vitri/research/Educational_Projects/forrsa/GIS_AL2_course%20proceedings/cd/Course/GIS%20and%20Multicriteria%20Decision%20Analysis.pdf
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica* (Versión 1.0.). Recuperado a partir de http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG.
- ONU-HABITAT. (2011). *Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011*. Eartscan.
- Pineda, F., y Gonzales, H. (2013). Sistema de Información Geográfica catastral para la gestión del Territorio de Medellín.
- Reutebuch, S. E., Andersen, H.-E., y McGaughey, R. J. (2005). Light Detection and Ranging (LIDAR): An Emerging Tool for Multiple Resource Inventory. *Journal of Forestry*, 286-292.
- Rivera, F., Soto, G., y Barajas, J. (2009). La inundación de 2007 en Tabasco, México: evolución en niveles de agua. *Ingeniería hidráulica en México*, XXIV (4), 159-166.
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J., y Guptill, S. C. (1995). *Elements of Cartography* (6.^a ed.). Nueva York: Wiley.
- Rodríguez, O. (2011). *Metodología para la ubicación de albergues y planeación de la política de abastecimiento inicial frente a desastres ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos aplicada a un caso de estudio en México* (Maestría en Ingeniería de Transporte). Facultad de Ingeniería de la UAEMex, Toluca, México.
- Salas, M. A., y Jiménez, M. (2004). *Inundaciones* (1.^a ed.). México: CENAPRED.
- Salas, M. A., y Jiménez, M. (2009). *Inundaciones (folleto)* (1.^a ed.). México: CENAPRED.

- SEGOB. (2008). *Tabasco: características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4* (No. LC/MEX/L.864) (p. 231). México.
- SEGOB. NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SEGOB-2011, Señales y avisos para protección civil.- Colores, formas y símbolos a utilizar. (2011).
- SHCP. (2009). Menaje de casa. Recuperado a partir de ftp://ftp2.sat.gob.mx/asistencia_ftp/publicaciones/folletos09/menaje_casa.pdf
- Snyder, J. P. (1987). *Map Projections: A Working Manual*. Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Tingsanchali, T. (2012). Urban flood disaster management. *Procedia Engineering*, 32, 25-37.
- Ubalde, J. M., Rius, J., y Poch, R. M. (2010). Monitorización de los cambios de uso del suelo en la cabecera de cuenca de la ribera salada mediante fotografía Aérea y S.I.G. (El Solsonès, Lleida, España). *Pirineos*, 153-154, 101-122.
- Valpreda, E. (2013). Sistema de Información Geográfica (SIG). Teledetección y Evaluación Multicriterio (EMC) en un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).
- Vila, J., y Varga, D. (2008). Los Sistemas de Información Geográfica. In *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica*.
- Villareal, M. (2007, noviembre 1). Villahermosa, como Nueva Orleans: 400 mil damnificados. *CRÓNICA*. Tabasco. Recuperado a partir de <http://www.cronica.com.mx/notas/2007/330831.html>
- Zentella, J. (2010). *Las ciudades frente al cambio climático en México*. Presentado en Seminario de Obras, Servicios Públicos y Medio Ambiente, Tampico, Tamaulipas. Recuperado a partir de http://www.iclei.org.mx/web/uploads/assets//Ponencias_Tampico/S5_SEDESOL_Las_ciudades_y_el_Cambio_Clim_tico_en_M_xico.pdf

LISTA DE TABLAS

	Página
<i>Tabla 1.1: Algunos elipsoides oficiales usados en el mundo.....</i>	26
<i>Tabla 1.2: Agenda de riesgos por inundación de la República Mexicana</i>	44
<i>Tabla 1.3: Clasificación de los daños por inundación en zonas urbanas.....</i>	49
<i>Tabla 1.4: Actividades típicas en la gestión del desastre</i>	54
<i>Tabla 2.1: Los 10 siniestros más costosos en México, 1985-2007.....</i>	62
<i>Tabla 2.2: Viviendas afectadas por las lluvias e inundaciones ocurridas en 2007; Tabasco, México</i>	62
<i>Tabla 2.3: Localización de los Centros de Distribución de Ayuda</i>	70
<i>Tabla 2.4: Albergues candidatos; servicios, capacidad y localización.....</i>	72
<i>Tabla 2.5: Clavificación según el Marco Geoestadístico Nacional.....</i>	74
<i>Tabla 3.1 Cotas utilizadas para generar los mapas de inundación</i>	83
<i>Tabla 3.2: Representación de las zonas secas e inundadas.....</i>	83
<i>Tabla 3.3: Capacidad total de albergues disponibles</i>	98
<i>Tabla 3.4: Comparación de distancias usando la fórmula de haversine.....</i>	100

LISTA DE FIGURAS

	Página
<i>Figura 1.1: Dimensiones de los datos geográficos.....</i>	21
<i>Figura 1.2: Procedimiento general en la elaboración de mapas.....</i>	22
<i>Figura 1.3: Proyecciones cartográficas.....</i>	23
<i>Figura 1.4: Características de las proyecciones cartográficas.....</i>	23
<i>Figura 1.5: Tipos de referenciamiento espacial.....</i>	24
<i>Figura 1.6: Geoide y elipsoide.....</i>	25
<i>Figura 1.7: Elementos básicos para definir el elipsoide de referencia.....</i>	25
<i>Figura 1.8: Latitud y longitud.....</i>	27
<i>Figura 1.9: Sistema de malla triangular visto ortográficamente desde el Océano Pacífico a aproximadamente 110°O 15°E.....</i>	28
<i>Figura 1.10: Cuadrícula Universal Transverse Mercator (UTM).....</i>	29
<i>Figura 1.11: Cónica Conforme de Lambert (CCL) para el caso de México.....</i>	29
<i>Figura 1.12: Transverse Universal Mercator (UTM) para el caso de México.....</i>	30
<i>Figura 1.13: a) Representación de un modelo vectorial; b) representación de un modelo raster.....</i>	32
<i>Figura 1.14: Colección de capas.....</i>	33
<i>Figura 1.15: Clasificación de las inundaciones.....</i>	35
<i>Figura 1.16: Precipitación media anual en el territorio nacional.....</i>	36
<i>Figura 1.17: Grado de riesgo por presencia de ciclones tropicales en la República Mexicana.....</i>	37
<i>Figura 1.18: Origen de las lluvias orográficas.....</i>	38
<i>Figura 1.19: Descripción gráfica del origen de un frente frío.....</i>	39
<i>Figura 1.20: Descripción gráfica del origen de las lluvias convectivas.....</i>	40
<i>Figura 1.21: Inundación de origen fluvial en Villahermosa, Tabasco.....</i>	41
<i>Figura 1.22: Camioneta empujada por el oleaje en Southampton, Nueva York, EUA.....</i>	42
<i>Figura 1.23: La presa Delhi, Iowa.....</i>	43
<i>Figura 1.24: Niveles de alerta de fenómenos hidrometeorológicos.....</i>	45
<i>Figura 1.25 : Índice de peligro por inundación.....</i>	47
<i>Figura 1.26: Clasificación del peligro por inundación.....</i>	48
<i>Figura 1.27: Las cuatro fases en la gestión de emergencias.....</i>	53
<i>Figura 1.28: Interface SIG-Modelo de optimización.....</i>	56
<i>Figura 2.1: Municipio Centro, Tabasco, México.....</i>	59
<i>Figura 2.2: Descripción de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México y los ríos que la rodean.....</i>	61
<i>Figura 2.3: Vulnerabilidad alta de inundaciones para el municipio Centro, Tabasco, México.....</i>	61
<i>Figura 2.4: Límite municipal del municipio Centro, Tabasco, México.....</i>	66
<i>Figura 2.5 Esquema que muestra la recopilación de datos con la tecnología LIDAR sobre el suelo desnudo.....</i>	68
<i>Figura 2.6: MDT para el municipio de Centro, Tabasco, México.....</i>	69

LISTA DE FIGURAS (continuación)

	Página
<i>Figura 2.7: Traza vial para el municipio de Centro, Tabasco, México.</i>	70
<i>Figura 2.8: Localización en el mapa de los centros de distribución de ayuda</i>	71
<i>Figura 2.9: Localización de los albergues en el municipio de Centro, Tabasco, México</i>	72
<i>Figura 2.10: Conformación del Marco Geoestadístico Nacional</i>	73
<i>Figura 2.11: Mapa de AGEB en el municipio de Centro, Tabasco, México</i>	75
<i>Figura 2.12: Distribución de los centroides a lo largo del municipio de Centro, Tabasco, México. b): Localización de los centroides correspondiente a cada AGEB.....</i>	76
<i>Figura 3.1: Menaje de una vivienda tipo I.....</i>	78
<i>Figura 3.2: Menaje de una vivienda tipo II.....</i>	79
<i>Figura 3.3: Menaje de una vivienda tipo III</i>	79
<i>Figura 3.4: Menaje de una vivienda tipo IV.....</i>	80
<i>Figura 3.5: Menaje de una vivienda tipo V</i>	80
<i>Figura 3.6: Damnificado de Valle de Chalco, Estado de México, México</i>	81
<i>Figura 3.7: Viviendas dañadas por las inundaciones de 2007, Tabasco, México .</i>	82
<i>Figura 3.8: Modelo general para la obtención de los mapas</i>	84
<i>Figura 3.9 Mapa de inundación para un tirante de 0.8 m. Municipio Centro; Tabasco, México</i>	85
<i>Figura 3.10 Mapa de AGEB seguros para un tirante de 0.8 m.</i>	86
<i>Figura 3.11: Mapa de conectividad para un tirante de 0.8 m.....</i>	87
<i>Figura 3.12: Mapas de albergues seguros para un tirante de 0.8m.....</i>	88
<i>Figura 3.13: Mapa de inundación para un tirante de 2m. Municipio Centro; Tabasco, México</i>	89
<i>Figura 3.14: Mapa de AGEB seguros para un tirante de 2 m</i>	90
<i>Figura 3.15: Mapa de conectividad para un tirante de 2 m</i>	91
<i>Figura 3.16: Mapa de albergues seguros para un tirante de 2 m</i>	92
<i>Figura 3.17: Mapa de inundación para un tirante de 4 m</i>	93
<i>Figura 3.18: Mapa de AGEB seguras para un tirante de 4 m</i>	94
<i>Figura 3.19: Mapa de conectividad para un tirante de 4 m.....</i>	95
<i>Figura 3.20: mapa de albergues seguros para un tirante de 4 m</i>	96
<i>Figura 3.21: Mapa de inundación estimado en esta investigación correspondiente a un tirante de 4 m</i>	97
<i>Figura 3.22: Mapa obtenido de la inundación de 2007 en Tabasco, México</i>	97
<i>Figura 3.23: Comparación de distancias usando Google Earth®.....</i>	100
<i>Figura 3.24: Comparación de distancias usando IDRISI® selva.....</i>	101