



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
POSGRADO EN GEOGRAFÍA**

**CONCEPTUALIZACIÓN, DESARROLLO Y  
VALIDACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA  
LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS  
DAÑOS POTENCIALES TANGIBLES  
PROVOCADOS POR UNA INUNDACIÓN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN GEOGRAFÍA**

**PRESENTA**

**M. en G. JOSÉ EMILIO BARÓ SUÁREZ**

**DIRECTORES**

**Dra. Georgina Calderón Aragón (UNAM)  
Dr. Carlos Díaz Delgado (UAEMex)**



**CIUDAD UNIVERSITARIA  
Noviembre, 2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MARISA  
POR SU APOYO EN TODOS  
LOS MOMENTOS QUE HEMOS VIVIDO JUNTOS Y  
POR LOS QUE NOS QUEDAN POR VIVIR

A MIS HIJAS, NATALIA Y AITANA  
POR SER EL MOTOR DE MI VIDA, SON Y SERÁN MI INSPIRACIÓN  
PARA SUPERARME EN TODAS LAS FACETAS DE MI VIDA

A LA UNAM Y A MI MÉXICO LINDO Y QUERIDO  
POR SU ACOGIDA Y POR LAS OPORTUNIDADES QUE ME HAN FACILITADO

## **RECONOCIMIENTOS**

A la UNAM, por darme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Al CONACyT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo otorgado a través de una beca para cursar los estudios de Doctorado

A la UAEMex – Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), por toda las facilidades que me ha ofrecido.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Jurado Evaluador de este trabajo, quienes con sus consejos y observaciones han enriquecido esta tesis

A la Dra. Georgina Calderón y al Dr. Carlos Díaz Delgado, por su confianza, apoyo y asesoría en el desarrollo del presente trabajo, sus comentarios y sugerencias han estado siempre presentes.

Al Dr. Edel Cadena, por su apoyo, su amistad y las ideas que me aportó para lograr finalmente este trabajo que presento. Sus consejos en el trascurso de mi trayectoria profesional y laboral siempre fueron atinados.

Al M. en P. Armando Arriaga, por todo su apoyo durante el desarrollo de esta tesis, sobre todo en lo referente a los SIG.

También se agradece el apoyo brindado por SEMARNAT-CONACYT para la realización de esta investigación a través del proyecto “La valoración económica de la vulnerabilidad socioeconómica y demográfica ante inundaciones en la República Mexicana” con clave 23478.

# CONTENIDO

---

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. HIPÓTESIS .....	6
1.3. OBJETIVOS .....	6
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	7
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	9
2.1. INUNDACIONES.....	9
2.1.1. Tipos de inundaciones.....	10
2.1.2. Impactos por inundaciones.....	12
2.1.3. Control de inundaciones.....	14
2.1.4. Evaluación de alternativas para el control de crecidas.....	16
2.2. DAÑOS ECONÓMICOS POR INUNDACIONES .....	17
2.2.1. Tipología de los daños .....	18
2.2.2. Categoría de los daños .....	22
2.3. VALORACIÓN DE LOS DAÑOS.....	23
2.3.1. Daños en zonas habitacionales.....	32
2.3.2. Daños en la agricultura.....	36
2.4. HERRAMIENTAS APLICADAS AL ESTUDIO DE INUNDACIONES .....	37
2.4.1. Modelos de simulación hidrológica.....	37
2.4.2. Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	40
<b>3. ZONA DE ESTUDIO</b> .....	43
3.1. MARCO HIDROLÓGICO. LA CUENCA LERMA- CHAPALA-SANTIAGO.....	43
3.2. LA CUENCA LERMA-CHAPALA .....	45
3.2.1. Características generales.....	45
3.2.2. Clima .....	49
3.2.3. Hidrología .....	55

3.2.4. Datos socioeconómicos .....	58
3.3. INUNDACIONES EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA .....	64
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>69</b>
4.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA .....	71
4.2. TRABAJO DE CAMPO .....	71
4.3. RECOPIACIÓN DE DATOS .....	72
4.3.1. Recopilación de datos para zonas habitacionales .....	72
4.3.1.1. Zonas inundables .....	72
4.3.1.2. Características socioeconómicas de la población .....	73
4.3.1.3. Información sobre bienes .....	75
4.3.2. Recopilación de datos para zonas agrícolas .....	77
4.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECABADA.....	79
4.4.1. Información sobre aspectos hidráulicos.....	79
4.4.2. Información sobre zonas habitacionales.....	81
4.4.3. Información sobre zonas agrícolas .....	82
4.5. DAÑOS TANGIBLES DIRECTOS .....	84
4.5.1. Construcción de familias de curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales .....	85
4.5.2. Construcción de familias de curvas de daños potenciales por inundación en zonas agrícola .....	89
4.6. APLICACIÓN DE CURVAS PARA EVALUACIÓN DE DAÑOS ECONÓMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO TEJALPA .....	90
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>95</b>
5.1. DAÑOS TANGIBLES DIRECTOS .....	95
5.1.1. Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales.....	95
5.1.1.1. Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM muy alto.....	98
5.1.1.2. Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM alto.....	104
5.1.1.3. Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM medio.....	108

5.1.1.4. Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM bajo .....	116
5.1.1.5. Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM muy bajo .....	121
5.1.2. Construcción de curvas de daños potenciales por inundación	
en zonas agrícolas.....	126
5.1.2.1. Maíz .....	126
5.1.2.2. Otros cultivos.....	130
5.2. DAÑOS TANGIBLES INDIRECTOS EN ZONAS HABITACIONALES	
Y AGRÍCOLAS.....	131
5.3. DAÑOS TOTALES EN ZONAS HABITACIONALES Y AGRÍCOLAS.....	131
5.4. CASO DE ESTUDIO: SUBCUENCA DEL RÍO TEJALPA.....	133
5.4.1. Características generales.....	133
5.4.2. Zonas inundables .....	138
5.4.3. Daños tangibles en zonas habitacionales .....	144
5.4.4. Daños tangibles en zonas agrícolas.....	153
5.4.5. Daños totales .....	158
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>163</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>167</b>

#### **ANEXO I**

Metodología para el cálculo del índice y grado de marginación

#### **ANEXO II**

Índices de marginación

#### **ANEXO III**

Bienes por AGEB según su índice de marginación

#### **ANEXO IV**

Cálculos de las curvas de daños económicos

#### **ANEXO V**

Subcuenca del río Tejalpa. Niveles de perfiles de agua determinados en cada una de las secciones

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Desastres naturales y sus impactos a nivel mundial 1980 -1999 (CRED, 2002) .....	13
Tabla 2.2	Desastres naturales y sus impactos a nivel mundial para el año 2008 y valores promedio para el periodo 2000 - 2007 (Rodríguez et al., 2009) .....	13
Tabla 2.3.	Clasificación de daños por inundación en zonas urbanas (Nascimento et al., 2007) .....	20
Tabla 2.4.	Porcentaje aplicado a los daños directos para el cálculo de daños indirectos (Kates, 1965) .....	27
Tabla 2.5.	Índices incluidos en el cálculo del impacto social de los riesgos hidrológicos (Santillán et al., 1998). .....	30
Tabla 2.6.	Valores de los índices para los estados de la República Mexicana (Santillán et al., 1998).....	31
Tabla 2.7.	Porcentaje de daños en edificios (valores en % salvo número de muestras y lámina de agua) (Blong, 2004).....	35
Tabla 3.1.	Regiones y subcuencas definidas en la Cuenca Lerma Chapala (Aparicio, 2001).....	47
Tabla 3.2.	Precipitación media anual en la Cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, 2001) .....	53
Tabla 3.3.	Ciudades con más de 50 000 habitantes localizadas en la Cuenca Lerma-Chapala (INEGI, 2005) .....	61
Tabla 3.4	Población económicamente activa (PEA) en la Cuenca Lerma-Chapala (miles de habitantes) (CONAGUA, 2005) .....	61
Tabla 3.5.	Municipios según grado de marginalidad en la Cuenca Lerma-Chapala (miles de habitantes) (CONAGUA, 2005) .....	63
Tabla 4.1.	Equivalencia entre AGEB según su índice de marginación y salarios mínimos .....	81
Tabla 5.1.	Número de unidades geográficas, número de AGEB's urbanas e índice de marginación por entidad federativa localizadas en zonas inundables de la Cuenca Lerma-Chapala .....	96
Tabla 5.2.	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (número de unidades entre paréntesis) .....	99
Tabla 5.3.	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (en pesos 2009) .....	100
Tabla 5.4.	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM muy alto .....	103
Tabla 5.5.	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (número de unidades entre paréntesis) .....	105
Tabla 5.6.	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (en pesos 2009) .....	105
Tabla 5.7.	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM alto.....	108
Tabla 5.8.	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis) .....	109
Tabla 5.9	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta (en pesos 2009) .....	109
Tabla 5.10.	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis) .....	111
Tabla 5.11	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009).....	112
Tabla 5.12.	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM medio. Viviendas de una y dos plantas .....	115
Tabla 5.13.	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis) .....	117
Tabla 5.14.	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en	

Tabla 5.15.	una AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta (en pesos 2009).....	117
	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis) .....	118
Tabla 5.16.	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009) .....	119
Tabla 5.17.	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM bajo. Viviendas de una y dos plantas .....	121
Tabla 5.18.	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis) .....	122
Tabla 5.19.	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta (en pesos 2009) .....	122
Tabla 5.20.	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis) .....	123
Tabla 5.21.	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009) .....	124
Tabla 5.22.	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM muy bajo. Viviendas de una y dos plantas .....	126
Tabla 5.23.	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas agrícolas (Baró et al., 2007a) .....	129
Tabla 5.24.	Características fisiográficas de la Subcuenca del río Tejalpa (Vega, 1999; Díaz-Delgado y Vega, 2001) .....	136
Tabla 5.25.	Datos referentes a los municipios que abarca la Subcuenca del río Tejalpa (INEGI, 2002, 2007) .....	137
Tabla 5.26.	Caudales máximos para los períodos de retorno de T= 10, 20, 50 y 100 años (Vega, 1999) .....	138
Tabla 5.27.	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T= 10 años. ....	140
Tabla 5.28.	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T= 20 años. ....	141
Tabla 5.29.	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T= 50 años. ....	142
Tabla 5.30.	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T= 100 años. ....	143
Tabla 5.31.	AGEBs localizadas en zonas inundables y su índice de marginación según CONAPO (2007) .....	145
Tabla 5.32.	Superficie inundada en cada AGEB identificada y número de viviendas afectadas para cada uno de los períodos de retorno definidos .....	148
Tabla 5.33.	Ecuaciones empleadas para el cálculo de los costos mínimo, máximo y más probable .....	149
Tabla 5.34.	Daños económicos potenciales directos por vivienda para diferentes períodos de retorno (SM salarios mínimos) .....	151
Tabla 5.35.	Daños totales económicos potenciales directos en zonas habitacionales para diferentes períodos de retorno (SM salarios mínimos) .....	152
Tabla 5.36.	Daños totales económicos potenciales indirectos en zonas habitacionales para los diferentes períodos de retorno (S.M. salarios mínimos) .....	153
Tabla 5.37.	Daños económicos potenciales directos en zonas agrícolas por hectárea (S.M. salarios mínimos, DDA daños directos en zonas agrícolas) .....	156
Tabla 5.38.	Daños totales económicos potenciales directos en zonas agrícolas (S.M. salarios mínimos) .....	157
Tabla 5.39.	Daños totales económicos potenciales indirectos en zonas agrícolas para los diferentes períodos de retorno (S.M. salarios mínimos) .....	158
Tabla 5.40.	Daños totales para las zonas inundables de la Subcuenca del río Tejalpa para caudales con diferentes períodos de retorno (SM salarios mínimos DDH daños directos en zonas habitacionales, DIH daños indirectos en zonas habitacionales, DDA daños directos en zonas agrícolas,	

	DIA daños indirectos en zonas agrícolas)) .....	159
Tabla 5.41.	Porcentajes de daños totales para las zonas inundables de la Subcuenca del río Tejalpa para caudales con diferentes períodos de retorno (DH: daños en zonas habitacionales, DA: daños en zonas agrícolas).....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Mapa de ubicación de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago en la República Mexicana (Díaz-Delgado et al., 1998) .....	44
Figura 3.2.	Localización de la cuenca Lerma-Chapala en la República Mexicana .....	46
Figura 3.3.	Modelo de elevación digital del terreno de la Cuenca Lerma-Chapala .....	48
Figura 3.4.	Variaciones de temperatura anual (máximo y mínimo) en las estaciones de Yurécuaro (a), Morelia (b), San Miguel Allende (c), Toluca (d) y León (e) (Aparicio, 2001) .....	52
Figura 3.5.	Precipitación y evaporación media mensual en las estaciones de Dolores Hidalgo (a), Moroleón (b), Valle de Santiago (c), León (d), San Miguel de Allende (e), Toluca (f), Morelia (g) y Yurécuaro (h) (Aparicio, 2001).....	54
Figura 3.6.	Principales ríos y cuerpos de agua localizados en la Cuenca Lerma-Chapala .....	57
Figura 3.7.	División política de la Cuenca Lerma-Chapala .....	59
Figura 3.8.	Muertes y población afectada debido a las inundaciones en la Cuenca Lerma-Chapala (1975 – 2000) (Aparicio, 2001).....	65
Figura 3.9.	Localización de zonas que históricamente han sufrido inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala.....	67
Figura 4.1.	Desarrollo conceptual de un método para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas habitacionales. Daños directos. ....	81
Figura 4.2.	Desarrollo conceptual de una metodología para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas agrícolas. Daños directos. ....	83
Figura 4.3.	Diagrama de flujo establecido para el procesamiento de la información cartográfica para el caso de estudio de la Subcuenca del río Tejalpa. ....	93
Figura 5.1.	Índice de marginación de las AGEB urbanas. Cuenca Lerma-Chapala.....	97
Figura 5.2.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy alto.....	102
Figura 5.3.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM alto .....	107
Figura 5.4.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta.....	114
Figura 5.5.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas .....	115
Figura 5.6.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta.....	120
Figura 5.7.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas .....	120
Figura 5.7.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta.....	125
Figura 5.8.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas .....	125
Figura 5.9.	Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz de grano temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró et al., 2007a) .....	128
Figura 5.10.	Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz forrajero de temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró et al., 2007a) .....	129

Figura 5.11.	Localización de la Subcuenca del río Tejalpa (Curso Alto del Río Lerma) (Díaz-Delgado et al., 1998) .....	134
Figura 5.12.	Mapa hidrológico de la Subcuenca del río Tejalpa (Díaz-Delgado et al., 1998).....	135
Figura 5.13.	Mapa de vegetación y uso del suelo de la Subcuenca del río Tejalpa (modificado del INEGI, 2003) .....	139
Figura 5.14.	Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=10 años.....	141
Figura 5.15.	Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=20 años.....	142
Figura 5.16.	Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=50 años.....	143
Figura 5.17.	Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=100 años.....	144
Figura 5.18.	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=10 años.....	145
Figura 5.19.	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=20 años.....	146
Figura 5.20.	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=50 años.....	146
Figura 5.21.	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=100 años.....	147
Figura 5.22.	Secciones transversales del río Tejalpa para los cuales fue calculada la lámina de agua por período de retorno .....	150
Figura 5.23.	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=10 años .....	154
Figura 5.24.	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=20 años .....	155
Figura 5.25.	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=50 años .....	155
Figura 5.26.	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=100 años .....	156
Figura 5.27.	Comparación entre costo total máximo, mínimo y más probable de los daños económicos potenciales en zonas habitacionales y agrícolas para caudales con diferentes períodos de retorno. Caso de la Subcuenca del río Tejalpa .....	159
Figura 5.28.	Costo más probable de los daños económicos potenciales en zonas habitacionales y agrícolas para caudales con diferentes períodos de retorno. Caso de la Subcuenca del río Tejalpa (DDH Daños directos en zonas habitacionales, DIH daños indirectos en zonas habitacionales, DDA daños directos en zonas agrícolas, DIA daños indirectos en zonas agrícolas).....	160
Figura 5.29.	Relación entre área inundada y daños económicos potenciales (costo más probable).....	161
Figura 5.30.	Comparación entre los resultados obtenidos según el método establecido por Baró et al (2007a, b) con base en el tipo de vivienda y el propuesto en este trabajo con base en el IM de las AGEBs. (DDHe : daños directos en zonas habitacionales según Baró et al. (2007a, b) DDH: daños directos en zonas habitacionales) .....	162

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1.	Daños en zonas habitacionales. Inundaciones en diferentes colonias de Chalco por el desbordamiento del río La Compañía en febrero de 2010 (Estado de México) .....	33
Fotografía 2.2.	Daños en zonas habitacionales. Inundaciones en Ecatepec en febrero de 2010 (Estado de México). .....	33
Fotografía 2.3.	Inundaciones en zonas agrícolas en el municipio de Ixtlahuaca en septiembre de 2009 (Estado de México) .....	37

## NOMENCLATURA

---

AGEB	Area Geoestadística Básica
CNA	Comisión Nacional del Agua
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIRA	Centro Interamericano en Recursos del Agua
CNSM	Consejo Nacional de Salarios Mínimos
COESPO	Consejo Estatal de Población
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares
FONDEN	Fondo Nacional de Desastres
FOPREDEN	Fondo Nacional de Prevención de Desastres
ICAR	Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales
IM	Índice de marginación
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
ISSEMYN	Instituto de Seguridad Social del Estado de México y Municipios
MED	Modelo de Elevación Digital
MOPTyMA	Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente
PROFECO	Procuraduría Federal del Consumidor
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SCINCE	Sistema para la Consulta de Información Censal
SIG	Sistema de Información Geográfica
UAEM	Universidad Autónoma del estado de México
UG	Unidad geográfica
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México

## RESUMEN

Las curvas de daños por inundación en función de la altura de lámina de agua, facilitan la estimación económica de los daños generados en una cuenca, siendo este proceso uno de los métodos de evaluación directa más utilizados. En el presente estudio, esta evaluación se aplicó al caso de las zonas habitacionales y agrícolas con objeto de llevar a cabo la cuantificación de los daños tangibles directos e indirectos. En el caso de las zonas habitacionales, esta investigación presenta la propuesta de un nuevo método para la definición de estas curvas con base en una función de distribución beta como modelo probabilístico.

Las zonas habitacionales fueron caracterizadas en función del índice de marginación urbana (IM) del Área Geo-Estadística Básica (AGEB), definiéndose 5 tipos de AGEBS (IM muy alto, IM alto, IM medio, IM bajo e IM muy bajo). Posteriormente, se identificaron el tipo y número de bienes para cada categoría de AGEB así como su valor económico y se determinó el porcentaje de afectación de estos bienes en función del nivel que alcanzaría el agua dentro de la vivienda.

Se determinaron las curvas de costo mínimo, máximo y más probable para cada tipo de AGEB. Posteriormente, se obtuvo un modelo matemático de tipo regresivo, el cual permite estimar para cada altura de lámina de agua, el daño económico ocasionado en una vivienda.

En las zonas agrícolas, se estimaron curvas de duración de la inundación frente a daños, ya que en este caso el factor tiempo es el de mayor peso a la hora de cuantificar las pérdidas en el sector agrícola. Para cada uno de los ajustes de curvas, definidos con un modelo matemático de regresión, se obtuvieron las ecuaciones representativas de cada tipo cultivo.

Esta metodología se aplicó en un estudio de caso, la Subcuenca del río Tejalpa, la cual pertenece a la Curso Alto del río Lerma (Edo. de México). Para esta subcuenca se tienen determinadas las áreas de inundación para caudales con períodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años.

En cada una de estas áreas inundables se aplicó la ecuación de la curva de daños potenciales correspondiente y se estimaron los daños directos que provocaría una inundación con un caudal determinado. Los daños indirectos se estimaron como un porcentaje de los directos (15% en zonas habitacionales y 10% en zonas agrícolas). Se constató, que las zonas con mayores daños económicos serían las habitacionales aunque la extensión de la superficie afectada fue menor, mientras que los daños en zonas agrícolas serían más bajos, a pesar de la gran superficie que estaría afectada por la inundación.

El empleo de este nuevo método proporcionará una estimación de la magnitud de las afectaciones por inundación en México, lo cual mejoraría la evaluación de medidas pertinentes para prevenir, mitigar o reducir los costos directos ocasionados por inundaciones.

## ABSTRACT

Stage-damages curves for flood loss estimation based on the maximum water height reached allow the economic assessment of the damages generated by a flood in a river basin. In fact, this methodology is the most widespread process used in flooded areas. In this work, this assessment was applied to the case of rural and residential areas in order to carry out the quantification of direct and indirect tangible damages. In the case of residential areas, an innovative method taking into account a beta distribution function as a probabilistic model to build the most probable stage-damages curves is proposed.

The residential areas have been classified as a function of the Basic Geo-Statistical Area (BGSA) and Urban Marginalization Index (MI) obtaining five BGSA categories (MI very high, MI high, MI average, MI low and MI very low). For each ordinary house of the BGSA was identified the most common inside goods, their type, value, quantity and the percentage of affectation based on the highest water level that could be reached during a flood event. The minimum, maximum and the most probable stage-damages curves for each BGSA category were built. It was also possible to define regression mathematical models in order to represent the house-damage as a function of the highest water level reached.

In the case of rural areas, the damage curves were built taking into account the flood duration because the time is the most important factor to evaluate the agriculture flood losses. With the information obtained, it was possible to define regression mathematical models in order to represent the damage as function of the time for each crop.

This methodology was applied in a real case study over the Tejalpa river watershed, which is part of the upper basin of the Lerma river (Mexico). For each floodable area the corresponding stage-damages curve was applied and the indirect tangibles damages were computed as a percentage of the direct damages obtained (15 residential areas, 10% rural areas). The flooded areas for different returns period in the watershed under study were built (10, 20, 50 and 100 years).

It was found that areas with greater economic damage would be the residential although the extent of area affected was smaller, while damage in rural areas would be lower, despite the large area would be affected by the flood.

In conclusion, the use of this new methodology provides estimations of the loss magnitude generated by floods in Mexico. This information could improve the evaluation of measures to prevent, mitigate or reduce the direct flood damages.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PROBLEMÁTICA

Los eventos climáticos extremos representan hoy en día un problema de gran preocupación en el mundo. En efecto, las estadísticas donde se relacionan eventos climáticos con las pérdidas económicas y de vida humana son alarmantes (EM-DAT, 2009). Sin embargo, es importante distinguir la parte de este aumento de pérdidas relacionado con el incremento del número de eventos extremos, de la parte que se debe al incremento de la vulnerabilidad de la sociedad ante tales circunstancias. De hecho, es la definición misma de evento extremo la que se encuentra en entredicho. ¿Se trata únicamente de eventos circunscritos en los últimos 5% o 1% de la curva de distribución de datos climáticos extremos?, o ¿se trata de eventos donde las consecuencias son extremas en los planos financiero y humano? o ¿se trata de eventos extremos sobre el plano de la intensidad o de la distribución espacial?

También es necesario analizar si se trata de eventos extraordinarios de acuerdo con un estudio estadístico hidrometeorológico ya que este evento podría ser un caso extraordinario solamente desde un punto de vista financiero y humano con base en una combinación de factores socioeconómicos y no desde un punto de vista hidrometeorológico. En realidad, la vulnerabilidad de la sociedad ante eventos extremos crece en proporción del aumento de la población, de la urbanización y de la dependencia acrecentada de la infraestructura de comunicaciones, de transporte y de distribución de energía, así como del envejecimiento de dicha infraestructura. Un ejemplo de este incremento de la vulnerabilidad ante eventos climáticos es el fenómeno de huracanes y tornados en los Estados Unidos y las pérdidas asociadas a éstos.

El tercer reporte de evaluación del cambio climático (IPCC, 2001) establece: “Es muy probable (con un intervalo de confianza de 90-99%) que las precipitaciones se

hayan incrementado en un 0.5-1.0% por década en el siglo XX, sobre todo en las latitudes altas y medias del hemisferio norte” y que en esta misma región: “En la última mitad del siglo XX es muy probable (con un 60-90% de confiabilidad) que la frecuencia de aparición de precipitaciones fuertes se haya incrementado en 2-4%”, por lo que se concluye que: “La magnitud de las inundaciones y su frecuencia se han incrementado en muchas regiones”.

Por su parte, Palmer y Raisanen (2002) y Milly et al. (2002) muestran que el riesgo de precipitaciones extremas e inundaciones podría incrementarse en el futuro debido al aumento de los niveles de dióxido de carbono atmosférico. Estas conclusiones se basan, en el primer caso, en modelos climáticos (Mcguffie y Henderson-Sellers, 2005) de tendencias extremas y en el segundo en modelos probabilísticos en los cuales se incrementa en hasta dos veces las tasas actuales de gases de efecto invernadero. Según Palmer y Raisanen (2002), el cambio climático tendrá como efecto, en los próximos cien años, el de multiplicar por 5 la probabilidad de temporadas excepcionalmente lluviosas.

Por otro lado, de acuerdo con los análisis realizados por expertos en cambio climático (GIEC, 2006), una de las consecuencias inminentes será el incremento de la frecuencia de las precipitaciones de gran intensidad y/o magnitud localmente. La presencia de estos eventos tendrá como resultado inundaciones urbanas y desbordamientos de cauces más frecuentes en zonas inundables. Los costos asociados a estos eventos serán considerables y afectarán irremediablemente la economía de las zonas afectadas de forma importante si no se consideran medidas para su mitigación o control.

En este contexto, se espera que los efectos de las lluvias intensas y las inundaciones sean cada vez mas amplios, devastadores y costosos para la sociedad. Los derrumbes, avalanchas e inundaciones dañan las infraestructuras (red carretera, puentes, inmuebles), impactan la agricultura, (debido a la pérdida de nutrientes y la erosión del suelo además de la pérdida de cosechas), afectan el estado emocional de las personas y en general la productividad de la zona o región afectada. Las consecuencias de estos desastres pueden implicar pérdidas de vidas humanas y el suministro de enormes fondos para la reconstrucción. Las autoridades

públicas requieren estar preparadas para estas eventualidades y contar con elementos para la toma de decisiones oportunas, mismas que les lleve a definir una política de prevención y protección de las zonas y agentes económicos vulnerables. En la actualidad, las inundaciones constituyen el fenómeno hidrometeorológico que mayores impactos causan a la sociedad, por sus características en cuanto a la dimensión espacial y temporal del fenómeno (Lopardo y Seoane, 2000) ya que representa más del 50% de los desastres naturales (no biológicos) que ocurren a nivel mundial (EM-DAT, 2009).

Las inundaciones frecuentemente se producen en zonas llanas, donde suelen existir importantes asentamientos humanos ligados a los cuales existe toda una actividad económica (industrial, agropecuaria, de servicios) y, por lo tanto, cuando se produce un hecho de esta naturaleza, las pérdidas humanas, socioeconómicas e incluso ambientales suelen ser muy elevadas. Así, por ejemplo, en el año 2008 los fenómenos hidrológicos afectaron a nivel mundial a 44.9 millones de personas, con unos daños económicos valorados en 1 905 mil millones de US\$ (Rodríguez et al., 2009).

En el caso de México, hay que tener en cuenta que cada año llegan al país un promedio de 30 huracanes, de este total, cuatro o cinco suelen penetrar y causar graves daños. Por otro lado, las lluvias intensas y las consecuentes inundaciones y deslaves se presentan también de forma independiente a la temporada de ciclones y son resultado de las tormentas generadas en la época de lluvias. Los daños de estos fenómenos representan en promedio 4 500 millones de pesos anuales (CNA, 2001). Como ejemplo, se pueden citar las inundaciones provocadas por una depresión tropical que cubrió el litoral centro y sur del Golfo de México y el Istmo de Tehuantepec, en octubre de 1999. En total, según datos de la Cruz Roja Mexicana, la población afectada fue de 316 254 habitantes (67 heridos, 411 fallecidos), las viviendas dañadas 30 165, puentes afectados 102, carreteras cortadas o destruidas 264, hectáreas agrícolas dañadas 335 169 y cabezas de ganado perdidas 37 877. De acuerdo a cifras oficiales, se calculó que sería necesario al menos unos 2 mil millones de dólares para la reconstrucción (IFRC, 1999).

Más recientemente, acontecieron las inundaciones de Tabasco del 2007 (Aparicio et al., 2009) que sumergieron el 70% del territorio del estado de Tabasco con láminas de agua de hasta 4 metros y que afectaron a más de 1.5 millones de habitantes, con pérdidas económicas estimadas superiores a los 32 mil millones de pesos (CENAPRED, 2009a).

En el año 2008, destacan las inundaciones de Tabasco y Chihuahua. En Tabasco, los daños económicos se valoraron en 4.6 mil millones de pesos, la población afectada fue de 41 800 personas y hubo un deceso. En Chihuahua, se contabilizaron daños valorados en 380 millones de pesos, hubo 23 387 personas afectadas y 8 decesos (CENAPRED, 2009b).

Ante esta problemática, diferentes estrategias de adaptación deberán ser implementadas para contrarrestar los posibles efectos de un cambio climático, pero sin duda, una mejor evaluación de daños potenciales y riesgos constituye un elemento esencial de dichas estrategias.

En este sentido, la primera estrategia de gran importancia será la gestión del territorio, es decir, siempre será menos costoso evitar la construcción en zonas potencialmente afectables por inundación, erosión, etcétera, que llevar a cabo la construcción de infraestructura resistente a tales eventos, y esto, cuando ello sea posible.

Sin duda alguna, una gran parte del incremento de daños causados por eventos extremos, particularmente en el caso de inundaciones, provienen de la utilización de zonas ubicadas en las planicies de inundación. Una estrategia complementaria, consistirá en la concepción e implementación de nuevas normas de construcción de infraestructura teniendo en consideración la presencia potencial de estos eventos extremos. Aún cuando esta estrategia requiere de inversiones significativas, siempre resultarán menos costosas que la compensación de los daños generados, pues aún cubriendo los daños ocasionados, la vulnerabilidad ante otro evento permanece presente.

Finalmente, será necesario tener en consideración la concepción e implementación de sistemas de previsión y alerta ante eventos extremos (huracanes, inundaciones,

sequías, etc.), así como el diseño e implementación de planes de urgencia como medios eficaces para reducir costos económicos y humanos.

Afortunadamente, la reducción de los desastres por inundaciones ya no es un tema marginal, y los tomadores de decisiones están aplicando acciones que permitan reducir el impacto de estos eventos y de hecho muchas de estas acciones se han implementado con éxito en diversos países propensos a estos desastres (Lopardo y Seoane, 2000). En México, se trabaja en el desarrollo de los planes de emergencia, los sistemas de alerta hidrometeorológica y de los centros regionales para atención de emergencias para la disminución de los riesgos por inundaciones (CNA, 2001) además de las acciones de alerta que anticipen y reduzcan los efectos destructivos de estos fenómenos, es necesario realizar una serie de obras de protección y regulación en cauces que disminuyan el riesgo de daños a las personas y/o sus bienes.

En la decisión de qué tipo de acciones de protección hay que tomar frente a una inundación, no sólo se deben tener en cuenta cuestiones técnicas, sino también sociales y económicas. Un punto importante es saber si el costo de cierta medida de protección puede superar los daños que se producen por una inundación. Este costo económico de la inundación se puede comparar entonces con diversas medidas de protección de forma que se puede efectuar un análisis económico de cuál es la medida más favorable, para que con un mínimo costo se obtenga una mayor disminución de los daños por inundación.

Estos análisis económicos de daños resultan de gran importancia para la administración de riesgos, por ejemplo, para aseguradoras, que pueden categorizar las zonas de mayor susceptibilidad para establecer el monto de las primas: Así, los bancos utilizarán estos análisis como criterios para el avalúo de las propiedades, la determinación del nivel de riesgo de recuperación y eventualmente las tasas de interés.

## 1.2. HIPÓTESIS

Las principales hipótesis del presente trabajo son:

- a) es posible construir una metodología con base en las mejores prácticas vigentes a nivel internacional para la estimación de daños tangibles directos por inundación con aplicación a países en vías de desarrollo y particularmente para México;
- b) es posible contribuir de forma original en el diseño de la nueva metodología de estimación considerando al fenómeno “costo de inundación” como una variable aleatoria que presenta dos límites y modelándole probabilísticamente con una función de distribución tipo beta; y
- c) Es posible diseñar la nueva metodología con aplicación estandarizada a nivel nacional con base en información disponible a través de INEGI y fuentes oficiales de fácil acceso.

## 1.3. OBJETIVOS

Objetivo General: Conceptualizar, desarrollar y validar, a partir de un estudio de caso, una metodología aplicable a la República Mexicana que permita valorar económicamente los principales daños potenciales tangibles provocados por una inundación.

Los objetivos específicos son:

- a) Conceptualizar y desarrollar una metodología para:
  - La identificación de daños tangibles provocados por una inundación.
  - La selección del tipo de bienes dañados y definición de la estrategia de cuantificación.
  - La evaluación de daños tangibles por inundación, más pertinente para la República Mexicana.
- b) Validar la metodología propuesta en un estudio de caso a través de:

- La construcción de la base de datos con la información disponible sobre las características físicas, hidrológicas y socioeconómicas de las áreas inundables de la zona de estudio.
- La evaluación de las condiciones socio-económicas de las áreas inundables.
- La definición de los pasos para elaborar y evaluar las curvas de daños económicos vs altura de agua o vs duración de la inundación.
- La construcción de las curvas de daños y su aplicación al estudio de caso.
- La validación de la metodología propuesta a través del análisis de un caso de estudio.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Con base en la revisión de literatura efectuada para el sustento del desarrollo de este trabajo de investigación, se considera que el cumplimiento el objetivo marcado permitirá alcanzar contribuciones científicas y prácticas en la estimación de daños tangibles directos ocasionados por eventos hidrológicos extremos. Las metodologías internacionales actuales, no fueron diseñadas en el contexto de un país en vías de desarrollo, donde la infraestructura expuesta a la inundación es muy diferente y la existencia de información discrepa del grado de detalle y calidad exigida por dichas metodologías. Adicionalmente, en la propuesta metodológica presentada se aprovecha la información que a nivel nacional existe a través del INEGI y otras dependencias para ser utilizada como elemento importante en la definición de los costes buscados. En la práctica esta estimación de daños implica una excelente herramienta que facilitará la toma de decisiones ante el análisis de este tipo de fenómenos naturales.



## CAPÍTULO 2

# MARCO TEÓRICO

### 2.1. INUNDACIONES

Sobre el término inundación se pueden encontrar diversas definiciones (Kobiyama y Fabris-Goerl, 2007). Sin embargo, como definición general, se puede indicar que una inundación se produce cuando una zona terrestre queda momentáneamente cubierta por agua. Ello se puede deber, principalmente, al almacenamiento de agua de lluvia por el escaso drenaje, a mareas de viento, o bien al desbordamiento de ríos y arroyos (Cruickshank, 1974). Otra definición, para una inundación ligada a un río o cauce, señala que se trata del proceso de desbordamiento de las aguas de un río hacia fuera de su cauce natural o artificial, trayendo consigo el anegamiento progresivo, en forma lenta, de grandes extensiones de terreno, con períodos de duración de días, semanas o meses, siendo un fenómeno que se produce en zonas planas aluviales (López, 2002).

Las inundaciones se han ido produciendo a lo largo de toda la historia del hombre, pero se ha podido comprobar que la probabilidad de que acontezca una inundación se ha incrementado en las últimas décadas, principalmente, debido fundamentalmente a la combinación de los siguientes factores (López, 2002):

- a) El acelerado crecimiento de la población, caracterizado por una concentración demográfica urbana que se ubica en terrenos inundables.
- b) El mal manejo de las cuencas altas de los ríos, lo cual se manifiesta con la deforestación, quema de bosques, incendios forestales, mal uso del suelo, construcciones de comunicación y transporte inapropiadas, impermeabilización de los suelos en la cuenca urbana, etcétera. Todos estos procesos han alterado los regímenes hidrológicos de los ríos, ocasionando hidrogramas de crecidas, que se caracterizan por un gran arrastre de sedimentos y caudales de estiaje cada vez más pequeños.

- c) Los eventos de lluvias extremas, los cuales superan la capacidad de amortiguación de una cuenca, trayendo como consecuencia el desbordamiento del cauce.

El fenómeno de "El Niño", unido a los factores anteriormente mencionados, constituye otro parámetro de riesgo global que favorece la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, ya que trae consigo cambios bruscos en los regímenes de precipitaciones, la elevación del nivel del mar y las variaciones en las temperaturas (CICESE, 2003).

El fenómeno de "El Niño", no solamente se refiere a la aparición de corrientes oceánicas cálidas en las costas de Suramérica, sino también a la alteración del sistema global océano - atmósfera que se origina en el Océano Pacífico Ecuatorial (es decir, en una franja oceánica cercana al Ecuador), generalmente durante un período de tiempo comprendido entre diciembre y marzo. Este fenómeno se presenta a intervalos de dos a siete años y se caracteriza porque la superficie del mar y la atmósfera sobre él presentan una condición anormal durante un período que abarca de doce a dieciocho meses. El fenómeno se inicia en el Océano Pacífico Tropical, cerca de Australia e Indonesia, y con él se altera la presión atmosférica en zonas muy distantes entre sí, se producen cambios en la dirección y en la velocidad de los vientos y se desplazan las zonas de lluvia en la región tropical (CICESE, 2003).

### 2.1.1. Tipos de inundaciones

Las inundaciones pueden clasificarse de acuerdo con su origen en (Bremer y Lara, 2001):

- **Pluviales:** se deben a la acumulación de la precipitación que se concentran en terrenos de topografía plana o en zonas urbanas con insuficiente o nulo drenaje.
- **Fluviales:** son aquellas que se originan cuando los escurrimientos superficiales son mayores a la capacidad de conducción de los cauces.

- **Lacustres:** se originan en los lagos o lagunas por el incremento de sus niveles de agua.

Las inundaciones pluviales pueden ser repentinas o urbanas. Las inundaciones repentinas ocurren generalmente cuando se presenta una lluvia intensa ya sea sobre el área afectada o cuenca arriba, sin señal visible de lluvia en el área. Las inundaciones urbanas se presentan durante tormentas severas o lluvias intensas que causan encharcamiento en áreas bajas o pobremente drenadas como carreteras, vados, pasos a nivel, etc. Estas inundaciones prevalecen especialmente en áreas donde la escorrentía natural y los cauces han sido alterados por actividades humanas. Aunque la inundación urbana no siempre amenaza necesariamente la vida de los residentes, éstos necesitan estar informados y estar preparados para ello, ya que su aparición puede causar grandes trastornos y daños materiales. Las inundaciones pluviales repentinas y las fluviales son las que más daños causan al sector agrícola (Bremer y Lara, 2001).

En las últimas décadas, se han manifestado con mayor frecuencia, el tipo de inundación de penetración marina en zonas costeras, asociados a mareas de leva, tormentas extratropicales severas y otros fenómenos hidrometeorológicos extremos. La clasificación que presentan Kobiyama y Fabris-Goerl (2007) hace énfasis en el desastre, y definen un índice cuantitativo para diferenciar una inundación (*flood*) de una inundación repentina (*flash flood*). Estos autores realizan una revisión de las diversas definiciones y comprueban que cuando se aborda la definición de inundación una consideración común es que una inundación cubre un área seca, denominada llanura de inundación, y que esta inundación es consecuencia de lluvias continuas por lo que la elevación del nivel del agua es lenta y por lo tanto la población puede ser alertada con tiempo suficiente. Los daños que provoca esta inundación son muy elevados ya que la superficie inundada abarca una gran extensión. Por otro lado, ya que existe un cierto tiempo para tomar medidas de previsión, las pérdidas humanas son mínimas en comparación con las inundaciones repentinas.

Por su parte, cuando se define una inundación repentina se especifica que estas ocurren de forma inesperada y violenta y que las áreas afectadas suelen ser poco

extensas pero que se producen graves daños tanto en bienes materiales como no materiales. Estos daños ocurren en las inmediaciones de los ríos, y aunque los daños totales no son muy elevados, los daños a nivel individual a estructuras o a personas pueden ser elevados debido a la alta velocidad del agua. En varias de las definiciones se indica un tiempo que transcurre entre el momento de la precipitación y el momento en que se produce la inundación. Este tiempo se define en algunos casos de 6 horas y en otros de 12 horas.

El índice que proponen Kobiyama y Fabris-Goerl (2007) es el siguiente:

$$OEI = \frac{T_c}{T_o} \quad (2.1)$$

Donde: OEI es el *Operation Efficiency Index*,  $T_c$  es el tiempo de concentración de la inundación y  $T_o$  es el tiempo de respuesta frente al evento del organismo gubernamental o la comunidad. Si el valor de  $OEI > 1$ , se trataría de una inundación “normal” con tiempo suficiente para salvar vidas, mientras que si  $OEI < 1$  se trata de una inundación repentina, con muy poco tiempo para salvar vidas. Con este índice se diferencia una inundación de una inundación repentina como desastre y no como fenómeno natural.

### 2.1.2. Impactos por inundaciones

Lopardo y Seoane (2000) indican que las inundaciones constituyen el fenómeno hidrometeorológico que mayores impactos causan a la sociedad, por sus características en cuanto a la dimensión espacial y temporal del fenómeno. Estos autores igualmente señalan que los desastres debidos a inundaciones suponen, aproximadamente, un tercio de todas las catástrofes naturales que se producen alrededor del mundo, al menos en cuanto a pérdidas económicas, y son la causa de al menos más de la mitad de las víctimas fatales. En la década de 1990-2000, las pérdidas sumaron más de 250 mil millones de dólares.

Según el Centro de Investigaciones sobre Epidemiología de Catástrofes (CRED) de la Universidad de Lovaina (Bélgica), las inundaciones y los deslizamientos representan el 61% de todos los desastres naturales ocurridos entre 1980 y 2001 (CRED, 2002). En la tabla 2.1 se presenta la distribución de los eventos

relacionados con los desastres naturales y su impacto, donde se puede apreciar cómo las inundaciones y deslizamientos se encuentran en primer lugar para el período 1980 – 1999.

En la tabla 2.2 se presentan los desastres naturales y sus impactos a nivel mundial para el año 2008 comparando con valores promedio para el período 2000 – 2007, con especial referencia a los daños económicos causados por dichos desastres (Rodríguez et al., 2009), en la cual se puede apreciar que las inundaciones y los deslizamientos siguen siendo los desastres más frecuentes.

Tabla 2.1 Desastres naturales y sus impactos a nivel mundial 1980 -1999 (CRED, 2002)

	1980-1989			1990-1999		
	No. eventos	No. muertes	No. afectados ('000)	No. eventos	No. muertes	No. afectados ('000)
<b><i>Inundaciones y deslizamientos</i></b>	<b>699</b>	<b>67 330</b>	<b>543 376</b>	<b>939</b>	<b>103 150</b>	<b>1 429 177</b>
Tormentas	670	43 923	138 453	784	209 526	258 622
Terremotos	292	55 794	31 629	226	101 873	17 189
Volcanes	40	24 972	701	51	975	2 085
Otros (*)	541	610 961	740 468	744	377 477	253 790
<b>TOTAL</b>	<b>2 242</b>	<b>802 980</b>	<b>1 454 627</b>	<b>2 744</b>	<b>793 001</b>	<b>1 960 863</b>

(\*) Sequías, epidemias, temperaturas extremas, hambrunas, plagas, oleadas e incendios forestales

Tabla 2.2 Desastres naturales y sus impactos a nivel mundial para el año 2008 y valores promedio para el periodo 2000 - 2007 (Rodríguez et al., 2009)

EVENTOS NATURALES	No. eventos		No. afectados (millones)		Daños (miles de millones de US\$)	
	2008	2000-2007	2008	2000-2007	2008	2000-2007
<b><i>Inundaciones y deslizamientos</i></b>	<b>178</b>	<b>196</b>	<b>44.9</b>	<b>105.9</b>	<b>19.5</b>	<b>19.9</b>
Tormentas	112	107	15.9	41.7	60.7	52.6
Terremotos y volcanes	32	37	47.8	4.2	85.8	11.6
Otros (*)	32	57	105.6	79.5	24.4	7.4
<b>TOTAL</b>	<b>354</b>	<b>397</b>	<b>214.3</b>	<b>231.2</b>	<b>190.3</b>	<b>91.6</b>

(\*) Sequías, temperaturas extremas e incendios forestales

También hay estudios donde se presentan estimaciones sobre la población que estaría en riesgo por inundación en escenarios de cambio climático. Según Hirabayashi y Kanae (2009) si en la actualidad el número de personas que sufren inundaciones oscila entre 20 a 300 millones de personas por año; en el futuro, en años de escasas inundaciones, el número de personas afectadas estaría en torno a los 300 millones si el incremento de temperatura fuese de 3°C, población que equivale hoy en día a la afectada en años de extremas inundaciones.

Los daños producidos por las inundaciones dependen de diversos factores (Estrada, 1996, Ayala et al., 1986):

- altura media de la lámina de agua y/o altura local del agua en la zona inundada,
- época del año en que se produce,
- 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.

### **2.1.3. Control de inundaciones**

La amenaza hidrometeorológica, referida a la ocurrencia de eventos destructivos de lluvias, tiene un carácter incontrolable, pero su componente hidráulico, es decir la ocurrencia de crecidas destructivas, puede ser controlable en el largo y mediano plazo si se aplican técnicas adecuadas de gestión de cuencas hidrográficas y se implementan planes, programas y acciones de defensa que integren tanto medidas estructurales como no estructurales (Estrela, 1996).

Las medidas estructurales, tal como se definen, implican, generalmente, la construcción de obras, y dado que han sido las tradicionalmente utilizadas, y por ello son mucho más conocidas, a continuación se hace una simple enumeración (Estrela, 1996):

a) Medidas que reducen los caudales pico:

- ◆ Embalses de laminación.
- ◆ Establecimiento de zonas controladas de almacenamiento.
- ◆ Cauces de emergencia y trasvases.
- ◆ Conservación de suelos y reforestación.

b) Medidas que reducen los niveles de inundación para un umbral de caudal dado:

- ◆ Encauzamiento.
- ◆ Reducción de remansos procedentes de aguas abajo.
- ◆ Protección y limpieza de cauces.
- ◆ Corrección de cauces.

c) Medidas que reducen la duración de la inundación.

- ◆ Obras de drenaje.

d) Medidas que modifican la susceptibilidad al daño en las estructuras existentes:

- ◆ Instalación de cierres temporales o permanentes en aperturas de estructuras o edificaciones y uso de materiales resistentes al agua en estructuras nuevas o ya existentes.
- ◆ Relocalización de estructuras y sus contenidos fuera de un área susceptible de daños por inundación.
- ◆ Construcción de las estructuras nuevas sobre columnas o terraplenes.
- ◆ Centrales de bombeo, sistema indispensable para extraer las aguas de lluvia que se acumulan dentro de los recintos cerrados (*polders*) de protección de las ciudades y drenarlas hacia el curso fluvial donde el nivel del agua es superior al nivel interior del recinto.

Entre las medidas no estructurales se tienen aquellas que gestionan el futuro desarrollo de la zona inundable (Estrela, 1996; Lopardo y Seoane, 2000):

- ◆ Regulación de la llanura de inundación por ordenanzas de zonificación y usos del suelo.

- ◆ Relocalización o protección de las propiedades de valor dentro de una estructura ya existente.
- ◆ Normas de construcción en la cuenca para evitar un aumento de la vulnerabilidad ante crecidas.
- ◆ Seguro frente a inundaciones.
- ◆ Educación ambiental de la población que habita en zonas expuestas a las inundaciones.

Además, se tienen las medidas que dan una respuesta a las inundaciones basándose en mecanismos de prevención como es la instalación de sistemas de previsión y aviso de avenidas con un plan de evacuación apropiado.

A partir de los años setenta, en Estados Unidos se dio prioridad a la aplicación de medidas no estructurales, alentando a las comunidades a adoptar programas de gestión de las llanuras de inundación, que combinan la zonificación y uso del suelo, los códigos de construcción y la planificación para las situaciones de emergencia (Estrela, 1996).

#### **2.1.4. Evaluación de alternativas para el control de crecidas**

Para determinar las alternativas de control de crecidas más adecuadas se suele realizar un análisis económico de daños potenciales, los cuales dependerán de las características de la zona inundable (Estrada, 1996).

En zonas donde los daños en agricultura y viviendas sean pequeños, la política más adecuada puede consistir en admitir los daños que se produzcan. Las medidas estructurales constituyen el único medio de protección de los cultivos, pero su justificación económica requiere cultivos de alto rendimiento o inundaciones frecuentes.

Si las edificaciones son escasas o se encuentran dispersas puede ser más adecuado acudir a protecciones individuales. Pero, si la densidad de edificaciones aumenta pueden ser menos costosas las medidas estructurales.

Lo mismo sucede con las medidas de ordenación del territorio, que resultan más adecuadas en zonas de escaso desarrollo urbano. Al aumentar el grado de desarrollo será más conveniente la implementación de medidas estructurales. De cierta forma, la ordenación del territorio puede considerarse como un medio de retrasar la ejecución de medidas de tipo estructural, dotando de mayor flexibilidad a los planes de reducción de daños.

Aunque la mayor parte de los organismos gubernamentales, planificadores y responsables de la política tienen una adecuada percepción y comprensión de las inundaciones, no ocurre lo mismo con muchos particulares.

El conocimiento público de las inundaciones, la previsión de inundaciones futuras y la buena disposición para aceptar las adaptaciones causadas por el peligro son muy variables.

## **2.2. DAÑOS ECONÓMICOS POR INUNDACIONES**

Una herramienta importante para la correcta formulación de lo planteado en el epígrafe anterior lo constituye el análisis de los daños económicos potenciales causados por las inundaciones, lo cual constituye una necesidad común en la planificación de recursos hídricos, pues permite evaluar la efectividad de los proyectos diseñados para mitigar los efectos de estas inundaciones, además de determinar la viabilidad económica de los proyectos destinados al control de crecidas, ya que basta comparar los beneficios que producen, es decir, los daños evitados, con los costos de las medidas de control y mitigación. Estos costos han de incluir tanto los de construcción, como los de operación, mantenimiento y reparación.

Estos análisis económicos de daños resultan de gran importancia para la administración de riesgos, ya que por ejemplo:

- Las aseguradoras pueden categorizar las zonas de mayor susceptibilidad para establecer el monto de las primas o cláusulas en los seguros.

- El sistema bancario utilizará estos análisis como criterios para el avalúo de las propiedades, la determinación del nivel de riesgo de recuperación y eventualmente de las tasas de interés (hipotecas).

### 2.2.1. Tipología de los daños

En los análisis de los daños producidos por crecidas pueden diferenciarse cuatro tipos: directos, indirectos, intangibles y de incertidumbre (Estrada, 1996).

Los daños directos hacen referencia a las pérdidas producidas por el contacto físico con el agua. Se suelen valorar por medio de los costes de reposición, reparación o rehabilitación de los bienes afectados. En el caso de daños en cultivos es habitual realizar la valoración a partir del efecto neto en los ingresos de los agricultores.

Los daños indirectos incluyen el costo adicional por desvíos alrededor del área inundada, las pérdidas derivadas de la interrupción de servicios y las pérdidas en negocios, salarios, costos de limpieza después de la inundación, etc. También suelen incluir los incrementos de costes en tareas de previsión y alarma, las evacuaciones y los alojamientos temporales en zonas libres de peligro.

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

Los daños de incertidumbre se refieren a la inseguridad que sufren los habitantes de una zona inundable respecto al momento y magnitud de la próxima crecida. Representan la diferencia entre el valor de los daños esperados y lo que estarían dispuestos a pagar los ocupantes de la zona para evitar unas pérdidas que son altamente variables de unos años a otros y que, en ocasiones, pueden alcanzar proporciones catastróficas.

Otra clasificación de daños es la que presenta James y Lee (1971), autores que señalan que los daños tangibles son los daños que pueden ser medidos con base en un valor monetario, mientras que los daños intangibles no pueden ser medidos en tales términos. Los daños tangibles pueden ser divididos en dos subtipos, los daños directos, producidos por contacto con el agua o por sumersión, y los daños

indirectos que son los daños causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas e incluyen, por ejemplo, la interrupción del transporte carretero, de los servicios públicos, pérdidas en salarios y beneficios en los negocios, así como otras consecuencias de las inundaciones como los costos por el desagüe de las inundaciones.

Nascimento et al. (2007) presentan una clasificación bastante detallada de estos daños en el caso de áreas urbanas, además de presentar ejemplos de cada uno de éstos, tal y como se detalla en la tabla 2.3.

Asimismo, señalan los anteriores autores, que las diferencias entre daños tangibles e intangibles se relacionan con la dificultad de asignar valores monetarios a dichos daños. Como ejemplo, los daños físicos causados por una inundación en una construcción pueden ser estimados por medio de la evaluación del costo de reparación, por lo tanto es un daño tangible. Por otro lado, el estrés y la ansiedad causada por una inundación o por la expectación de su suceso, son ejemplos de daños intangibles, debido a la dificultad de evaluar estos estados emocionales de forma monetaria.

Estos mismos autores, en lo que se refiere a los daños directos e indirectos; detallan que en el caso de las zonas urbanas, los daños directos resultan del contacto directo del agua con las viviendas, negocios y edificios públicos, produciéndose su deterioro físico. Los daños indirectos se originan por los inconvenientes causados en el sistema productivo. Esto se refleja en la reducción de las actividades económicas así como en las pérdidas en la recaudación de impuestos, los costos de los servicios de emergencia y de protección civil, el aumento de los costos de seguro, el desempleo y la reducción de salarios, entre otros.

Tabla 2.3. Clasificación de daños por inundación en zonas urbanas (Nascimento et al., 2007)

SECTOR	DAÑOS TANGIBLES		DAÑOS INTANGIBLES	
	DIRECTOS	INDIRECTOS	DIRECTOS	INDIRECTOS
<b>Viviendas</b>	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
<b>Comercio y servicios</b>	Daños físicos al edificio, su estructura y su contenido Pérdidas o daños de existencias	Costos de limpieza Pérdidas de beneficios Desempleo Pérdidas de bases de datos	Pérdidas de vidas humanas	Estrés psicológico y estados de ansiedad. Daños a la salud a largo plazo
<b>Industrial</b>	Daños físicos al edificio, su estructura y su contenido (maquinaria) Pérdidas o daños de materias primas y existencias	Costos de limpieza Pérdidas de beneficios Desempleo Pérdidas de bases de datos	Pérdidas de vidas humanas	Estrés psicológico y estados de ansiedad. Daños a la salud a largo plazo
<b>Equipamiento público y servicios</b>	Daños físicos al edificio, su estructura y su contenido	Costos de limpieza e interrupción de servicios Costos de los servicios de emergencia	Pérdidas de vidas humanas	Estrés psicológico y estados de ansiedad. Daños a la salud a largo plazo Inconvenientes debido a la interrupción de los servicios
<b>Infraestructura</b>	Daños físicos al patrimonio (carreteras, puentes, acueductos, oleoductos, torres eléctricas, conducciones de agua, etc.)	Costos de limpieza e interrupción de servicios	Pérdidas de vidas humanas	Inconvenientes debido a la interrupción de los servicios
<b>Patrimonio cultural e histórico</b>	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

Un ejemplo de la evaluación de los daños indirectos es el que presenta Sarmiento (2007), investigador que realizó un estudio sobre el efecto de las inundaciones en la tasa de empleo en Estados Unidos, comprobando que cuando se produce una inundación el empleo decrece un 3.4% (en promedio) y que este descenso en el empleo no persiste más de un año; aunque se concentre la pérdida de empleo en el año en que acontece la inundación. Este desempleo se constituye en una pérdida permanente en el nivel de riqueza tanto a título individual como de la comunidad.

La cuantificación de los daños intangibles es complicada y dificultosa debido a su subjetividad, sin embargo, resulta interesante realizar una aproximación a su cuantificación o convertir los daños intangibles en términos monetarios. Lekuthai y Vongvisessomajai (2001) proponen una metodología para dar un valor a estos daños la cual tiene en cuenta factores económicos, sociales e ingenieriles.

En realidad, algunas de las pérdidas pueden ser circunstanciales, ya que por ejemplo, la reducción de la actividad económica en el área inundada puede resultar en el incremento de la actividad económica en áreas no afectadas y que son capaces de suplir el mercado con las mismas clases de productos. En el mismo sentido, ciertos mercados como el de los materiales crecen temporalmente durante el periodo de la reconstrucción (Nascimento et al., 2007).

Por otro lado, dentro de los daños económicos que causan las inundaciones, también se incluyen los de tipo ambiental (ONU, 1999). Estos daños ambientales son consecuencia de impactos directos y/o indirectos. Los impactos directos son aquellos que afectan el patrimonio natural, ya que se produce la pérdida o alteración grave del mismo y ocurren inmediatamente después de fenómenos hidrometeorológicos. Estos impactos perjudican la biodiversidad, los nichos ecológicos, los suelos y el agua. Los impactos indirectos aparecen luego de que los directos desaparecen y suelen provocar los daños más severos. Estos impactos indirectos se pueden clasificar de la siguiente forma:

1. Pérdida en el valor de los servicios ambientales, especialmente de aquellos provenientes de recursos naturales relacionados con la protección de las fuentes de agua, biodiversidad, y el valor escénico así como científico de los ecosistemas.

2. Pérdida de la capacidad y productividad de los ecosistemas naturales, especialmente de la producción forestal, hídrica, energética, medicinal y alimenticia.
3. Limitación de la capacidad productiva agrícola de los suelos como consecuencia del aumento de la erosión y de la contaminación de los mismos por arrastres de residuos.
4. Incremento de los costos por saneamiento ambiental debido a la contaminación de las aguas, destrucción de refugios de animales vectores de enfermedades y propagación de agentes patógenos.
5. Desplazamiento de enfermedades y de plagas de insectos así como roedores de importancia en la agricultura a nuevas áreas, principalmente por la destrucción de los cultivos. Se considera que las plagas y enfermedades entrarán en procesos de adaptación en las nuevas áreas de cultivo.
6. Alteración de los hábitats de desarrollo de la biodiversidad.
7. Degradación de las cuencas hidrográficas a causa de la destrucción de la cubierta vegetal, la erosión de los suelos, las cárcavas y azolvamiento, todo lo cual incrementa el desequilibrio provocado por actividades antropogénicas.

### **2.2.2. Categoría de los daños**

La consideración de diferentes categorías de daños permite agrupar los diversos bienes susceptibles de ser dañados en conjuntos específicos con características similares a efectos de análisis. Mediante este procedimiento se simplifica considerablemente el proceso de evaluación de daños.

El número y tipo de categorías que se establezcan dependerá de las características de cada problema concreto y del grado de detalle del estudio. En estudios generales puede ser suficiente, por ejemplo, establecer una categoría residencial para agrupar todos los daños que se producen en viviendas. En estudios de mayor detalle será conveniente diferenciar varios tipos de viviendas en función de sus características constructivas.

### 2.3. VALORACIÓN DE LOS DAÑOS

El control absoluto de las crecidas es raramente factible, tanto desde el punto de vista físico como económico. Lo que se persigue, por tanto, es reducir los daños a un nivel mínimo consistente con los costos necesarios para alcanzar dicha reducción.

Las actuaciones de defensa contra avenidas pueden proteger las zonas potencialmente inundables de dos formas diferentes: reduciendo la inundación o bien disminuyendo la propia susceptibilidad de los daños. Las medidas dirigidas a reducir la inundación pueden afectar a las condiciones hidrológicas, hidráulicas y económicas de la zona, mientras que las medidas que actúan sobre la susceptibilidad de los daños sólo modifican las condiciones económicas.

La estimación de daños en zonas inundables implica cuatro tipos de análisis (Boyle et al., 1998):

1. Análisis hidrológico de frecuencias. Permite el pronóstico de caudales, eventos extremos y simulación de esorrentía, todo ello mediante el uso de modelos hidrológicos. También se pueden emplear registros históricos para establecer el intervalo de recurrencia de determinados caudales.
2. Análisis de peligros. Se enfoca en los tipos de peligros relacionados con las inundaciones y, por consiguiente, de los daños que provoca (daños tangibles y daños intangibles). Una vez definidos el rango de los peligros potenciales, se realiza un análisis de exposición para estimar la extensión y la severidad de los daños.
3. Análisis de exposición a peligros. Este análisis tiene como objetivo estimar la extensión y seriedad de los daños y la magnitud de las pérdidas. La magnitud de las pérdidas debida a la inundación y su distribución en la llanura de inundación va a depender de factores hidrológicos (profundidad de la inundación, velocidad de ascenso del nivel del agua, propagación del frente de inundación, duración de la inundación, carga de sedimentos, tiempo), usos de suelos (tipo y valor de las propiedades afectadas) y factores

humanos (medidas preventivas tomadas por la población que vive en áreas inundables).

4. Análisis de daños. Implica estimar el impacto de la exposición en términos del costo de reemplazar o restaurar las áreas afectadas. Una aproximación utilizada normalmente es el método de correlación, en el cual se asume que la profundidad de la inundación es el factor determinante para estimar una función de daño. Estas funciones se basan frecuentemente en una correlación entre el daño estimado y las características hidrológicas y económicas de la llanura de inundación.

Dentro de los análisis de daños, se enmarca la evaluación socioeconómica de los daños provocados por inundación, la cual generalmente se enfoca en los daños tangibles. Esta evaluación es posible efectuarla bajo tres diferentes procedimientos metodológicos (Nascimento et al., 2007):

1. Métodos conceptuales. Estos métodos incorporan métodos económicos desarrollados con el objetivo de evaluar daños o activos ambientales. La hipótesis en la cual se fundamenta este método postula que el mercado es capaz de incorporar el riesgo de inundación y por tanto adecuar procedimientos que puedan estimar el valor asignado por el mercado a este tipo de riesgos. La principal ventaja de este método es la capacidad de incorporar la estimación de los daños tangibles e intangibles, sin embargo, son difíciles de implementar debido a las incertidumbres asociadas; por ejemplo el recuerdo de inundaciones pasadas y la percepción de riesgo por parte de la población. En este sentido, estos métodos han sido usados con más frecuencia en un contexto académico.
2. Análisis de vulnerabilidad. Este procedimiento metodológico se enfoca en la asociación del riesgo de inundación con los daños potenciales y los medios disponibles para enfrentar el riesgo. La evaluación de la vulnerabilidad toma en cuenta las acciones de planeación anticipada, los medios financieros para recuperar las áreas afectadas, la existencia de cobertura de seguros, etc.

Este análisis se fundamenta en la hipótesis de que el más alto costo provocado por una inundación está asociado con la alta vulnerabilidad frente a la inundación que presenta un área dada. Este enfoque ha sido frecuentemente criticado porque sólo considera los impactos económicos y financieros, y no toma en cuenta la complejidad de problemas asociados que implica considerar variables ambientales, políticas y sociales. Más recientemente, se tiende a considerar la vulnerabilidad como una expresión directa de la debilidad del sistema socioeconómico frente al riesgo de inundación. Este análisis de vulnerabilidad está basado normalmente en el uso de indicadores.

3. Métodos de evaluación directa. Estos métodos se enfocan en la evaluación de las descripciones precisas y detalladas de los impactos causados, tomando en cuenta los inventarios de daños realizados en áreas afectadas (evaluados *a posteriori*) o en la construcción de escenarios de daños con base en una definición detallada de las patologías (evaluación *a priori*). Estos procedimientos relacionan los daños con las variables hidráulicas asociadas con las inundaciones tales como profundidad de la inundación, duración de la inundación y velocidad del flujo en áreas inundadas. Esta evaluación incluye daños directos e indirectos, aunque la mayoría de las aplicaciones se centran en daños directos.

Uno de los estudios más detallados empleado un método de evaluación directa es el de Penning-Rowse y Chartteton (1979) para los sectores agrícolas, industriales, servicios, comercial y residencial, basado en un análisis *a priori*; y más recientemente el de Jonkman et al. (2008) en Holanda, cuyo trabajo se basó en el uso de un Sistema de Información Geográfica y la integración de un modelo hidroeconómico. Otros ejemplos son el de Boyle et al. (1998) en Canadá, Lekuthai y Vongvisessomajai (2001) en Tailandia, Renyi y Nan (2002) en China, Dutta et al. (2003) en Japón, Nascimento et al. (2007) en Brasil, Baró et al. (2007a, 2007b) en México y Luino et al. (2009) en Italia.

Con base en la literatura existente sobre este tipo de fenómenos se aprecia que los métodos de evaluación directa son los más desarrollados y utilizados alrededor del planeta. Uno de los métodos más comunes es el basado en la integración de una función daño económico / profundidad de la inundación. En general, una misma profundidad de inundación causa diferentes daños a diferentes tipos de usos del suelo (Lekuthai y Vongvisessomajai, 2001).

Últimamente también se ha incluido el factor duración de la inundación (Lekuthai y Vongvisessomajai, 2001); en este caso la inundación se divide en tres períodos: el primer período se extiende desde el inicio de la inundación hasta el pico, el segundo período abarca desde el pico hasta el final de la inundación, y el tercer período comprende el posperíodo de inundación cuya duración varía en función de la duración de la inundación. Tomando en consideración estos tres períodos se pueden hacer los cálculos de daños para cada uno de ellos.

La valoración de los daños potenciales tangibles en una zona inundable se puede llevar a cabo de varias formas como es la realización de encuestas, uso de bases de datos, trabajos de campo y/o mediante el análisis de los daños producidos en crecidas históricas. Entre estos métodos, el método más usual es el uso de una base de datos espacial que incluye información sobre usos del suelo, características hidráulicas y actividades humanas. Esta base de datos será el soporte para determinar los tipos, severidad y localización de los daños ocasionados por una inundación (Boyle et al., 1998). La información sobre usos del suelo y actividades humanas debe incluir, por ejemplo, las características demográficas, la propiedad del suelo, el valor del suelo, tipos de viviendas, tipos de cultivos, etc.

Para el caso de daños tangibles indirectos se suelen estimar como un porcentaje fijo de los daños directos. Los porcentajes que han sido propuestos por Kates (1965) son los más empleados, y fueron obtenidos a partir del análisis de varios estudios realizados por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América en diversas cuencas hidrológicas que abarcaron un amplio rango de características. Los valores de estos porcentajes son los presentados en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Porcentaje aplicado a los daños directos para el cálculo de daños indirectos (Kates, 1965)

CONCEPTO	PORCENTAJE
Zonas residenciales	15%
Áreas comerciales	35%
Áreas industriales	45%
Servicios públicos	10%
Propiedades públicas	34%
Zonas agrícolas	10%
Carreteras	25%
Ferrocarriles	23%

Estos porcentajes son aceptados por razones prácticas, ya que el tiempo que se requiere para un análisis detallado de los daños indirectos es demasiado grande para que pueda justificarse el empleo de este tiempo en un estudio particular de una inundación dada (James y Lee, 1971).

Ayala et al. (1986) señalan que una de las principales dificultades que se presenta en la evaluación de los daños tangibles indirectos es la definición de los límites en que la inundación afecta a la cadena productor - consumidor. Realizar un pronóstico de daños indirectos es bastante especulativo, pues existen variables difíciles de manejar. Es por ello, que para realizar una estimación previa, se requiere contar con registros de daños indirectos de inundaciones anteriores. En el mismo sentido se refiere Nascimento et al. (2007) ya que en su trabajo se señala que los daños indirectos pueden provocar afectaciones más allá de las áreas inundadas, como es el caso de las perturbaciones causadas en los procesos productivos de las industrias localizadas fuera de las regiones inundadas, pero dependientes de los bienes producidos en estas regiones.

Para el cálculo de los daños intangibles se ha propuesto un método denominado API (Lekuthai y Vongvisessomajai, 2001) que corresponde a las siglas en inglés de *Anxiety - Productivity and Income Interrelationship Approach* (Aproximación a la interrelación entre ingreso, productividad y ansiedad). En este trabajo, los autores se enfocan en una forma de daño intangible denominada daño por ansiedad,

considerando que este daño por ansiedad puede ser cuantificado en términos de valor monetario. La metodología API asume que la duración y profundidad de la inundación son las dos principales variables que determinan el daño por ansiedad, el cual es por lo tanto similar a un daño tangible. El daño por ansiedad puede ser indirectamente medido en términos de descenso de la productividad que afecta el producto nacional o el ingreso nacional.

Olsen et al. (1998) proponen que la evaluación económica de los daños por inundaciones debe ser realizada por regiones más que por áreas individuales de inundación, ya que las actividades económicas de una llanura de inundación dada están conectadas con las actividades que se llevan a cabo en otra llanura de inundación y con áreas no afectadas por la inundación. Estos autores presentan un método basado en un modelo económico, el cual es aplicado a las inundaciones producidas por el río Missouri y el río Mississippi en Estados Unidos de América. Con los resultados que obtienen concluyen que los daños económicos pueden ser más elevados que los esperados, ya que la inundación reduce la disponibilidad de ciertos productos procedentes de las zonas inundadas que son utilizados por otros sectores de la economía localizados en áreas no inundadas. Estos efectos son más notorios en los sectores agrícolas e industriales.

En México, se ha propuesto un método para determinar el impacto social de los riesgos hidrológicos (Santillán et al., 1998). Se propone el cálculo de un indicador de impacto social, el cual se expresaría como:

$$I.I.S.F. = (I.I.D.V. + I.I.M. + I.C.S)^{-n} \quad (2.2)$$

Donde:

I.I.S.F., es el índice del impacto social final,

I.I.D.V., es el índice de impacto sobre las vidas,

I.I.M., es el índice de impacto de los bienes materiales,

I.C.S., es el índice de conflictividad social,

n, es el índice de marginación social

Los tres indicadores parciales (I.I.D.V., I.I.M., I.C.S) se pueden sumar en forma ponderada. En la propuesta al índice de impacto sobre las vidas se le otorga un

peso del 50%, a los bienes materiales un peso del 20% y a la conflictividad social un peso del 30%.

El índice de impacto sobre las vidas (I.I.D.V.), incluye además de la muerte de personas, la desaparición de personas o cuando éstas han resultado heridas (Tabla 2.3).

El índice de impactos materiales (I.I.M.), incluye una serie de efectos asociados al fenómeno de la inundación, los cuales se reflejan en un conjunto de variables que alteran, condicionan o impiden, parcial o totalmente, la vida cotidiana de las personas, su salud y reproducción material o social (Tabla 2.5). A nivel de vivienda las variables consideradas son damnificados, afectaciones a muebles, derrumbes de viviendas, afectaciones a inmuebles, suspensión de clases y brotes epidémicos; a nivel de los servicios públicos, daños a redes de drenaje, problemas de abasto de agua y gas y daños a la red de agua potable; y a nivel de actividades productivas, pérdida de cultivos, destrucción de establos y pérdida de productos.

El indicador de conflictividad social (I.C.S.) se ha tomado en cuenta considerando la situación del país y la importancia que tiene la organización social con relación en las demandas en torno al recurso agua. Este indicador está integrado por (Tabla 2.5): los eventos de peligro (bloqueo de calles, desplazamientos de la población, desalojo por la fuerza, etc.) y las acciones en contra del régimen (fuerzas civiles en contra de la política del régimen, fuerzas armadas en contra de la política del régimen y fuerzas sin determinar).

El índice de marginalidad (n) incluye un conjunto de aspectos de la población, sus condiciones económicas y características de la vivienda y la calidad de vida de la población, tal y como se puede apreciar en la Tabla 2.5.

En cuanto a las características de la vivienda se tienen en cuenta aspectos como viviendas sin agua entubada, viviendas sin drenaje ni excusado (letrina), viviendas con piso de tierra, viviendas sin energía eléctrica y viviendas de tamaño inadecuado a las necesidades del hogar. Para tomar en cuenta los ingresos monetarios se considera la población ocupada que percibe hasta dos salarios mínimos.

Tabla 2.5. Índices incluidos en el cálculo del impacto social de los riesgos hidrológicos (Santillán et al., 1998).

ÍNDICE	FACTORES	PONDERACIÓN
<b>Impacto sobre las vidas (I.I.D.V.)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decesos de personas</li> <li>• Desaparición de personas</li> <li>• Heridos</li> </ul>	0.50
<b>Impactos materiales (I.I.M.)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vivienda                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Damnificados</li> <li>▪ Afectaciones a muebles</li> <li>▪ Afectación a inmuebles</li> <li>▪ Derrumbes</li> <li>▪ Suspensión de clases</li> <li>▪ Brote epidémicos</li> </ul> </li> <li>• Servicios públicos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Daños en redes de drenaje</li> <li>▪ Daños en redes de agua potable</li> <li>▪ Problemas de abasto de agua y gas</li> </ul> </li> <li>• Actividades productivas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pérdidas de cultivos</li> <li>▪ Destrucción de establos</li> <li>▪ Pérdidas de productos</li> </ul> </li> </ul>	0.20
<b>Conflictividad social (I.C.S.)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventos de peligro</li> <li>• Acciones en contra del régimen</li> </ul>	0.30
<b>Índice de marginalidad (n)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de la vivienda                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Viviendas sin agua entubada</li> <li>▪ Viviendas sin drenaje ni excusado</li> <li>▪ Viviendas con piso de tierra</li> <li>▪ Viviendas sin energía eléctrica</li> <li>▪ Viviendas de tamaño inadecuado</li> </ul> </li> <li>• Ingresos monetarios                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hasta 2 salarios mínimos</li> </ul> </li> <li>• Nivel de educación                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Población sin primaria completa</li> <li>▪ Analfabetismo</li> </ul> </li> <li>• Distribución de la población                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Localidades de &lt; 5 000 habitantes</li> </ul> </li> </ul>	

Una vez calculado el índice de impacto social final (Tabla 2.6) se estableció, por ejemplo, que los estados con mayor impacto (valor más próximo a cero implica mayor impacto), con base en los registros históricos sobre daños por inundaciones, son: el Distrito Federal (0.75), Oaxaca (0.73), Sinaloa (0.71), Guerrero (0.65), Veracruz (0.62) y Chiapas (0.54), por lo que estos estados deben tener prioridad a la hora de establecer programas de prevención y lucha contra las inundaciones.

Tabla 2.6. Valores de los índices para los estados de la República Mexicana (Santillán et al., 1998)

	<b>I. D.V.</b>	<b>I.I.M.</b>	<b>I.C.S.</b>	<b>Suma</b>	<b>I.M.</b>	<b>-n</b>	<b>I.I.S.F.</b>	
	<b>(0.50)</b>	<b>(0.20)</b>	<b>(0.30)</b>					
DF	5.48	1.08	7.34	13.9	Muy baja	0.1	0.75	Prioridad
Aguas Calientes	0.32	0.04	0.09	0.45	Baja	0.1	1.08	
Baja California Norte	3.87	0.85	0.26	4.98	Muy baja	0.1	0.85	
Baja California Sur	0.32	0.37	0.05	0.74	Baja	0.1	1.03	
Campeche	0.32	0.09	0.26	0.29	Alta	0.2	1.28	
Coahuila	4.19	1.11	0.31	5.61	Baja	0.1	0.84	
Colima	0.00	0.09	0.07	0.16	Baja	0.1	1.20	
Chiapas	0.97	0.48	6.38	7.83	Muy alta	0.3	0.54	Prioridad
Chihuahua	6.45	1.73	0.68	8.86	Baja	0.1	0.80	
Durango	2.26	0.67	0.51	3.44	Alta	0.2	0.78	
Guanajuato	0.32	0.24	0.16	0.72	Alta	0.2	1.06	
Guerrero	1.29	0.61	2.39	4.29	Muy alta	0.3	0.65	
Hidalgo	0.00	0.61	0.31	0.92	Muy alta	0.3	1.02	
Jalisco	2.58	0.98	0.48	4.04	Baja	0.1	0.87	
México	5.16	2.18	0.98	8.32	Baja	0.1	0.81	
Michoacán	0.97	0.80	0.54	2.31	Alta	0.2	0.84	
Morelos	0.65	0.35	0.80	1.80	Baja	0.1	0.94	
Nayarit	0.32	0.54	0.22	1.08	Media	0.2	0.98	
Nuevo León	5.16	0.78	0.40	6.34	Muy baja	0.1	0.83	
Oaxaca	0.97	0.24	1.59	2.80	Muy alta	0.3	0.73	Prioridad
Puebla	1.29	0.24	0.67	2.20	Muy alta	0.3	0.79	
Querétaro	0.00	0.04	0.16	0.20	Alta	0.2	1.38	Prioridad
Quintana Roo	0.00	0.09	0.19	0.28	Media	0.2	1.29	
San Luis Potosi	0.67	0.39	0.30	1.66	Alta	0.2	0.90	
Sinaloa	3.23	1.82	0.37	5.42	Media	0.2	0.71	Prioridad
Sonora	0.65	0.85	0.35	1.85	Baja	0.1	0.94	
Tabasco	0.32	0.30	1.05	1.67	Alta	0.2	0.90	
Tamaulipas	0.65	0.61	0.39	1.65	Baja	0.1	0.95	
Tlaxcala	0.00	0.18	0.24	0.42	Media	0.2	1.19	
Veracruz	2.58	1.26	1.06	4.90	Muy alta	0.3	0.62	Prioridad
Yucatán	0.32	0.02	0.42	0.76	Alta	0.2	1.06	
Zacatecas	0.32	0.46	1.20	1.98	Alta	0.2	0.87	

Nota: la ponderación del impacto directo sobre la vida I.D.V. es 0.50, del impacto material I.I.M. es de 0.20 y del impacto de conflictividad social I.C.S. de 0.30.  
IM: Índice de marginación

En este mismo trabajo también se propone un índice de severidad hidrológica, cuyo propósito es definir el grado de afectación que ejercen los fenómenos hidroclimatológicos sobre la población. Para su cálculo se tomó en cuenta el monto de daños materiales y la frecuencia de estos fenómenos; para obtener de este modo el promedio de daños por inundación.

A continuación, se presentan unas breves referencias sobre la valoración de daños en algunas de las categorías más significativas y que son objeto del presente estudio.

### **2.3.1. Daños en zonas habitacionales**

Cuando se trata de inundaciones someras, los daños a los edificios y sus contenidos suelen aumentar de forma aproximadamente lineal con el nivel de la inundación (Fotografía 2.1, 2.2.). Para inundaciones más importantes, los daños aumentan cada vez más lentamente con la altura de las aguas, hasta alcanzar un punto en que los daños no sufren incrementos, a menos que se produzcan fallos estructurales. Algunos autores sitúan este punto en 1.5 m de altura (Estrada, 1996). También se utiliza el término “altura de mesa” o “cota de mesa”. Esta cota de mesa sirve para valorar los costos de una inundación si la altura de la misma no alcanza este nivel o lo supera. A esa altura se puede subir los bienes que se desean preservar sin necesidad de transporte, por lo que los afectados suben los enseres de valor sobre mesas, mesadas y repisas, cierran con llave, pueden evacuar la casa y regresar cuando la inundación ha cesado. Si el agua supera el citado nivel de mesa, los costos de inundación se incrementan sustancialmente. La altura de mesa tiene un valor entre 0.80 m (Paoli y Calvo, 1988) y 0.90 m (Lopardo y Seoane, 2000).

Los daños en viviendas se suelen referir a los costes de limpieza y reparación de la propia vivienda y/o a los costes de reparación o de reposición de los bienes afectados.



Fotografía 2.1. Daños en zonas habitacionales. Inundaciones en diferentes colonias de Chalco por el desbordamiento del río La Compañía en febrero de 2010 (Estado de México)



Fotografía 2.2. Daños en zonas habitacionales. Inundaciones en Ecatepec en febrero de 2010 (Estado de México).

Según Blong (2004) existen cuatro formas en que se dañan las edificaciones:

1. Por la fuerza física del agua que daña la estructura del edificio, lo cual usualmente cuando la velocidad del agua es de varios metros por segundo.
2. Por la inmersión en el agua de los materiales, ya que por ejemplo se pueden desintegrar las placas de yeso, la madera puede hincharse o deformarse y las partes eléctricas sufrir cortocircuitos.
3. Por la presencia de lodos, sedimentos y otros contaminantes, presentes en el agua que pueden originar corrosión de los materiales u otro tipo de desintegraciones por un aumento del desgaste.
4. Por la humedad ya que esta promueve el crecimiento moho u hongos que pueden crecer en cualquier lugar.

Además del nivel de la inundación existen otros aspectos que inciden decisivamente en el valor de los daños, como ya se ha mencionado, los cuales se pueden tener en cuenta, por ejemplo, utilizando factores de ajuste similares a los siguientes (Estrada, 1996):

1. Si el aviso de inundación se realiza con tiempo suficiente (entre 6 y 12 horas) los daños se pueden reducir en un 4% en edificios de un solo piso y en un 16% en el resto.
2. Si la inundación se prolonga durante 24 horas, los daños se pueden incrementar un 6 %.
3. Si la inundación trae consigo un alto contenido en sedimentos se puede producir un aumento del desgaste que se ejerce sobre las construcciones humanas a las que afectan.

En Australia (Blong, 2004) se ha podido identificar el porcentaje de edificios que se encuentran en zonas inundables y se han elaborado curvas para valorar los daños en estas edificaciones, daños tanto en la estructura como en el contenido. El problema para esta valoración económica es que el porcentaje de daño aplicado a cada componente de la edificación no es siempre el mismo, tal y como se aprecia

en la tabla 2.7, donde se presentan los porcentajes que se aplicaron en 5 diferentes inundaciones acaecidas.

De esta tabla se puede concluir:

- El contenido de la vivienda (enseres, muebles, joyas) es lo más valorado económicamente (en algunos casos en segundo lugar) en todos los estudios.
- Los muros externos, puertas y ventanas no suman ni el 10%
- Los daños en los servicios (electricidad y fontanería) suman menos del 12%, y no han sido considerados en todos los estudios.
- Los daños estructurales (cimientos) no parecen ser importantes.
- Solo dos edificaciones se consideraron como pérdida total desde el punto de vista constructivo.

Tabla 2.7. Porcentaje de daños en edificios (valores en % salvo número de muestras y lámina de agua) (Blong, 2004)

	EVENTO				
	Katherine 1998	Clonccurry 1997	Sydney 1986	Nyngan 1990	Inverell 1991
Número de muestras	70	31	25	23	4
Lámina de agua (m)	1.34	< 0.5	0.53	0.75	0.68
Cimientos				3.3	
Muros externos	0.8	9.0	0.0	0.0	0.0
Puertas	4.2		3.6	2.5	3.7
Ventanas	2.3				
Tejado	0.2	0.0			
Muros internos	14.4	22.5	4.0	50.5	2.9
Pintura	8.5				
Pisos	6.4	38.2	4.1	0.4	29.2
Baldosas, azulejos	12.0				
Alfombras, moqueta	1.5				
Carpintería, joyas, etc.	24.3	26.0	88.4	43.3	64.2
Electricidad	0.6	4.3			
Fontanería	2.1				
Aire acondicionado	1.2				
Trabajos ingenieriles	7.1				
Limpieza general	2.6				
Otros	2.9				
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

### **2.3.2. Daños en la agricultura**

La valoración de los daños en agricultura (Fotografía 2.3) se suele realizar a partir de los ingresos de los agricultores. Cuando se produce una inundación es preciso realizar una serie de operaciones adicionales como limpieza, nivelaciones, nuevas plantaciones, fertilización extra, etc. Al mismo tiempo, pueden disminuir las producciones o incluso perderse algunas cosechas por completo. Esta nueva situación originará unos ingresos inferiores a los esperados en condiciones normales. La diferencia entre ambos ingresos se adopta como valor de los daños. En esta categoría los daños son particularmente sensibles a la duración de la inundación. Una inundación de escasa duración (de 1 a 3 días) puede causar un retraso del desarrollo sin apenas afectar el rendimiento, mientras que una duración prolongada (de 7 a 15 días) puede provocar desórdenes orgánicos irreparables y comprometer la cosecha (Estrada, 1996).

Otro factor decisivo que incide en el valor de los daños agrarios es la época en que se produce la inundación. Este aspecto se puede tener en cuenta mediante la consideración de un factor de época.

Asimismo, el aumento de la carga sólida de las corrientes de agua incrementa las pérdidas en la agricultura, ya que las tierras de cultivo inundadas (o de vegetación natural) pueden llegar a verse completamente cubiertas de sedimentos, lo cual daña a las plantas y les puede producir asfixia.



Fotografía 2.3. Inundaciones en zonas agrícolas en el municipio de Ixtlahuaca en septiembre de 2009 (Estado de México)

## **2.4. HERRAMIENTAS APLICADAS AL ESTUDIO DE INUNDACIONES**

### **2.4.1. Modelos de simulación hidrológica**

Las técnicas de simulación hidrológica están cobrando cada vez mayor importancia en la prevención y diseño de estrategias de atención a las emergencias causadas por crecidas e inundaciones.

La limitada información hidroclimática (falta de pluviógrafos, de estaciones hidrométricas) obliga a recurrir a métodos de simulación para determinar las eventuales crecidas de río, como base para la determinación de riesgo hidrológico en zonas urbanas, agrícolas e industriales.

Los modelos de simulación hidrológica más utilizados son aquellos que representan el sistema en forma matemática, mediante un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y salida. De ellos, los modelos paramétricos, de tipo evento, que incorporan el tránsito hidráulico de los caudales generados,

constituyen los de mayor aplicación en el campo de la gestión de desastres hidrometeorológicos (López, 2002).

Algunas de las aplicaciones de los modelos de simulación hidrológica más frecuentes son (López, 2002):

I. En la fase “antes del desastre” se utilizan para:

- Evaluación del nivel de riesgo hidrológico asociado con los cursos de agua que atraviesan los centros de población, en función de la frecuencia de ocurrencia, caudal pico y carga sólida potencialmente transportada, así como de la capacidad que poseen las secciones hidráulicas, tanto de los cauces naturales como de la infraestructura hidráulica y vial existente para transitar dichos caudales.
- Definición espacial y temporal de los sectores que pueden verse afectados, así como de los potenciales efectos directos previsibles, tales como desbordes, deposición de detritos, socavaciones en el lecho y/o en los taludes y potenciales deslizamientos de tierra.
- Formulación de recomendaciones que orienten el diseño de medidas preventivas de tipo ingenieril, orientadas a la mitigación o abatimiento de los picos de crecidas, y/o de tipo social, destinadas a reubicar la población de bajo riesgo para de este modo reducir los daños a la integridad física de las personas y propiedades.
- En operación conjunta con modelos de pronósticos de lluvia pueden conformarse en instrumentos claves en la etapa de preparación o estructuración de la respuesta ante la eventual emergencia.

II. En la fase “durante la emergencia o desastre” pueden tener las siguientes aplicaciones:

- Asociados con sistemas hidrometeorológicos telemétricos (radar meteorológico, estaciones remotas) se constituyen en elementos básicos para la declaratoria de la fase de alerta u ocurrencia inmediata, respaldando técnicamente la decisión de implementar las medidas de evacuación.

III. En la fase “posterior a la emergencia o desastre” se utilizan en:

- La etapa de reconstrucción para facilitar el diseño hidrológico de las nuevas estructuras hidráulicas que permitirán la restitución de los ejes de los cursos de agua involucrados, para que puedan transitar en forma segura y eficiente los caudales proyectados.

En el caso concreto del estudio de inundaciones, los modelos permiten conocer, cuantificar y predecir algunos factores asociados con las inundaciones como son la elevación del agua, velocidad y depósitos de sedimentos y duración de la inundación. Los resultados de estos modelos permiten definir las áreas de inundación, las cuales pueden ser representadas gráficamente en cartografía.

Un ejemplo de la aplicación de estos modelos es el estudio realizado por Vega (1999) y Díaz-Delgado y Vega (2001) donde se llevó a cabo una evaluación del riesgo de inundación en la Cuenca Alta del río Lerma; en el caso concreto de la Subcuenca del río Tejalpa (Estado de México). En este estudio se utilizó el modelo HEC-RAS (USACE, 1998), modelo que permite el análisis de escorrentía, el estudio de la hidráulica de ríos, la simulación de sistemas de embalses y el análisis de daños por inundaciones. El programa HEC-RAS se empleó, en este caso, para determinar el nivel de agua en cada una de las secciones transversales que se definieron en el cauce.

Igualmente, se utilizó el modelo WMS (*Watershed Modeling System*), modelo que se puede aplicar de manera conjunta con otros modelos hidrológicos (ECGL, 1997). En ese estudio, se empleó para delimitar las llanuras de inundación, teniendo como datos de entrada los resultados de tránsito de avenidas obtenidos a partir del modelo HEC-RAS.

La aplicación de estos modelos en la Subcuenca del río Tejalpa permitió definir las áreas de inundación para avenidas de periodo de retorno de 10, 20, 50 y 100 años, siendo las áreas más afectadas, el área urbana, principalmente en la zona baja de la subcuenca, el área de agricultura de riego y el área de agricultura de temporal.

Dado que las inundaciones son frecuentes en esta zona en épocas de lluvias, en estos trabajos se sugirieron posibles esquemas de solución (construcción de bordos

longitudinales y de un embalse como desvío temporal) para evitar mayores inundaciones.

#### **2.4.2. Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Con la finalidad de obtener una visión integrada de todos los aspectos a investigar se han desarrollado diferentes herramientas, entre las cuales cabe destacar los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta herramienta es de gran ayuda para el análisis espacial de los diversos problemas hídricos involucrados. La manipulación digital de la información simplifica la gestión de los datos, particularmente los de tipo cartográfico y la simulación de múltiples análisis espaciales. En este sentido, el SIG es una importante herramienta que facilita la construcción y aplicación de algoritmos para la construcción conceptual de la dinámica hidrológica de una cuenca en estudio. Este sistema permite, igualmente, el modelado de procesos que afectan la distribución espacial de los recursos naturales y su interrelación con la sociedad y la economía de la cuenca, tanto en cantidad como en calidad (Díaz-Delgado et al., 1998).

Desde hace años, la tecnología SIG se ha utilizado como soporte en la modelación de aguas superficiales y en el análisis de los daños por inundaciones. Los SIG unidos a modelos de simulación hidrológica se utilizan para el almacenamiento de datos, cálculo de parámetros de entrada, tratamiento de datos y procesamiento de los datos de salida. También se ha aplicado el SIG para evaluar los impactos de los daños producidos por inundaciones, un ejemplo son los trabajos de Brimicombe and Bartlett (1996), Boyle et al. (1998) y Renyi and Nan (2002), en los cuales se utiliza un modelo de elevación digital de la superficie del suelo y otro de la superficie de la lámina de agua producida por la inundación que permiten calcular la extensión y profundidad de la inundación. En este caso, el SIG facilita la integración de los resultados de la modelación con otras capas de información, facilitando el proceso de toma de decisiones.

Un ejemplo, en el caso de México, de aplicación del SIG en cuestiones de modelación, son las investigaciones realizadas en el Curso Alto del río Lerma,

(Díaz-Delgado et al., 1998). También ha sido aplicado para realizar un análisis de zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa, localizada en el Curso Alto del río Lerma, por sobreposición de mapas y cuantificación de áreas (Díaz-Delgado y Vega, 2001).



## CAPÍTULO 3

### ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1. MARCO HIDROLÓGICO. LA CUENCA LERMA-CHAPALA-SANTIAGO

La Cuenca Lerma-Chapala-Santiago (Figura 3.1) es uno de los sistemas hidrológicos más importantes de México, con una superficie estimada de 137 144 km<sup>2</sup>. Esta cuenca abarca grandes extensiones de los estados de México, Michoacán, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Zacatecas, Durango y Nayarit. Por su gran extensión, esta cuenca está bajo la influencia de varios tipos de climas, desde templado hasta el tropical lluvioso (CCRECRL, 1993; Aparicio, 2001).

La cuenca Lerma-Chapala-Santiago está drenada por el río Lerma y el río Grande Santiago, los cuales tienen una longitud total de 1 180 km, de los cuales el 60% corresponde al primero y el 40% restante al segundo, sin contar los 75 km de extensión del lago de Chapala, el cual funciona como un embalse natural e intermedio, de cuya salida nace el río Grande Santiago, el cual desemboca en el río Asadero, en Nayarit. Por su parte, el río Lerma vierte su caudal en el Lago de Chapala, después de un recorrido de 705 km, desde su nacimiento en el Valle de Toluca, Estado de México.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos nombró a esta cuenca como Región Hidrológica No. 12 y está incluida dentro de la Región Hidrológica Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico, definida por la Comisión Nacional del Agua en 1994.



Figura 3.1 Mapa de ubicación de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago en la República Mexicana (Díaz-Delgado et al., 1998)

A modo de resumen, la cuenca Lerma-Chapala-Santiago se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Superficie: 137 144 km<sup>2</sup>.
- Longitud del cauce: río Lerma 705 km. y río Santiago 475 km.
- Subregiones: Lerma (44.5% de la superficie regional) y Santiago (55.5%).
- Subregiones de planeación: Alto Lerma, Medio Lerma y Bajo Lerma, Alto y Bajo Santiago.
- Climas: semi-cálido, seco o estepario y templado húmedo.
- Temperatura: 18.3°C promedio anual.
- Precipitación: 718 mm promedio anual.
- Escurrimiento virgen anual: 15,031 Millones de metros cúbicos.
- Población total: 17.76 millones de habitantes, 76% localizada en zonas urbanas y 24% en áreas rurales.
- Población económicamente activa ocupada: 5.72 millones de habitantes (32% de la población regional).

## **3.2. LA CUENCA LERMA-CHAPALA**

### **3.2.1. Características generales**

La cuenca Lerma-Chapala (Figura 3.2) se localiza en la parte central de México (19°03´a 21°34´N y 99°16´a 103°31´W), donde se extiende desde su nacimiento del río Lerma en el estado de México (a 4 600 msnm) hasta su desembocadura en el lago de Chapala (a 1 600 msnm). Presenta una superficie de 53 591.3 km<sup>2</sup>, que se extiende por los estados de Guanajuato (43.75%), Michoacán (30.25%) Jalisco (13.42%), México (9.8%), y Querétaro (2.76), donde se asienta una población de más de 15 millones de habitantes (Cotler et al., 2006). La superficie de esta cuenca representa un 2.73% del territorio nacional. También se incluyen en esta cuenca, las cuencas endorreicas de los lagos de Yuriria, Páztcuaro y Cuitzeo, todos ellos en el Estado de Michoacán.

El río Lerma tiene una longitud de 705 km y recibe aguas de diferentes efluentes, entre los que destacan por su importancia los ríos Laja, Turbio, Angulo y Duero. En la tabla 3.1 se presenta un resumen de las diferentes regiones y subcuencas que conforman la cuenca Lerma-Chapala.

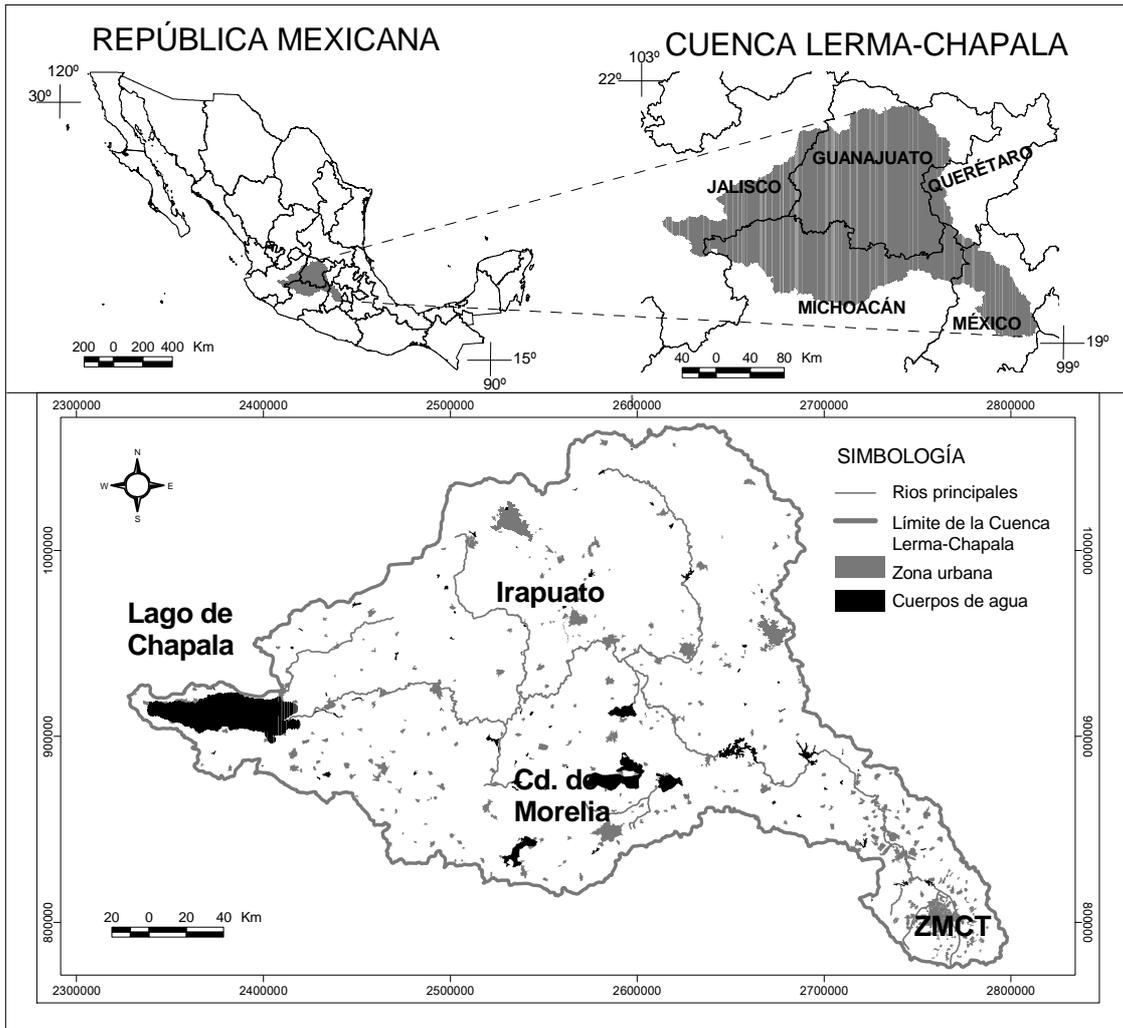


Figura 3.2. Localización de la cuenca Lerma-Chapala en la República Mexicana

Esta cuenca ha sido subdivida en tres zonas o regiones (Aparicio, 2001), la región del Alto Lerma, que incluye el área drenada por el río Lerma desde su nacimiento en las Lagunas de Almoloya del Río hasta la presa Solís e incluye las cuencas de los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo, así como algunas cuencas endorreicas en el área de San Luis de la Paz. La región Medio Lerma, abarca el área drenada por el mismo, entre la salida de la presa Solís y la estación hidrométrica de Yurécuaro. La región Bajo Lerma, inicia en la estación de Yurécuaro y finaliza en el lago de Chapala, en el punto en que se inicia el río Santiago. Esta región incluye los ríos Duero y Huascato y el lago de Chapala, que es el vaso natural interior de mayor dimensión del país y en donde también descargan los ríos La Pasión y Zula (Tabla 3.1).

Desde un punto de vista topográfico, la cuenca del río Lerma es relativamente llana. Casi el 72% de su área presenta elevaciones que oscilan entre 1 500 y 2 100 msnm, incluyendo algunas regiones montañosas con elevaciones superiores a los 2 700 msnm, las cuales sólo representan el 6% de la superficie total de la cuenca (Figura 3.3).

Tabla 3.1. Regiones y subcuencas definidas en la cuenca Lerma Chapala (Aparicio, 2001)

<b>REGIÓN</b>	<b>SUBCUENCA</b>
Alto Lerma	Presa Solís
	Lago de Pátzcuaro
	Lago de Cuitzeo
	Cuencas cerradas de S. Luis de la Paz
Medio Lerma	Lago Yuriria
	Río Laja
	Río Turbio
	Río Angulo
Bajo Lerma	Río Huástaco
	Río Duero
	Río Azuayo
	Río Zula

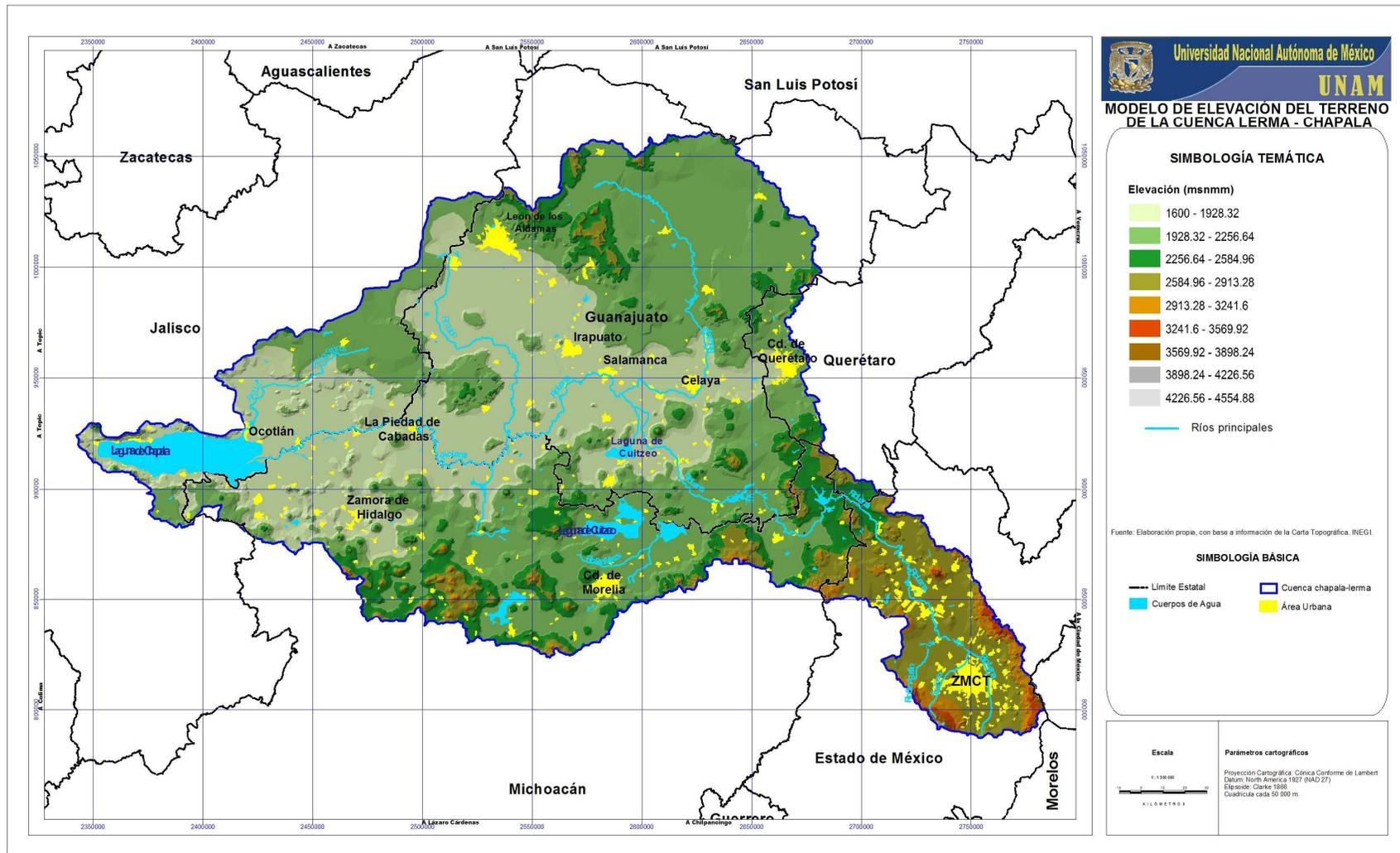


Figura 3.3. Modelo de elevación digital del terreno de la cuenca Lerma-Chapala

### 3.2.2. Clima

El gran desnivel altitudinal (3 000 m) se refleja en amplias variaciones climáticas. Esta variabilidad climática responde, además, a circulaciones atmosféricas que provienen de diferentes frentes o direcciones y temporadas del año. Según Aparicio y Lobato (2006) se pueden identificar las siguientes regiones:

1. La región norte de la cuenca, que comprende el estado de Guanajuato y un aporte del estado de Querétaro, se encuentra bajo el régimen del grupo de los climas secos, definido como clima árido con lluvias en verano y con régimen de humedad muy seco, con una precipitación media para el mes de julio de 128 mm, por lo que es la región con menos precipitación de toda la cuenca.
2. La región centro, que corresponde al altiplano, con un clima templado, del tipo templado húmedo con verano fresco y lluvias en verano. Las precipitaciones se presentan en junio, julio, agosto y septiembre, siendo más intensas en comparación con la región norte. El clima de esta región está condicionado por la llegada de sistemas invernales o frente fríos intensos durante el invierno, los sistemas tropicales del Pacífico durante el verano y la poca convección interna.
3. La región sur, dentro de la cual se definen dos subregiones, la región sureste, que fundamentalmente se encuentra en el estado de México, la cual presenta un clima definido como templado semi-frío húmedo. Hay que resaltar que es en esta región donde se localiza el Nevado de Toluca, que con sus 4 680 msnm, da origen a un clima frío de montaña. La otra región es la sureste, que comprende el lago de Chapala, y presenta un clima templado semi-cálido sub-húmedo con lluvias en verano. En la zona del lago, se detecta un aumento de la humedad, como consecuencia de la evaporación del agua del lago. La diferencia de humedad entre ambas subregiones se puede observar en los histogramas de precipitación, ya que en la zona sureste se presentan registros de precipitación más altos, extendiéndose la temporada húmeda desde junio hasta octubre, lo cual confirma la influencia de no sólo la

actividad convectiva propia de la cuenca, sino además, la influencia de la actividad tropical del Pacífico.

En cuanto a la temperatura, la máxima promedio es diferente entre las regiones, y a su vez dependiente de los sistemas que se encuentran expuestos para la época que se trate. En cuanto a la temperatura máxima media, ésta se distribuye en función de la topografía y la región geográfica concentrándose los valores más altos en el altiplano.

Una clasificación con mayor detalle corresponde al empleo de la clasificación de Köppen, modificada por García (1964). El clima que domina en la Cuenca Lerma-Chapala es subtropical, varía entre sub-húmedo a árido, y en unas pequeñas regiones muy específicas se define un clima sub-húmedo templado. Las principales regiones climáticas que se pueden definir por estados en el marco de la cuenca Lerma-Chapala son los siguientes (Medina et al., 1998):

1. Estado de México. El clima sub-tropical templado sub-húmedo prevalece en casi todo el estado que queda circunscrito en el la cuenca Lerma-Chapala. Solamente, en la región que comprende la ciudad de Toluca, el clima es clasificado como templado frío sub-húmedo.
2. Estado de Guanajuato. Un gran porcentaje de la superficie del estado se incluye dentro de la cuenca Lerma-Chapala. Los tipos de clima definidos son: subtropical árido cálido en la región de Apaseo el Alto, subtropical templado árido en los alrededores de San Diego de la Unión, San Luis de la Paz y en la zona limítrofe con el estado de San Luís Potosí; clima subtropical semi-cálido semi-árido en una amplia región donde se localizan las ciudades de la Piedad Cabadas (en el estado de Michoacán, cerca del límite con el estado de Guanajuato), Irapuato, León y Salamanca: clima subtropical templado semiárido en la región de las ciudades de Guanajuato, Celaya y San Miguel de Allende, así como en las proximidades de Cuerámara y, finalmente, subtropical templado semi-húmedo en una pequeña región próxima a Coroneo, cerca del sureste del estado.

3. Estado de Michoacán. En el área de este estado que queda delimitada dentro de la cuenca se pueden identificar tres climas, todos ellos dentro del tipo subtropical: semi-cálido semi-árido en las proximidades del río Lerma, sub-cálido sub-húmedo en las proximidades del Lago de Chapala, semi-cálido sub-húmedo en una pequeña área en los alrededores de Ixtlán de los hervores y templado sub-húmedo en una extensa área que comprende las ciudades de Pátzcuaro (incluido su lago), Morelia, Lago Cuitzeó y los límites con la cuenca del río Balsas.
4. Estado de Jalisco. Se pueden identificar cuatro climas en el Estado de Jalisco, en su porción que queda delimitada dentro de la cuenca en estudio: semi-árido, semi-cálido, sub-húmedo (en los alrededores del Atotonilco el Alto) y templado sub-húmedo en la región que se localiza en torno al Lago de Chapala.

#### *Temperatura*

La figura 3.4 muestra las variaciones de la temperatura máxima y mínima en algunas estaciones climatológicas localizadas en la cuenca. Se puede señalar que la temperatura en la cuenca es relativamente uniforme, tanto en el espacio como en el tiempo. La temperatura máxima anual raramente excede los 32°C, siendo la temperatura más usual la de 24°C, exceptuando algunos lugares como la ciudad de Toluca, en los alrededores de la presa Trinidad Favela y aguas arriba de la presa Solís, en donde la temperatura máxima es mucho más baja. Las temperaturas mínimas son relativamente uniformes, entre 5 y 15°C, a excepción del Curso Alto del río Lerma, donde la mínima anual en enero es de 1°C (Aparicio, 2001).

#### *Precipitación*

La cuenca del Lerma-Chapala recibe el 3% del total de la precipitación de México (Aparicio, 2001). Hay una notable variación de los valores medios de precipitación ya que varían desde 300 a más de 1000 mm. Existen zonas de la cuenca con precipitaciones que oscilan entre 600 y 1300 mm, con un valor medio de 730 mm, y que corresponden a la mayor parte de la superficie de la cuenca, en torno a los 46 800 km<sup>2</sup> (89% de la superficie total). Otras áreas, áridas, con valores que oscilan

de 300 a 500 mm, y que cubren el 6% del total de la superficie de la cuenca, y finalmente áreas semi-húmedas con precipitaciones de más de 1000 mm al año, y que representan el 5% de la superficie total de la cuenca (Aparicio, 2001).

En la tabla 3.2 se presentan los valores de precipitación media anual de la cuenca por estado, y para toda la cuenca.

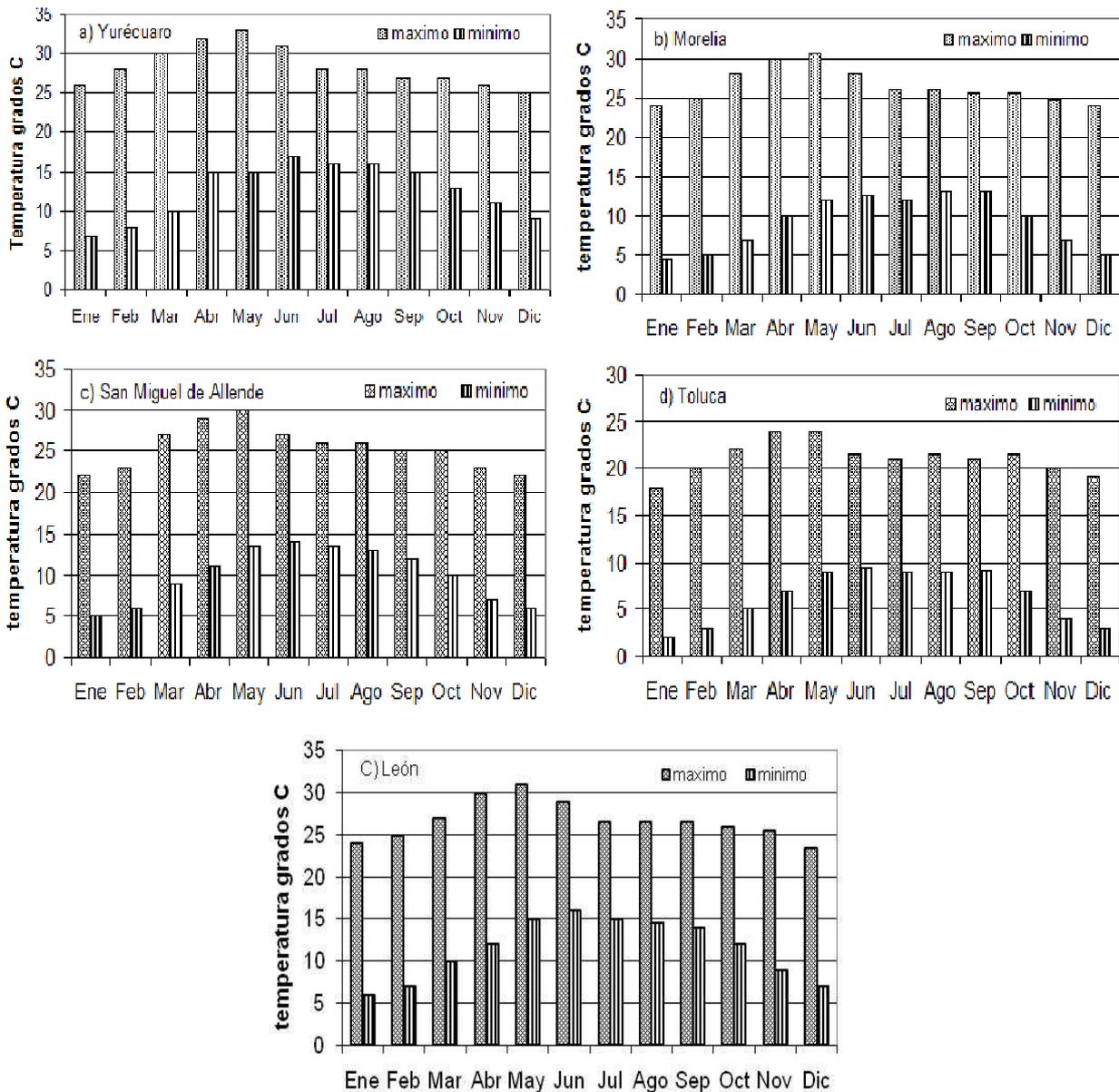


Figura 3.4. Variaciones de temperatura anual (máximo y mínimo) en las estaciones de Yurécuaro (a), Morelia (b), San Miguel Allende (c), Toluca (d) y León (e) (Aparicio, 2001)

Tabla 3.2. Precipitación media anual en la Cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, 2001)

<b>ZONA EN LA CUENCA EN EL ESTADO DE:</b>	<b>PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)</b>
Guanajuato	650
Jalisco	800
Estado de México	880
Michoacán	800
Querétaro	600
<b>Cuenca Lerma Chapala</b>	<b>730</b>

La figura 3.5 expone los registros de precipitación en varias estaciones climatológicas de la cuenca, donde se puede apreciar como la estación de las lluvias está muy marcada, la cual incluye desde junio a octubre, mientras que el resto del año corresponde al periodo de secas, con lluvias ocasionales durante diciembre y enero.

#### *Evaporación*

En cuanto a la evaporación, hay que señalar que ésta supera a la precipitación durante la mayor parte del año, tal y como se aprecia en la figura 3.5. También hay que resaltar que como la temperatura es bastante uniforme en el año, los valores de evaporación son bastante similares mes con mes.

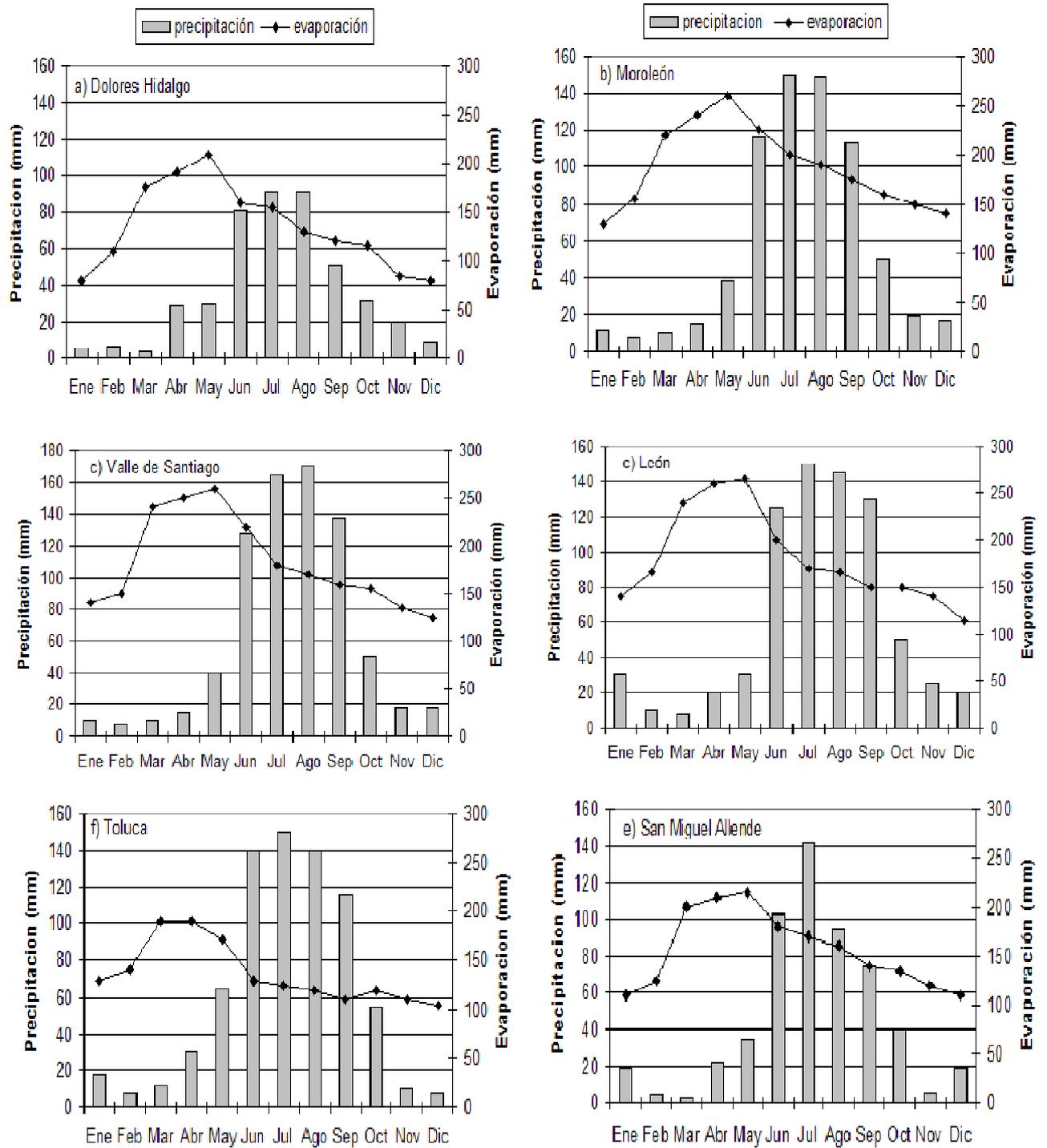


Figura 3.5. Precipitación y evaporación media mensual en las estaciones de Dolores Hidalgo (a), Moreleón (b), Valle de Santiago (c), León (d), San Miguel de Allende (e), Toluca (f), Morelia (g) y Yurécuaro (h) (Aparicio, 2001).

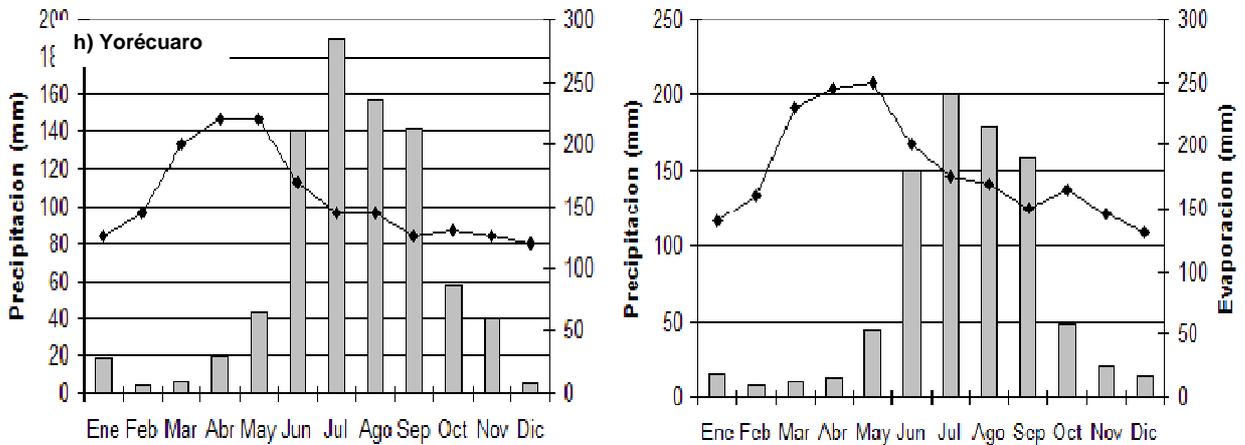


Figura 3.5. (Continuación). Precipitación y evaporación media mensual en las estaciones de Dolores Hidalgo (a), Moroleón (b), Valle de Santiago (c), León (d), San Miguel de Allende (e), Toluca (f), Morelia (g) y Yurécuaro (h) (Aparicio, 2001)

### 3.2.3. Hidrología

El río Lerma es el principal canal que recoge el escurrimiento superficial de la cuenca. Este río tenía su nacimiento en varios manantiales (más de cincuenta), los cuales alimentaban la laguna de Almoloya del Río, localizada en el estado de México. Esta laguna estaba a su vez conectada a otras dos, las cuales reciben el nombre de Lerma y San Bartolo, mismas que estaban conectadas a través de varios canales, pero debido a la captación de los manantiales y a la explotación del acuífero de la región (Maderrey y Jiménez, 2001; Esteller y Díaz-Delgado, 2002), hoy en día el nacimiento del río Lerma está ligado los escurrimientos de la vertiente nororiental del Nevado de Toluca que fluyen hacia el noreste y este del valle, entre los que destacan el río Santiaguito y el río Verdiguél. Aguas abajo del último lago, el río Lerma recibe por la margen derecha al río Oztolotepec, que nace de la Sierra de las Cruces (Figura 3.6).

Aguas abajo, el río Lerma recibe las aportaciones de numerosos ríos, entre los que destacan por su importancia, como ya se ha mencionado, La Gavia, Jaltepec, La Laja, Silao-Guanajuato, Turbio, Angulo y Duero.



El río Lerma desemboca en el lago de Chapala, lago que tiene una longitud de 77 km y un ancho de 23 km, aportando un caudal medio anual de 2 150 hm<sup>3</sup>/año (Escolero et al., 2006), aunque también hay cifras que señalan unas aportaciones de 1 160 hm<sup>3</sup>/año (Aparicio, 2001). Este lago es el de mayor dimensión del país y el tercero en América Latina (Escolero et al., 2006).

La esorrentía en la cuenca es medida por 110 estaciones hidrométrica (Aparicio, 2001), siendo las mas importantes: Yurécuaro, La Estanzuela, Pericos, La Begoña y Solís.

Aparicio (2001) estableció que sólo el 4% de la precipitación que acaece en la cuenca, llega al lago de Chapala, lo que indica el uso intensivo del agua que se lleva a cabo en la cuenca, señalando adicionalmente que es una de las regiones con mayor índice de crecimiento económico del país.

Este uso intensivo está fundamentalmente ligado a las actividades agrícolas, lo cual ha dado lugar a que en la cuenca exista un grave problema de disponibilidad que se hace más acuciante a medida que se avanza aguas abajo del río Lerma. La disponibilidad se ha calculado en 641 m<sup>3</sup> por habitante por año, siendo la disponibilidad superficial virgen de 158 414 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> y la disponibilidad virgen per cápita de 1 627 m<sup>3</sup>/hab/año (CONAGUA, 2005).

En el balance hidrológico presentado por Aparicio (2001) se presentan cifras de precipitación media anual de 730 mm, aproximadamente equivalente a 36 000 hm<sup>3</sup>/año, lo que genera una esorrentía de 4 740 hm<sup>3</sup>/año, la cual es utilizada en un volumen de 3 240 hm<sup>3</sup>/año para la agricultura y el resto, unos 1 100 hm<sup>3</sup>/año, escurrirían hacia el lago de Chapala.

#### **3.2.4. Datos socioeconómicos**

Al interior de la cuenca Lerma-Chapala se identifican 204 municipios (Figura 3.7) que están contenidos o poseen superficie en cualquier porcentaje dentro de la cuenca, mientras que el área de influencia de la cuenca queda conformada por 309 municipios (Cardona, 2006a).

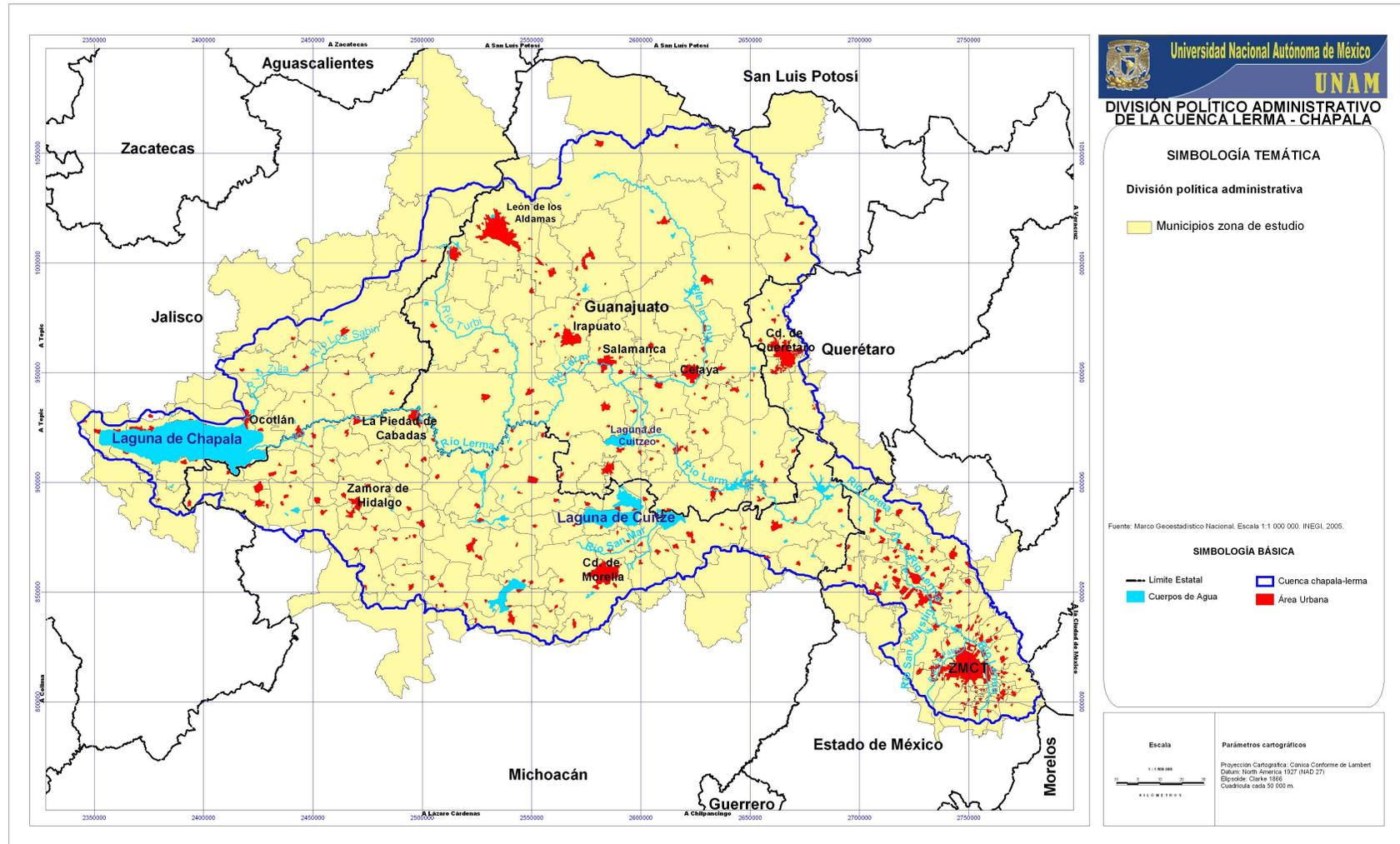


Figura 3.7. División política de la cuenca Lerma-Chapala

Hasta febrero del 2000, el Alto Lerma alojaba a 3.7 millones de personas, lo que representa una densidad de población de 252 hab/km<sup>2</sup>; el Medio Lerma, 5.7 millones de habitantes con una densidad de población de 172 hab/km<sup>2</sup>; y en el Bajo Lerma, el número de habitantes es muy inferior a las otras dos subregiones, con únicamente 1.2 millones de habitantes y una densidad de población de 102 hab/km<sup>2</sup> (CONAGUA, 2005).

Dentro de la cuenca se localizan grandes ciudades con más de 50 000 habitantes, las cuales se detallan en la tabla 3.3. La única ciudad que sobrepasa el millón de habitantes es León, Gto. Del total de la población de la cuenca, 7.76 millones de habitantes viven en zonas urbanas y 3.27 millones de habitantes en zonas rurales (CONAGUA, 2005).

En la tabla 3.4 se presentan los datos relacionados con la población económicamente activa de la cuenca, la cual es de 3.37 millones de habitantes (CONAGUA, 2005). Un importante porcentaje de la población activa en la cuenca Lerma-Chapala, desarrolla sus actividades en el sector servicios, principalmente concentrado en las zonas urbanas. El sector manufacturero, por el porcentaje de empleos que ofrece, ocupa el segundo lugar en importancia, con más del 22% de la población ocupada. En cuanto a la especialización de la población ocupada, el 31% de los municipios se especializa en actividades primarias y extractivas, la cuenca cuenta con solo 5 % de sus municipios especializados en la actividad manufacturera, pero si se consideran las categorías donde se combinan los sectores primarios, extractivos y manufacturero, más de la tercera parte de los municipios están especializados en estos sectores. Los municipios con especialización en actividades terciarias conforman el 5% del total; y aquellos donde se comparte la especialidad en sector terciario con otros sectores alcanza el 16% (Cardona, 2006b).

En general todos los estados que integran la cuenca Lerma-Chapala sobresalen en el número de personas ocupadas en el sector servicio, por encima del promedio nacional.

Tabla 3.3. Ciudades con más de 50 000 habitantes localizadas en la Cuenca Lerma-Chapala (INEGI, 2005)

REGIÓN	ESTADO	LOCALIDAD	POBLACIÓN 2005 (miles hab.)	
Alto Lerma	Guanajuato	Acambaro	101.7	
		Metepec	206.0	
	México	San Mateo Atenco	66.7	
		Toluca	747.5	
		Lerma	105.5	
		Zinacantepec	136.2	
		Ixtlahuaca	126.5	
	Michoacán	Atlacomulco	77.8	
		Morelia	645.3	
<b>Subtotal Alto Lerma</b>			<b>2 213.2</b>	
Medio Lerma		San Miguel Allende	139.3	
		Celaya	415.9	
		Dolores Hidalgo	134.6	
		Cortázar	83.2	
		Guanajuato	Guanajuato	153.4
			Irapuato	463.1
		León	León	1 278.1
			Salamanca	233.6
			San Francisco del Rincón	103.2
			Silao	147.1
Valle de Santiago	127.9			
Michoacán	La Piedad	90.1		
Querétaro	Querétaro	699.3		
<b>Subtotal Medio Lerma</b>			<b>4 068.8</b>	
Bajo Lerma	Jalisco	Ocotlán	89.3	
		Ciudad Guzmán	96.1	
	Michoacán	Sahuayo	61.1	
		Zamora	165.3	
<b>Subtotal Bajo Lerma</b>			<b>411.8</b>	
<b>TOTAL</b>			<b>6 693.8</b>	

Tabla 3.4 Población económicamente activa (PEA) en la cuenca Lerma-Chapala (miles de habitantes) (CONAGUA, 2005)

REGIÓN	TOTAL PEA	OCUPADA	DESOCUPADA
Alto Lerma	1 141.8	1 124.7	17.1
Medio Lerma	1 838.0	1 815.5	22.5
Bajo Lerma	398.5	394.4	4.5

Según el estudio de Cardona (2006c), la industria manufacturera aporta el mayor valor agregado a la dinámica económica de la cuenca con cerca del 40%, esto resulta lógico al considerar la importancia nacional e internacional de los diferentes corredores industriales situados en diferentes zonas de la cuenca. El promedio nacional del valor agregado, originado por el sector industrial es del 37%, mientras que Guanajuato (52%), Jalisco (57%), Estado de México (61%), Querétaro (66%), tienen un porcentaje considerablemente superior al promedio nacional. Los subsectores industriales más importantes en la cuenca son los productos metálicos (28% de valor) y los alimentos, bebidas y tabaco (23% del valor).

En cuanto a la actividad agrícola, durante el año agrícola 2002, la superficie agrícola total ocupó 23 169 km<sup>2</sup>, equivalente a un 43% de la superficie de la cuenca. Sólo siete cultivos (maíz, sorgo, avena, frijol, alfalfa, trigo, cebada) cubrieron el 85% de la superficie agrícola neta de la región. Entre ellos, dos cultivos (maíz y sorgo) ocupan el 65% de la superficie agrícola. En el caso del maíz éste es el cultivo de mayor importancia por superficie sembrada, tanto en la zona de riego agrícola (2 155.23 km<sup>2</sup>), como en la de temporal (9 295.23 km<sup>2</sup>), sin embargo el rendimiento de estos cultivos fluctúa entre bajo y muy bajo (Cotler y Fregoso, 2006).

El tipo de ganado presente en la cuenca es de tipo bovino y porcino fundamentalmente, y la presencia de este último está asociado con el cultivo del sorgo, el cual le sirve de alimento (Cotler y Fregoso, 2006).

La tenencia de la tierra es muy variable y heterogénea a lo largo de la cuenca, aunque puede observarse un patrón de dominancia de propiedad privada en el norte de la cuenca, mientras que al sureste y oeste domina la propiedad ejidal.

La mayoría de los municipios han sido clasificados como de baja marginalidad, según las estimaciones hechas por CONAPO con base en el XII Censo General de Población y Vivienda 2000, pero existe un desequilibrio marcado, ya que existen municipios con grado de desarrollo alto, mientras otros presentan rezago de infraestructura básica y de servicios (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Municipios según grado de marginalidad en la cuenca Lerma-Chapala (CONAGUA, 2005)

REGIÓN	GRADO DE MARGINALIDAD					TOTAL
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO	
Alto Lerma	0	16	18	14	10	58
Medio Lerma	0	5	35	10	8	58
Bajo Lerma	0	1	15	21	5	43

La demanda de agua en la cuenca es cubierta, tanto por agua superficial como subterránea, siendo la demanda consuntiva de agua superficial de 2 176 hm<sup>3</sup>/año y de agua subterránea de 4 398 hm<sup>3</sup>/año, destinándose el agua superficial a la agricultura y uso pecuario fundamentalmente, mientras que los usos públicos-urbanos e industriales se cubren con agua subterránea (CONAGUA, 2005).

La superficie regable total es de 722 889 hectáreas, de las cuales 476 930 hectáreas corresponden a unidades de riego y 245 959 hectáreas a distritos de riego. La demanda total es de 8 029 hm<sup>3</sup>/año, que se distribuye en 6 459 hm<sup>3</sup>/año para unidades de riego y en 1 569 hm<sup>3</sup>/año para distritos de riego.

La asignación de agua para riego se realiza de acuerdo con su disponibilidad en el marco del “Acuerdo para la distribución de las aguas superficiales de la cuenca Lerma-Chapala” que existe desde agosto de 1991.

La oferta potencial de agua superficial en la cuenca es de 6 763 hm<sup>3</sup>/año, habiendo una importación de 16 hm<sup>3</sup>/año de la Región Balsas para la ciudad de Toluca. Por otro lado, las extracciones (compuestas por usos consuntivos, evaporación, cambio de almacenamiento en las cuencas) están valoradas en 7 463 hm<sup>3</sup>/año. Estos datos indica el déficit que existe en la cuenca (CONAGUA, 2005).

### 3.3. INUNDACIONES EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Las mayores inundaciones que ha sufrido la cuenca están ligadas a la llegada de huracanes originados tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico, algunas de las inundaciones más importantes ocurrieron entre 1926 y 1958, pero éstas han seguido aconteciendo. A continuación se presenta una breve descripción de las inundaciones ocurridas desde 1967 (Aparicio, 2001).

Inundaciones de 1967. Se dieron en el Curso Alto de río Lerma y supusieron grandes desfuegos de las presas Solís y Tepuxtepex. El río Laja no incrementó apreciablemente su caudal.

Inundaciones de 1971. Se sufrieron graves daños en el Distrito de Riego No.11, el cual se localiza aguas debajo de la presa Solís. Esta inundación se produjo por las descargas desde las presas Tepuxtepec, Solís e Ignacio Allende.

Inundaciones de 1973. En esta inundación, la presa Ignacio Allende liberó 400 m<sup>3</sup>/s, causando la inundación de la ciudad de Celaya, a lo cual se sumaron las descargas del río Querétaro. La presa Conejo falló y causó graves daños en la ciudad de Irapuato. También sufrieron graves pérdidas las zonas agrícolas de la región. En la estación de aforo de Yurécuaro se observó un caudal de 1 100 m<sup>3</sup>/s y en la estación de la Barca, un caudal de 1 500 m<sup>3</sup>/s.

Inundaciones de 1976. Fueron provocadas por una onda tropical que permaneció 15 días sobre una importante área de la cuenca, provocando una precipitación acumulada que osciló entre 4 000 y 7 000 mm, lo cual produjo inundaciones en las cuencas de los ríos Turbio, Querétaro, Lerma y Duero. Los huracanes Liza y Madeleine también afectaron a la cuenca. Como consecuencia, varios cuerpos de agua superficial se desbordaron y el lago de Chapala incrementó su volumen almacenado, lo cual dio lugar a caudales de descarga de 268.5 m<sup>3</sup>/s en el río Santiago, que a su vez produjo también inundaciones.

Inundaciones de 1987. Las intensas precipitaciones provocaron inundaciones en áreas urbanas del estado de México, como fue la ciudad de Toluca, y de Guanajuato, en las ciudades de León, Salamanca y Silao.

Inundaciones de 1998. Se produjeron inundaciones y avalanchas, sobre todo en el valle de Toluca. También hubo daños en áreas agrícolas del estado de Guanajuato y en las áreas urbanas y conurbadas de San Miguel Allende, León y Comonfort.

En la figura 3.8 se presentan los datos sobre población afectada y muertes provocadas por las inundaciones acaecidas entre los años 1975 y 2000. En dicha figura se puede apreciar cómo en los últimos años se ha incrementado la población afectada, lo cual es consecuencia del acelerado crecimiento poblacional que se ha dado en la cuenca.

Las inundaciones más recientes son las acaecidas en septiembre de 2003, que afectaron los estados de Guanajuato y Michoacán. En el estado de Guanajuato, se generaron inundaciones severas en 17 municipios y ocurrieron 9 decesos, siendo las pérdidas económicas cuantificadas en 996 millones de pesos (Matías-Rodríguez et al., 2007). En el estado de Michoacán, sufrieron inundaciones 20 municipios, estimándose los daños económicos en 227 millones de pesos y las personas afectadas en cien mil (García et al., 2004, CENAPRED, 2004).

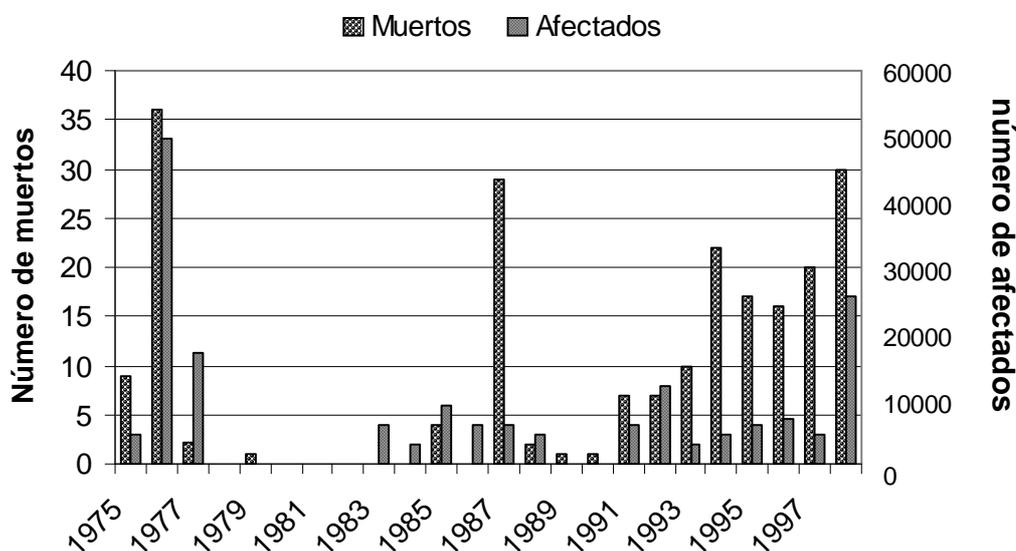


Figura 3.8. Muertes y población afectada debido a las inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, 2001)

En el informe de la CONAGUA (2005) se señalan que los principales problemas de inundaciones se presentan en el curso medio del río Lerma, no obstante la poca disponibilidad de agua que existe. Estas inundaciones suelen ser de tipo local debido a la falta de capacidad del cauce principal para conducir los escurrimientos propios y de sus afluentes, situación que provoca desbordamientos, además de que la capacidad de excedencia de las obras es mayor que la capacidad de los cauces. El área de inundaciones se presenta en las ciudades de Querétaro, Celaya, Salvatierra, León, Irapuato y Silao; y en las zonas próximas a la confluencia de los ríos La Laja con el Lerma, Querétaro, y el Turbio a la altura de Manuel Doblado, Guanajuato.

Finalmente, en la figura 3.9, se presenta un mapa de áreas que han sufrido inundaciones en diferentes eventos, las cuales han sido identificadas con base en el Atlas del Agua del Estado de Guanajuato (GEG, 2009); Atlas de Inundaciones del Estado de México (GEM, 2008); Atlas Estatal de Riesgo del Estado de Michoacán (GE Michoacán, 2008) y Sistema de Información Territorial Estatal de Jalisco (GEJ, 2008).

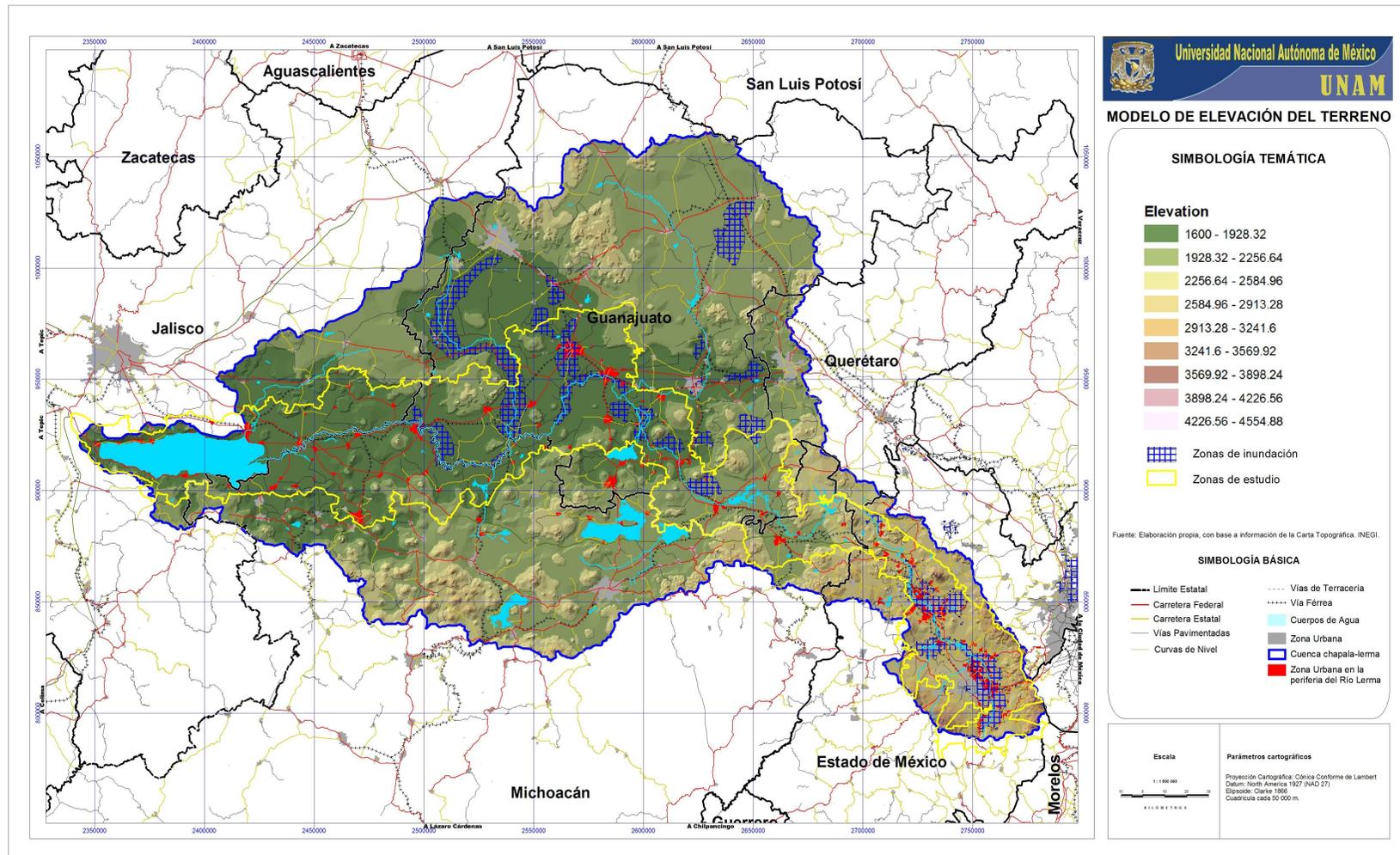


Figura 3.9. Localización de zonas que históricamente han sufrido inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala

## CAPÍTULO 4

# MATERIALES Y MÉTODOS

El método propuesto en este trabajo queda incluido dentro de los métodos de evaluación directa *a priori* (Nascimento et al., 2007) ya que su enfoque es preventivo y orientado a ser una herramienta que facilite la Planeación Estratégica de Gestión de Inundaciones. Sin embargo, también es una herramienta útil en un análisis Ex-post con fines de establecer requerimientos de recursos para la mitigación, rehabilitación y compensaciones ante eventos de inundación ocurridos. Sin duda alguna, esta propuesta metodológica podría ser utilizada por instituciones como el CENAPRED (México) para el análisis socioeconómico de los desastres, de forma conjunta con metodologías actualmente utilizadas como la Metodología Sucinta de Evaluación del Impacto Socioeconómico de los Desastres y la Metodología Retrospectiva (Bitrán, 2009). También podría ser una contribución en el marco de los trabajos que desarrolla el CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe) para elaborar manuales para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres (CEPAL, 2003)

Hay que resaltar que en el proceso de desarrollo del método propuesto se analizaron los diferentes tipos de inundación, así como la respuesta del socio-ecosistema en cual podría presentarse y sus implicaciones correspondientes. Bajo este análisis se concluyó que con fines de establecer una metodología robusta, y aplicable de forma estandarizada en países en vías de desarrollo, como México, era necesario considerar la situación de inundación más acuciante, es decir, cuando no existe el tiempo necesario para reaccionar y mitigar los costos por daños tangibles directos. Esta situación ocurre cuando se presenta una inundación repentina (Flash Flood) y su clasificación no sólo depende de factores como: el tiempo en que alcanza su máximo nivel, volumen y velocidad, sino también de la capacidad de respuesta por el socio – ecosistema (Kobiyama y Fabris-Goerl, 2007).

Hay que tener en cuenta que esta propuesta metodológica, tiene limitaciones, pues no debe olvidarse que cualquier modelo únicamente es una simplificación de la compleja realidad. Generalmente, en zonas donde con frecuencia ocurre una inundación no repentina, se asumen medidas de mitigación, tales como el reacomodo de los bienes hasta la conocida “cota de mesa” (0.75 m) o bien hasta el segundo nivel de la construcción habitacional entre otras medidas. Sin embargo, el método propuesto ha sido concebido bajo la premisa de ser una herramienta que facilite la toma de decisiones en un proceso de planeación y como instrumento de estimación, lo más cercano posible a la realidad, de recursos para restablecer las condiciones de vida previas al evento.

Igualmente, es necesario subrayar que la propuesta presentada se circunscribe a la estimación de daños tangibles directos potenciales en zonas habitacionales y agrícolas. Pero aún falta el desarrollo de investigaciones sobre la construcción de otras curvas que proporcionen estimaciones de costos de inundaciones en zonas industriales y afectaciones a infraestructura pública (carreteras, calles, parques, etc.).

Complementariamente, en el caso de daños tangibles indirectos, que incluyen el coste adicional por desvíos alrededor del área inundada, las pérdidas derivadas de la interrupción de servicios y las pérdidas en negocios, salarios, costos de limpieza después de la inundación, los incrementos de costes en tareas de previsión y alarma, las evacuaciones, los alojamientos temporales en zonas de libre peligro, etcétera, se calculan como un porcentaje fijo de los daños directos (Kates, 1965).

El método que se desarrolló en este trabajo se explicará a través del estudio de caso de las inundaciones en la Cuenca Lerma-Chapala (México). Con respecto al tipo de inundaciones que ocurren en la zona de estudio, éstas pueden ser consideradas como repentinas. En efecto, dado que no existe la capacidad instalada (Software, Hardware and Orgware) para dar respuesta suficiente en el tiempo de alcance de la cota máxima del tirante de agua, se considera que los daños tangibles por inundación están adecuadamente representados por la metodología propuesta. Adicionalmente, se resalta que no existe la información suficiente para aseverar otra situación.

#### **4.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA**

Se realizó una recopilación bibliográfica sobre el tema de estudio en libros y revistas especializadas como: Urban Water Journal, Journal of Flood Risk Management, Journal of Water Resources Planning and Management, Journal of Hydraulic Engineering, Ecological Engineering, Water Resources Management, entre otras.

También se llevaron a cabo búsquedas de información a través de Internet, empleando palabras claves como inundaciones, análisis de daños, etc. y se han utilizado diferentes bases de datos, para la búsqueda de publicaciones científicas sobre el tema de estudio.

Las principales bibliotecas consultadas han sido: la Universidad de Laval, Quebec (Canadá), la del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA) de la Universidad Autónoma del Estado de México, la del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Biblioteca Central de la UNAM, así como la de la Facultad de Ingeniería y de Geografía de la UNAM.

#### **4.2. TRABAJO DE CAMPO**

El trabajo de campo consistió, fundamentalmente, en recorridos por la Cuenca Lerma-Chapala. Un primer recorrido se centró en aspectos generales, donde se realizó un reconocimiento de las principales características fisiográficas de la cuenca y de los diferentes usos del suelo que se presentan.

Posteriormente, se hicieron varios recorridos que cubrieron las zonas inundables. En estos recorridos de detalle se tuvieron en cuenta las características de las zonas agrícolas, realizándose un inventario de los diferentes cultivos que se producen en el área a lo largo de un año, y de las zonas habitacionales, prestando especial atención a las características de las viviendas tanto en sus aspectos constructivos, así como de los bienes existentes en ellas, todo ello con objeto de clasificar las zonas habitacionales en función de estas características.

### **4.3. RECOPIACIÓN DE DATOS**

La base de datos fue necesaria para soportar el análisis que se realizó para determinar los tipos, severidad y localización de los daños causados por la inundación.

Se recopiló información en organismos como:

- ✓ INEGI - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- ✓ CONAGUA - Comisión Nacional del Agua.
- ✓ IMTA - Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- ✓ CENAPRED - Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- ✓ CONAPO - Comisión Nacional de Población.
- ✓ Gobierno estatales (México, Querétaro, Michoacán, Guanajuato, Jalisco).
- ✓ Protección Civil.
- ✓ Ayuntamientos.

#### **4.3.1. Recopilación de datos para zonas habitacionales**

La información sobre uso del suelo y actividades humanas debe incluir los siguientes aspectos en el caso de las zonas habitacionales (adaptado de Boyle et al., 1998):

- Zonas inundables.
- Características socioeconómicas de la población que se asientan en zonas inundables.
- Valor unitario de las construcciones.
- Información sobre los bienes existentes en las viviendas.

##### **4.3.1.1. Zonas inundables**

Para delimitar las zonas inundables de una cuenca es necesario conocer las características hidráulicas de la cuenca en estudio, las cuales se pueden obtener con el empleo de algún modelo de simulación hidrológico-hidráulico. Estas

características incluyen los caudales del río para diferentes períodos de retorno y las alturas de lámina de agua alcanzadas. Con base en el valor de las alturas de estas láminas de agua y con ayuda de un modelo de elevación digital del terreno es posible delimitar las zonas inundables, y dentro de ellas definir, por ejemplo, las áreas urbanas afectadas.

Si no se dispone de un modelo de simulación, se puede recopilar información en los organismos de Protección Civil de cada estado así como en otras dependencias gubernamentales y municipales vinculadas a esta problemática. Así por ejemplo, en el estado de México, se publica un atlas de inundaciones, donde se señala el municipio, localidad, altura de lámina de agua y número de viviendas afectadas para un evento dado (GEM, 2008).

#### 4.3.1.2. Características socioeconómicas de la población

La información que se incluyó en este apartado se centra en los indicadores socioeconómicos e índice de marginación por región, municipio, localidad y Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB), siendo una AGEB varios grupos de manzanas dentro de una localidad. Toda esta información se recopiló para los diferentes estados que se ubican en la cuenca (México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco). También se recopiló información sobre el índice de marginación urbana; el cual se calcula para una AGEB urbana, que es aquella área geográfica que se encuentra dentro de una localidad de 2 500 o más habitantes e incluye todas las cabeceras municipales aunque no alcancen esa población.

Esta información fue obtenida con base en el censo del año 2000, cuyos resultados han sido publicados por el INEGI (2002a) y por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2002) con base en el XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000. Además, se consultó la información resultante del II Conteo de Población y Vivienda del año 2005 (INEGI, 2007a) y el informe sobre índice de marginación urbana 2005 (CONAPO, 2007).

Los indicadores socioeconómicos empleados por la CONAPO (2002, 2007) son:

1. Grado de instrucción de la población
  - Porcentaje de la población de 15 años y más analfabeta
  - Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela
  - Porcentaje de la población de 15 años y más sin instrucción
2. Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares
3. Viviendas particulares habitadas
  - Con piso de tierra
  - Sin agua entubada
  - Sin drenaje
  - Sin energía eléctrica
4. Población ocupada en el sector primario

Estos indicadores definen el índice de marginación de la población, que comprende los grados: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. La metodología que es aplicada por la CONAPO para definir estos grados de marginación se puede consultar en el ANEXO I.

Adicionalmente, se tiene en cuenta el porcentaje de población que percibe hasta dos salarios mínimos, datos publicados por la CONAPO. La cuantía del salario mínimo se obtuvo de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos, la cual está vigente desde el 1° de enero del 2009 (CNSM, 2009). Para la zona de estudio, se ha considerado el valor medio a nivel nacional del salario mínimo diario, el cual fue de \$53.19. También se consultó información en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (INEGI, 2009).

#### 4.3.1.3. Información sobre bienes

La información sobre bienes existentes en las viviendas se recopiló con ayuda del SCINCE 2000 (INEGI, 2002b), Sistema para la Consulta de Información Censal, el cual cuenta con los resultados definitivos del XII Censo General de Población y Vivienda 2000. SCINCE es un sistema que permite relacionar los datos estadísticos con el espacio geográfico al que pertenecen. Para ello cuenta con información estadística que se puede consultar a nivel de entidad federativa, municipio, localidad urbana (con 2,500 o más habitantes y cabeceras municipales independientemente de su tamaño), y dentro de éstas a nivel de AGEB.

Asimismo, se actualizó la información estadística con ayuda del sistema IRIS-SCINCE II, el cual está generado a partir del Marco Geoestadístico Nacional 2005 y los resultados del II Censo de Población y Vivienda 2005 (INEGI, 2007b).

El sistema SCINCE presenta la información estadística a través de 170 indicadores, 47 de población total, por rangos de edad y sexo, 23 de características educativas, 20 de características económicas, 10 de estado conyugal, 7 de fecundidad y mortalidad, 4 de migración, 3 de religión, 3 de acceso a servicios de salud, 1 de discapacidad, 46 de vivienda y 6 relativos a hogares.

Otra de las bondades de este sistema es que contiene los mapas de la República Mexicana con división estatal y municipal, de la entidad federativa con división municipal y los planos de localidad con división AGEB, de manera que el usuario puede seleccionar los indicadores de su interés y estratificarlos en dicha cartografía, dependiendo del ámbito de análisis que requiera.

El objetivo de este sistema es ofrecer a los usuarios de la información censal herramientas informáticas que permitan obtener un mayor provecho de los resultados del Censo, valiéndose para ello de información tanto geográfica como estadística, y de la interrelación que existe entre ambas.

El contenido del sistema se puede agrupar en tres elementos principales:

- Cartográfico
- Estadístico
- Informático

El cartográfico, está compuesto de información correspondiente al país, a las 32 entidades federativas y a las 4028 localidades urbanas. La información cartográfica está definida en términos de límites estatales, municipales, de localidad y AGEB urbanas, y claves. Dentro de este apartado se ofrecen diferentes capas de información en función del nivel de cobertura que se trate.

Respecto al apartado estadístico, éste está conformado por los indicadores antes mencionados.

Con relación en el elemento informático, éste consta de la aplicación denominada SCINCE2000, constituida por estructuras de datos, algoritmos e interfaz; cuya finalidad principal es mostrar, a través de representaciones gráficas, la relación que existe entre la información estadística y la cartográfica, con fines de análisis cuantitativo y cualitativo de la información estadística.

La información sobre viviendas, y en concreto sobre los bienes existentes en ellas, se recopiló teniendo como punto de partida el Cuestionario Ampliado empleado en el XII Censo de Población y Vivienda 2000, elaborado por el INEGI (2002a).

Los rubros que se definen en este cuestionario son la existencia de:

- Radio o radiograbadora
- Televisión
- Videocasetera
- Licuada
- Refrigerador
- Lavadora
- Teléfono
- Calentador de agua
- Automóvil o camioneta propios
- Computadora.

En el marco del presente estudio también se cuantificaron los siguientes bienes:

- Estufa
- Microondas
- Muebles de recámara
- Muebles de sala
- Muebles de comedor
- Ropa

La cuantificación de estos bienes, tanto los definidos por el INEGI como los que se han incluido en este estudio, se llevó a cabo recogiendo información en diferentes casas comerciales (Elektra, Salinas y Rocha, ISSSTE, Viana, FAMSA, Bodegas Gigante, Aurrera, Mega Comercial Mexicana, Electrónica Guevara, SEARS, Wall – Mart, Palacio del Hierro, Liverpool, Auchan, Carrefour, Chedraui, Hermanos Vázquez); así como a partir de la información proporcionada por la PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor) para el periodo del 1 al 16 de abril del 2009.

#### **4.3.2. Recopilación de datos para zonas agrícolas**

En el caso de las zonas agrícolas, la evaluación de los daños se suele realizar a partir del ingreso de los agricultores, el cual se ve afectado una vez producida la inundación. Por lo tanto, para conocer los costos económicos de una inundación en una zona agrícola hay que tener presente (Estrela, 1996):

- I. La disminución o pérdida de la cosecha. Cuando tiene lugar una inundación se puede producir una disminución de la producción o incluso perderse la cosecha de forma completa. Esta nueva situación originará unos ingresos inferiores a los esperados en condiciones normales. La diferencia entre ambos ingresos se adopta como valor de los daños.

Hay que tener en cuenta que esta pérdida parcial o total de la cosecha está muy influenciada por la duración de la inundación. Una duración corta, de 1 a 3 días, puede causar un retraso del desarrollo sin apenas afectar el rendimiento, mientras que en una duración prolongada, por ejemplo de 7 a 15 días, puede provocar daños irreparables en las plantas y comprometer la cosecha.

Otro factor decisivo en el valor de los daños agrarios, es la época en que se produce la inundación. Este aspecto se puede tener en cuenta considerando un factor de época o estacionalidad.

También hay que tener presente, si la inundación provoca un acarreo de sedimentos muy elevado, ya que la deposición de estos sedimentos puede agravar el daño producido por la inundación sobre el cultivo.

II. Gastos por acondicionamiento del terreno. Cuando se produce una inundación es preciso efectuar una serie de operaciones adicionales como limpieza, nivelaciones, nuevas plantaciones, fertilización extra, etc. para volver a poner en producción los campos agrícolas.

Con base en estas consideraciones, para evaluar los daños en zonas agrícolas se debe de disponer, como mínimo, de la siguiente información:

a) Tipos de cultivos

Las zonas de cultivos (riego y temporal) que existen en la zona de estudio se han identificado, inicialmente, con base en la información sobre vegetación y uso del suelo del INEGI (2003) y del Inventario Forestal Nacional (SEMARNAP, 2000). Con posterioridad se llevaron a cabo varios recorridos de campo para identificar los cultivos.

b) Estacionalidad de los cultivos

De los cultivos existentes, se estableció cuál es su ciclo agrícola para de esta forma definir en qué fase de su desarrollo se encuentra el cultivo cuando existe más probabilidad de que se produzca una inundación (época de lluvias).

c) Productividad

La productividad de cada uno de los cultivos se calculó tomando la información disponible en el anuario estadístico que publica cada estado en colaboración con el INEGI, así como de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, publicadas por la SEMARNAT - CONAGUA.

Se seleccionó información sobre volumen de la producción agrícola para los diferentes cultivos identificados teniendo en cuenta la disponibilidad de agua (temporal y riego).

d) Ingresos de la población por la producción de su cosecha

Para el cálculo de los ingresos se tuvo en cuenta los datos que se presentan en los anuarios estadísticos, donde se especifica el valor de la producción para diferentes cultivos y para los diferentes distritos de riego.

#### **4.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECABADA**

En la figura 4.1 se presenta el desarrollo conceptual de la metodología aplicada para el cálculo de daños directos potenciales causados por inundaciones en zonas habitacionales, y en la figura 4.2 para zonas agrícolas.

##### **4.4.1. Información sobre aspectos hidráulicos**

El primer paso, como se puede apreciar, es definir las zonas inundables para lo cual se puede recurrir a los modelos hidrológicos-hidráulicos como el modelo HEC-RAS (USACE, 1998) para cuya aplicación, en una cuenca en estudio, se realiza una selección de los periodos de retorno y se estiman los caudales para las avenidas a transitar y con estos caudales se determinan los niveles máximos de agua. A estos niveles máximos de agua calculados corresponden unas planicies de inundación, las cuales pueden ser definidas utilizando el modelo WMS (ECGL, 1997).

Una vez calculadas las planicies de inundación, se determina la superficie de las áreas inundadas afectadas. Para establecer la extensión de estas áreas inundables y su localización, se puede emplear, por ejemplo, el mapa de vegetación y usos del suelo y un Modelo de Elevación Digital del Terreno (MED) con curvas de nivel a cada 10 metros.

Cuando no existe un estudio de esta naturaleza, se puede recopilar información en los organismos de Protección Civil de cada estado así como en otras dependencias gubernamentales.

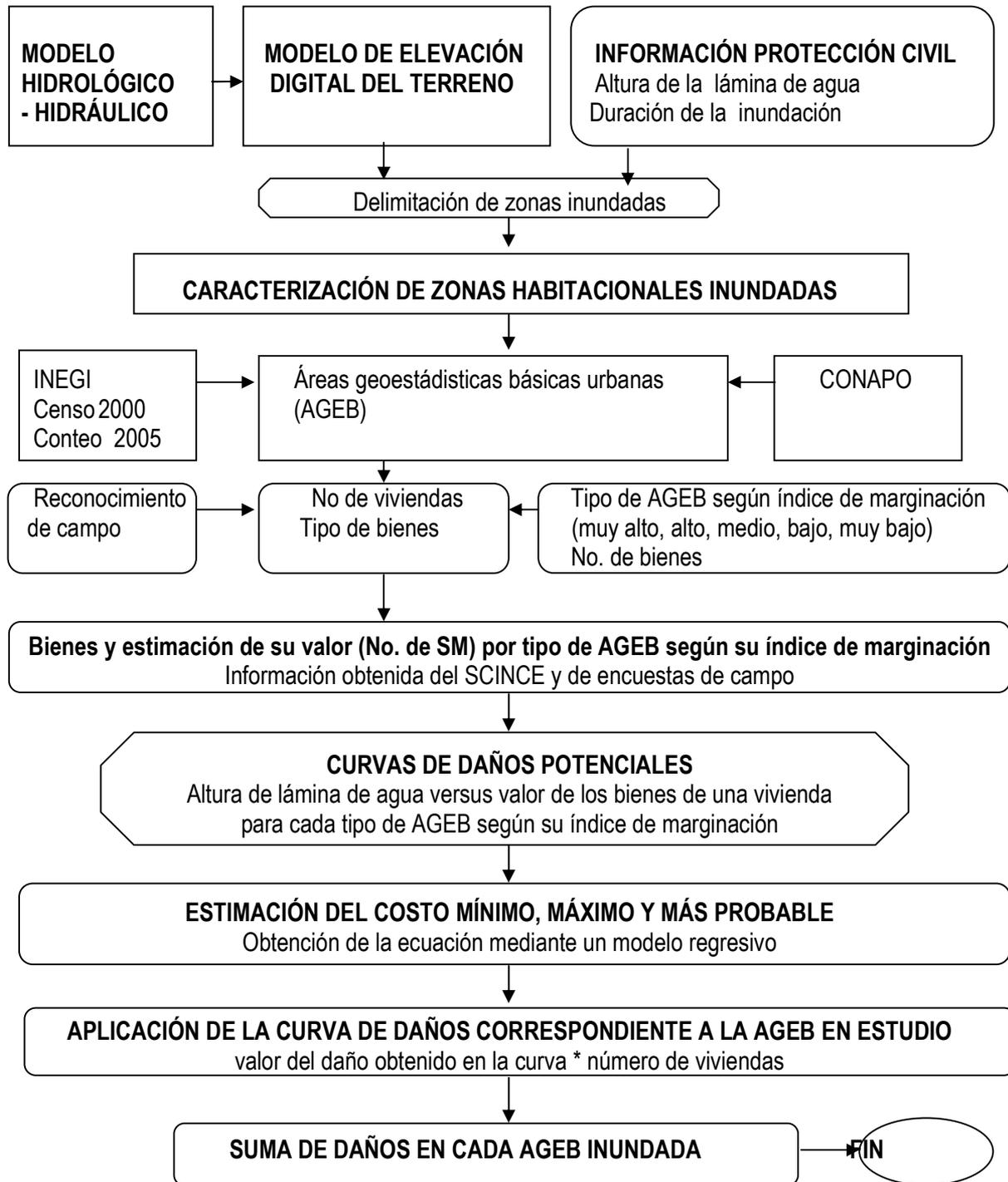


Figura 4.1. Desarrollo conceptual de un método para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas habitacionales. Daños directos.

#### 4.4.2. Información sobre zonas habitacionales

Una vez se han definido las áreas inundadas se procede a su caracterización (Figura 4.1). Para ello, el primer paso fue clasificar y seleccionar la información según su naturaleza.

A partir del Sistema para la Consulta de Información Censal SCINCE 2000 (INEGI, 2002), que incluye los datos del XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000, se establecieron cuáles AGEBS quedan incluidas dentro de las zonas inundadas, y se recopiló, para cada AGEB incluida, información sobre número de viviendas, características de las viviendas, tipos de bienes y número de bienes, así como su índice de marginación (IM).

Teniendo en cuenta las características y los criterios de la CONAPO en cuanto al IM, se estableció una clasificación en la cual para cada AGEB según su IM se hizo corresponder un número de salarios mínimos (Tabla 4.1), lo cual permitió estimar cuál sería el ingreso típico de una familia que habitase una AGEB dada; y de esta forma, conociendo los ingresos de la familia, se estableció qué características tendrían los bienes existentes en la vivienda.

Tabla 4.1. Equivalencia entre AGEB según su índice de marginación y salarios mínimos

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	SALARIOS MÍNIMOS
Muy alto	0.0 – 1.0
Alto	1.0 – 2.0
Medio	2.0 – 5.0
Bajo	5.0 - 8.0
Muy bajo	➤ 8.0

Conociendo las clases de viviendas que se ubican en las zonas inundadas, y los bienes incluidos en éstas, en función de los ingresos de la familia; el siguiente paso fue cuantificar el valor de los bienes. Esta cuantificación se realizó teniendo en cuenta la Encuesta de Ingresos y Gastos de los Hogares (INEGI, 2009) que establece, con base en los salarios mínimos, cuál es el monto dedicado a la compra

de bienes para el hogar. Tomando como punto de partida estos datos se estimó, para cada intervalo de salario mínimo, cuáles son los bienes que existen en los hogares y cuál es su costo promedio.

El costo de estos bienes se estableció con la información obtenida en las encuestas que se aplicaron en diferentes comercios, que incluyen aquellos que atienden las necesidades de la población de bajos ingresos.

Una vez conocido el valor de los bienes existentes en cada clase de vivienda según el IM de la AGEB, se construyeron las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales.

Estas zonas habitacionales donde podrían darse una inundación se subdividieron en función de la AGEB. Para cada AGEB definida se identificó cuál es su IM según CONAPO (2007) y se calculó, por medio de las curvas de daños potenciales, cuál sería el daño causado por una inundación de una determinada altura de lámina de agua.

El daño tangible directo total de un área habitacional inundada se calcularía sumando el daño de todas las AGEB incluidas en el área inundada.

#### **4.4.3. Información sobre zonas agrícolas**

A partir del modelo hidrológico se definieron las áreas inundables, para los diferentes periodos de retorno, en las zonas agrícolas (Figura 4.2). Una vez definidas, se hizo un recorrido de campo para establecer cuáles son los cultivos predominantes en la cuenca, y específicamente en estas áreas inundables, durante la época de inundaciones (mayo – noviembre).

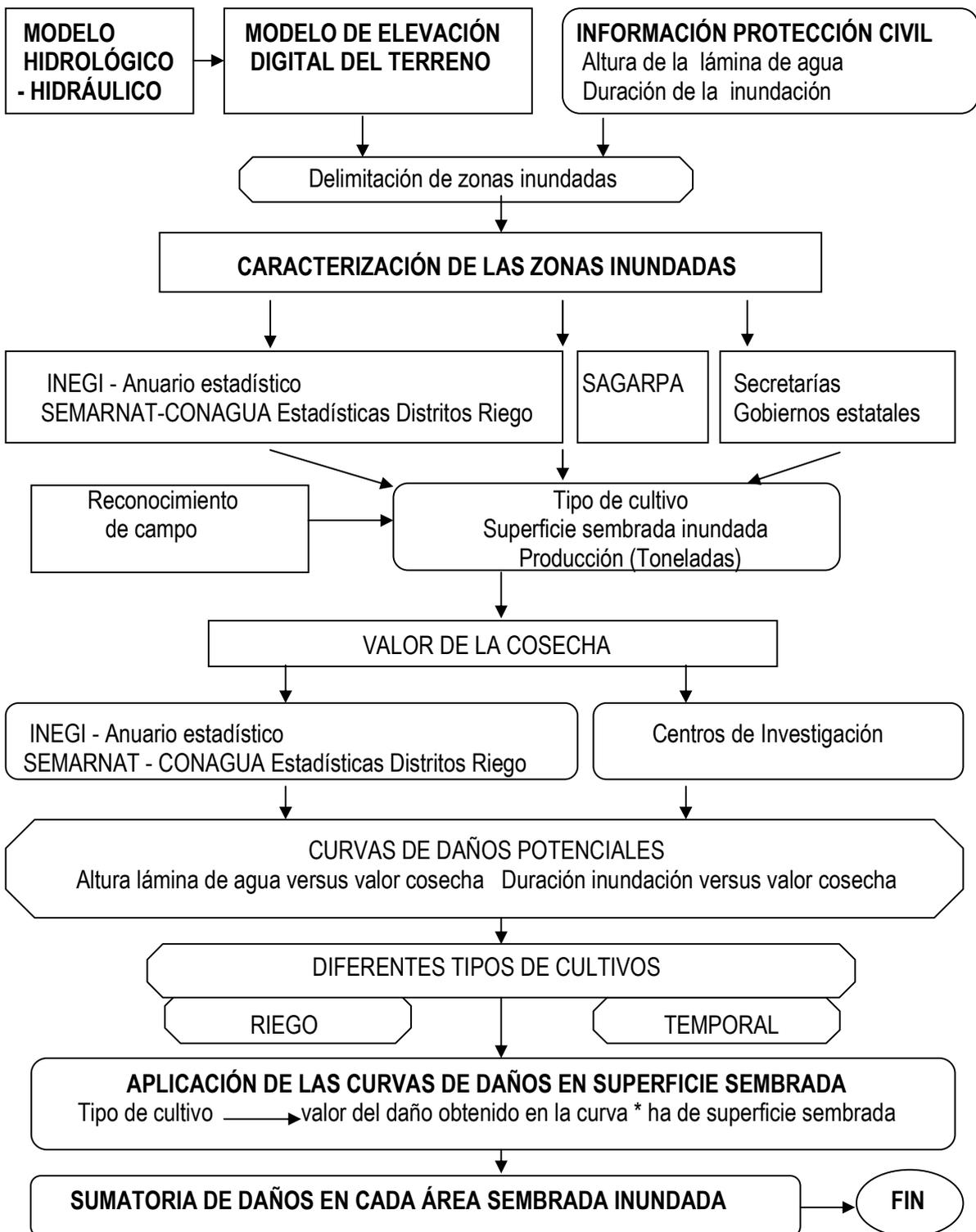


Figura 4.2. Desarrollo conceptual de una metodología para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas agrícolas. Daños directos.

A partir de estos datos, se hizo una búsqueda sobre información agraria en el Anuario Estadístico de cada uno de los estados y en las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, así como en las oficinas de las secretarías vinculadas con el tema en cada estado. Esta información permitió conocer la superficie sembrada en hectáreas bajo riego y en temporal así como información económica sobre los cultivos, en concreto, sobre el valor de la producción para el ciclo agrícola 2007-2008. Este valor del cultivo, permitió establecer cuál es el valor de la producción por hectárea, tanto bajo riego como en temporal.

Asimismo, se llevó a cabo una investigación en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México y en el Departamento de Agronomía de la Universidad de Guanajuato sobre las afectaciones de los cultivos por efecto de las inundaciones, estableciéndose cuál es el grado de afectación del cultivo en función del desarrollo biológico de la planta, la altura de la lámina de agua y la duración de la inundación.

Una vez obtenida y valorada toda esta información se procedió a la elaboración de dos tipos de curvas de daños potenciales para cada cultivo afectado, tanto en riego como en temporal:

- Curva de altura de lámina de agua de la inundación versus cultivo
- Curva de duración de la inundación versus cultivo

Posteriormente, se realizó la sumatoria de daños de las áreas agrícolas localizadas en toda la cuenca, de forma que se obtuvo el total de daños tangibles directos en la agricultura.

#### **4.5. DAÑOS TANGIBLES DIRECTOS**

Como ya se ha señalado, para el cálculo de los daños tangibles directos (pérdidas producidas por el contacto físico con el agua) normalmente se utilizan las curvas de daños, las cuales describen la relación de los dos principales factores de las inundaciones, como son la profundidad de la inundación (o altura de lámina de agua), y la duración de ésta, con los daños económicos que provoca la inundación. En casi todos los estudios realizados se ha comprobado que una misma altura de

inundación puede causar diferentes daños para diferentes tipos de usos del suelo, y dentro de los diferentes tipos de usos de suelo también se puede realizar una subdivisión teniendo en cuenta ciertos criterios.

Para el caso concreto de la zona de estudio, una primera división de las curvas fue la definición de curvas para las zonas habitacionales y para las zonas agrícolas. Dentro de las zonas habitacionales se llevó a cabo una subdivisión en función del índice de marginación de las AGEBS y de las características socioeconómicas ligadas a cada tipo de AGEB y en el caso de las zonas agrícolas, se efectuó una subdivisión en función del tipo de cultivo.

#### **4.5.1. Construcción de familias de curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales**

Con base en la tabla 4.1, se clasificaron los diferentes tipos de AGEB según el índice de marginación al cual está asignado. A cada uno de los tipos de AGEB se hizo corresponder unos bienes, cuyo valor fue cuantificado, para posteriormente ver cuál fue el daño en cada uno de estos bienes en función de la altura de la lámina de agua.

De esta manera, se definen las curvas de daños - altura de lámina de agua en función del IM urbana (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) de la AGEB donde se ubica una vivienda afectada.

A cada vivienda ubicada en una AGEB con un IM dado, se le hizo corresponder bienes cuyos valores fueron cuantificados, para posteriormente analizar cuál fue el porcentaje de afectación (daño) en cada uno de estos bienes en función de la altura de la lámina de agua.

Las alturas de lámina de agua a evaluar corresponderían a las obtenidas en un modelo de simulación o bien a las recopiladas en eventos de inundación ya acaecidos, de forma tal que, a partir de la altura máxima de la lámina de agua, se establecieron intervalos regulares de altura de la lámina de agua.

En este trabajo se definió para cada tipo de AGEB una familia de curvas; la curva de costo máximo, costo mínimo y costo más probable.

La curva de costo máximo representaría el valor del daño más elevado, y la curva de costo mínimo, permitiría definir el daño más bajo provocado por la inundación en una vivienda ubicada en una AGEB con un IM dado.

De cada una de estas curvas, se obtuvo una ecuación mediante un modelo de regresión, cuyos parámetros sirven para calcular los daños económicos ocasionados en una vivienda por una inundación de una altura de lámina de agua dada en función del IM de la AGEB donde se ubica dicha vivienda.

De acuerdo con la metodología hasta ahora seguida en esta investigación, y con base en la información de los censos poblacionales disponibles, se han llegado a determinar los posibles costos directos mínimo y máximo generados por inundación para cada tipo de AGEB. Lo anterior abre las puertas para proponer un modelo matemático probabilístico con base en una función beta y encontrar el valor del costo de inundación más probable para cada tipo de AGEB. En efecto, asumiendo que el fenómeno “costo de una inundación” es una variable aleatoria con características similares al del modelo teórico propuesto, es decir contar con dos límites que definen su existencia, es posible encontrar la expresión matemática adecuada para la estimación del costo más probable generado por una inundación.

Cabe mencionar que la propuesta de esta metodología tiene como fundamento la que ha sido desarrollada y ampliamente utilizada en el campo de la gestión de proyectos pero en el modelado de la duración más probable bajo el nombre de Método PERT (Program Evaluation and Review Technique). Esta técnica cuenta con dos principales orígenes, donde el primero ha sido un desarrollo de la Armada de los Estados Unidos de América, en 1957, para controlar los tiempos de ejecución de las diversas actividades integrantes de los proyectos espaciales, por la necesidad de terminar cada una de ellas dentro de los intervalos de tiempo disponibles. Fue utilizado originalmente por el control de tiempos del proyecto Polaris y actualmente se utiliza en todo el programa espacial (Llamas et al., 2001). Por otro lado, el método CPM (Crítico Path Method), el segundo origen del método actual, fue desarrollado también en 1957 en los Estados Unidos de América, por un centro de investigación de operaciones para la firma Dupont y Remington Rand,

buscando el control y la optimización de los costos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto.

Ambos métodos aportaron los elementos administrativos necesarios para formar el método del camino crítico actual, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

El uso del método PERT tienen gran aceptación en la práctica, principalmente por la forma tan simple que tiene para calcular la duración de una actividad, con base en tres posibles fechas de duración de la misma: i) la más probable, ii) la pesimista y iii) la optimista. Ahora bien, para el caso que se desea modelar, es decir el costo de la inundación, se requerirá de tres posibles costos: i) el costo más probable, ii) el costo máximo y iii) el costo mínimo. El modelo probabilístico básico lo constituye una forma muy particular de la distribución beta:

$$f(x) = \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}\beta(p,q)} \quad \text{sí } a < x < b \text{ y } p > 1, q > 1 \quad (4.1)$$

Que corresponde al primer caso de la familia de distribuciones beta tipo uno (Díaz-Delgado, 1988), caracterizado porque los valores de  $p$  y  $q$  tienen que ser ambos mayores que la unidad; en tal caso la función de densidad de probabilidad presenta una forma unimodal asimétrica y donde la esperanza matemática no coincide con la moda (o valor más probable), cortando esta función al eje de las abscisas en los puntos límites de existencia  $a$  y  $b$ .

El modelo propuesto se concreta aún más si se elige, al igual que en el método PERT, que los exponentes  $p$  y  $q$  sean  $3+\sqrt{2}$  y  $3-\sqrt{2}$  respectivamente, si la moda  $m$  de la distribución es mayor que el punto medio del intervalo de definición, o bien que sean  $3-\sqrt{2}$  y  $3+\sqrt{2}$  si  $m$  es menor al citado punto medio (Herrerías, 1988).

Esta es la razón por la cual la función no esté totalmente identificada cuando sólo se conoce el intervalo de variación ( $a$ ,  $b$ ), ya que será necesario, con base en los datos disponibles para cada tipo de AGEB, estimar el coeficiente de asimetría  $C_s$ .

$$C_s = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2}} \quad (4.2)$$

Por lo que las correspondientes características estocásticas de la variable “x” serán respectivamente para la media ( $E[x]$ ) y la varianza ( $V[x]$ ):

$$E[x] = \frac{pb + qa}{p + q} \quad (4.3)$$

$$V[x] = \frac{(b-a)^2 pq}{(p+q+1)(p+q)^2} \quad (4.4)$$

Como puede apreciarse, sólo en el numerador de la expresión de la esperanza matemática hay que saber si  $p = 3 + \sqrt{2}$  o  $p = 3 - \sqrt{2}$ , ello quedará definido por el signo del coeficiente de asimetría  $C_s$ . Sin embargo, teniendo en consideración que la ecuación (4.1) presenta la moda en el punto:

$$m = \frac{b(p-1) + a(q-1)}{p+q-2} \quad (4.5)$$

Se tiene en consecuencia que la expresión (4.3) puede reescribirse como:

$$E[x] = \frac{a + (p+q-2)m + b}{p+q} \quad (4.6)$$

Por lo que al considerar los valores de  $p$  y  $q$ :

$$p = 3 + \sqrt{2} \text{ y } q = 3 - \sqrt{2} \quad \text{o} \quad p = 3 - \sqrt{2} \text{ y } q = 3 + \sqrt{2},$$

Se obtienen las mismas expresiones para las estimaciones de la media y la varianza:

$$E[x] = \frac{a + b + 4m}{6} \quad (4.7)$$

$$V[x] = \frac{(b-a)^2}{36} \quad (4.8)$$

Por lo tanto, el valor del coeficiente de asimetría puede generar tres casos: i) caso donde el  $C_s < 0$ ; ii) caso donde  $C_s = 0$  e iii) caso donde  $C_s > 0$ . El modelo propuesto sólo será válido para cuando  $C_s \neq 0$ . Cuando se esté en presencia de un  $C_s = 0$  (función simétrica), entonces el valor más probable será considerado como el valor promedio obtenido de la muestra de valores disponibles de costos para cada AGEB tipo.

Así pues, en caso de tener un  $C_s < 0$ , el valor más probable ( $m$ ) será estimado por:

$$m = \frac{2(a+b) + \sqrt{2}(b-a)}{4} \quad (4.9)$$

Este caso genera el costo probable más conservador en caso de no contar con la estimación del  $C_s$ .

Análogamente, en caso de tener un  $C_s > 0$ , el valor más probable ( $m$ ) será estimado por:

$$m = \frac{2(a+b) - \sqrt{2}(b-a)}{4} \quad (4.10)$$

#### **4.5.2. Construcción de familias de curvas de daños potenciales por inundación en zonas agrícolas**

En este caso, se definen las curvas de daños – altura de lámina de agua para los siguientes cultivos dominantes:

- Maíz de grano
- Maíz forrajero

También se definen las curvas de daños – duración de la inundación, ya que la duración de la inundación es un factor decisivo en los cultivos.

Otros cultivos cíclicos de gran extensión en el área de estudio lo constituyen el sorgo grano, trigo grano, brócoli y cebada grano; y entre los cultivos perennes la alfalfa verde y el espárrago. Estos cultivos se extienden en áreas no afectadas por inundaciones y, además, algunos de ellos tienen un ciclo agrícola que no coincide con el período de inundaciones. Por otro lado, los efectos que una inundación

produce sobre estos cultivos no han sido reportados en la literatura por lo que se necesitaría realizar estudios sobre este tema.

Asimismo se tendrá en cuenta si el cultivo es de temporal o de riego, ya que el rendimiento y el valor económico son diferentes.

#### **4.6. APLICACIÓN DE CURVAS PARA EVALUACIÓN DE DAÑOS ECONÓMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO TEJALPA**

Con objeto de realizar una aplicación de las curvas de daños potenciales en zonas urbanas y agrícolas en la Subcuenca del río Tejalpa, ubicada en el Cuenca Alta del río Lerma, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Con la información de elevación de los niveles máximos de agua obtenidos de los perfiles hidráulicos calculados con el programa HEC-RAS por Vega (1999) y Díaz-Delgado y Vega (2001), para toda la longitud del cauce, y con la información topográfica del Modelo de Elevación Digital del Terreno (MED), el cual fue definido para este estudio con cotas cada 10 metros, se determinaron las zonas de inundación para cada uno de los períodos de retorno definidos. Asimismo, se ubicaron las secciones transversales del río Tejalpa.
2. Una vez determinadas las zonas de inundación para cada período de retorno se procedió a convertir estas zonas en un formato aceptado por el programa ArcView GIS 3.20 (ESRI, 1996). Utilizando este sistema de información geográfica se sobrepuso el mapa de uso de suelos (INEGI, 2003) sobre el mapa de las zonas inundadas para cada período de retorno. Esta sobreposición permitió determinar la superficie de cada uno de los usos del suelo que podría ser afectada por una inundación para un caudal con un período de retorno dado.
3. Una vez conocidas las superficies afectadas y las alturas de lámina de agua para cada uno de los usos de suelo se procedió a obtener dos mapas, uno con las áreas habitacionales afectadas por inundación, y otro con las áreas agrícolas (Figura 4.3).
4. Mapa de las zonas habitacionales afectadas por inundación.

- El mapa de las zonas habitacionales afectadas por inundación se sobrepuso con el mapa de las AGEBS que se enmarcan dentro de la zona de estudio obtenido del SCINCE (INEGI, 2002b). De esta forma, se definió en cuales AGEBS se identificaban zonas inundables.
  - Para cada AGEB identificada se extrajeron del SCINCE (INEGI, 2002b), los indicadores censales correspondientes y se determinó, con base a la información de CONAPO (2007), su Índice de Marginación.
  - Conociendo el IM de la AGEB afectada, se pudo definir qué ecuación de las curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales se emplearía.
  - Sabiendo el número de viviendas afectadas en cada AGEB por la inundación, qué ecuación se iba a utilizar para el cálculo de daños directos, sólo faltaría saber cuál es la lámina de agua que se aplicaría para una inundación dada. Esta lámina de agua se obtuvo de las secciones transversales del río que estaban localizadas en las AGEBS afectadas, o en sus inmediaciones, de acuerdo con los resultados obtenidos por Vega (1999)
  - Con toda esta información se calcularon los daños directos tangibles en las zonas habitacionales afectadas por inundación.
5. Mapa de las zonas agrícolas afectadas por inundación.
- A partir del mapa de las zonas agrícolas afectadas, se estableció qué clase de uso de suelo era representativo de la zona inundable (de riego o de temporal), lo cual permitió definir qué ecuación de las curvas de daños potenciales por inundación en zonas agrícolas se iba a utilizar en cada tipo de uso de suelo agrícola.
  - También se estableció cuál era el cultivo representativo de las zonas inundables, el número de hectáreas cosechadas de ese cultivo y la producción de la cosecha, siendo el cultivo representativo, en este caso de la Subcuenca del río Tejalpa, el maíz de grano (se comprobó por recorrido de campo en zonas de cultivos y consultas con especialistas)

- Una vez estimadas las hectáreas afectadas en cada zona agrícola (maíz grano bajo riego o maíz grano de temporal) por la inundación, se eligió la ecuación establecida por la curva de ajustes para el cultivo en cuestión, siendo esta ecuación la que se utilizará para el cálculo de daños directos. El siguiente paso fue la obtención de la lámina de agua que se aplicaría para una inundación dada. Esta lámina de agua se obtuvo de las secciones transversales del río que estaban localizadas en las zonas agrícolas afectadas, o en sus inmediaciones, de acuerdo con los resultados obtenidos por Vega (1999)
  - Con la información procesada, de acuerdo con los párrafos anteriores, se está en condiciones de llevar a cabo la estimación de los daños directos tangibles en las zonas agrícolas potencialmente afectadas por inundación.
6. Finalmente se efectuó la sumatoria de todos los daños para obtener el valor económico de éstos en salarios mínimos para 2009 así como en pesos. De esta forma, se cuantificó el valor de los daños económicos potenciales tangibles en zonas habitacionales y en zonas agrícolas, provocados por una inundación para los diferentes caudales y periodos de retorno estudiados.

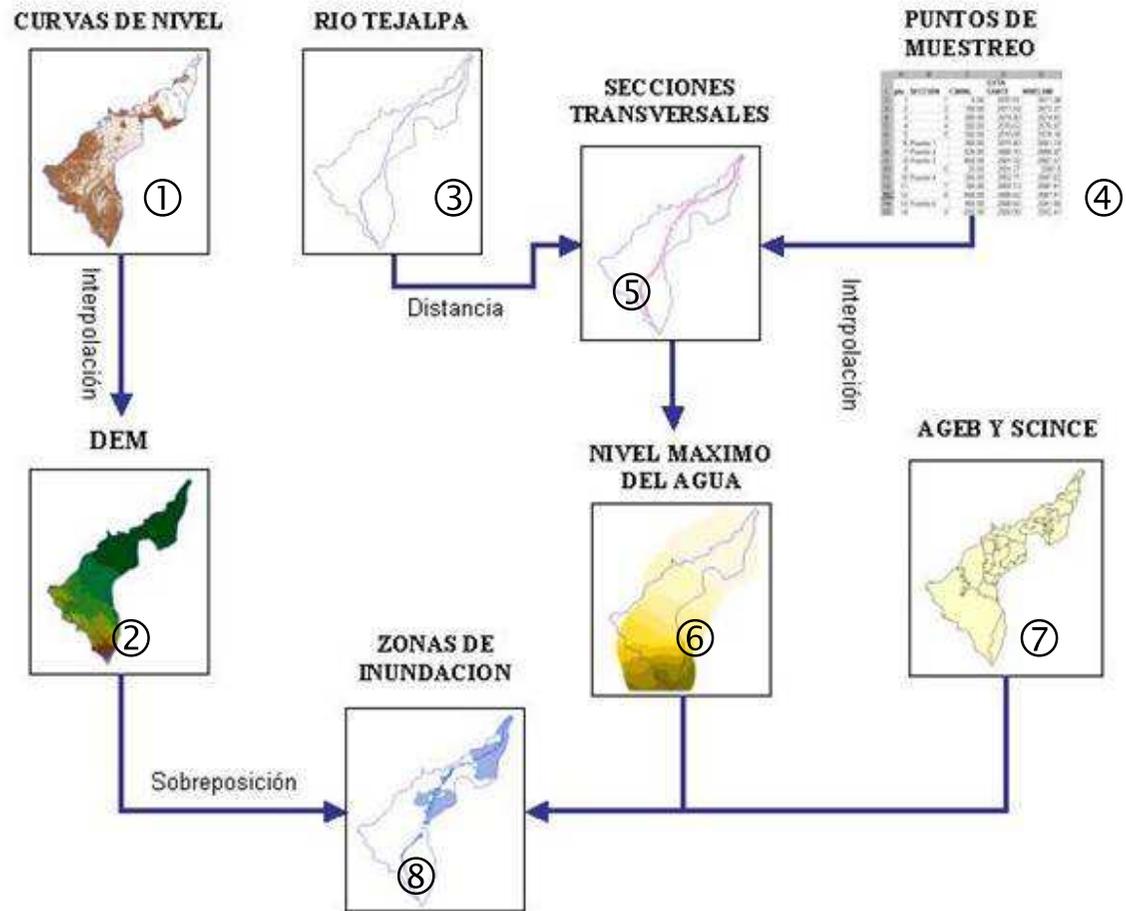


Figura 4.3. Diagrama de flujo establecido para el procesamiento de la información cartográfica para el caso de estudio de la Subcuenca del río Tejalpa.



## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cálculo de los daños en áreas inundables sólo abarcará, en el presente estudio, los daños tangibles directos e indirectos para zonas habitacionales y agrícolas, tal y como han sido definidos por James y Lee (1971), de forma que los daños tangibles directos son los producidos por contacto con el agua o por sumersión, y los daños indirectos son aquellos daños causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas.

#### 5.1. DAÑOS TANGIBLES DIRECTOS

##### 5.1.1. Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales

En primer lugar se identificaron las AGEBS ubicadas en zonas inundables dentro del área de estudio, en este caso la cuenca Lerma-Chapala (Figura 5.1). En total se identificaron 183 Unidades Geográficas (UG); dentro de las cuales se contabilizaron 125 AGEBS con un IM muy alto, 126 con IM alto, 106 con IM medio, 65 con IM bajo y 29 con IM muy bajo (Tabla 5.1, ANEXO II).

Con base en la información anterior, y la contenida en el SCINCE e IRIS-SCINCE II (INEGI, 2002, 2007), se elaboró una base de datos en función del IM, donde se incluyó el número de identificación de la AGEB, el número de viviendas habitadas, así como el número de bienes existentes, concretamente de radio, radiograbadoras, televisiones, videos, licuadoras, refrigeradores, lavadoras, teléfonos, calentadores, automóviles y computadoras. Adicionalmente, en el marco de este trabajo, se incluyeron en la base de datos otros bienes, como son los mobiliarios (cocina, comedor, sala y recámara) y los de ropa y calzado, los cuales no se contemplan en la información del SCINCE (ANEXO III).

Tabla 5.1. Número de unidades geográficas, número de AGEB's urbanas e índice de marginación por entidad federativa localizadas en zonas inundables de la cuenca Lerma-Chapala.

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ESTADO DE MÉXICO		JALISCO		GUANAJUATO		MICHOACÁN		TOTAL	
	UG	AGEB	UG	AGEB	UG	AGEB	UG	AGEB	UG	AGEB
Muy alto	43	60	7	12	20	28	17	25	87	125
Alto	23	57	9	17	14	29	17	23	63	126
Medio	10	32	6	18	7	44	1	12	24	106
Bajo	1	9	1	11	4	39	-	6	7	65
Muy bajo	1	2	-	13	1	23	1	1	4	29

IM, Índice de marginación, UG, Unidad geográfica, AGEB Área geoestadística básica

Una vez definidos los bienes existentes en una vivienda para un tipo de AGEB dado, así como su valor monetario, se determinó el porcentaje de afectación de estos bienes en función del nivel que alcance el agua dentro de la vivienda. Este análisis se realizó con el objetivo de tener una cuantificación más realista del valor del daño producido por el contacto directo con el agua. Una vez determinado el porcentaje de afectación, éste se multiplicó al valor de cada uno de los bienes.

El valor obtenido de daños para una altura de lámina de agua y para una vivienda ubicada en una AGEB con un IM dado, permitió, en un siguiente paso, calcular el costo máximo, el más probable y el costo mínimo, simplemente identificando el valor más alto y el valor más bajo obtenido.

Para la estimación de costo mas probable es requerido el calculó del coeficiente de asimetría (ANEXO III), para determinar cuál es su valor ( $C_s > 0$ ,  $C_s < 0$ ,  $C_s = 0$ ) y de este modo elegir la función a emplear para estimar el costo más probable.

Posteriormente, se graficaron los costos versus la altura de lámina de agua, lo cual permite obtener tres curvas, la curva de costo mínimo, la curva de costo máximo y la curva de costo más probable, siendo esta última con la que se realizaron los cálculos de daños.

A continuación se presenta de forma detallada cómo se obtuvieron los diferentes tipos de curvas para cada tipo de AGEB.

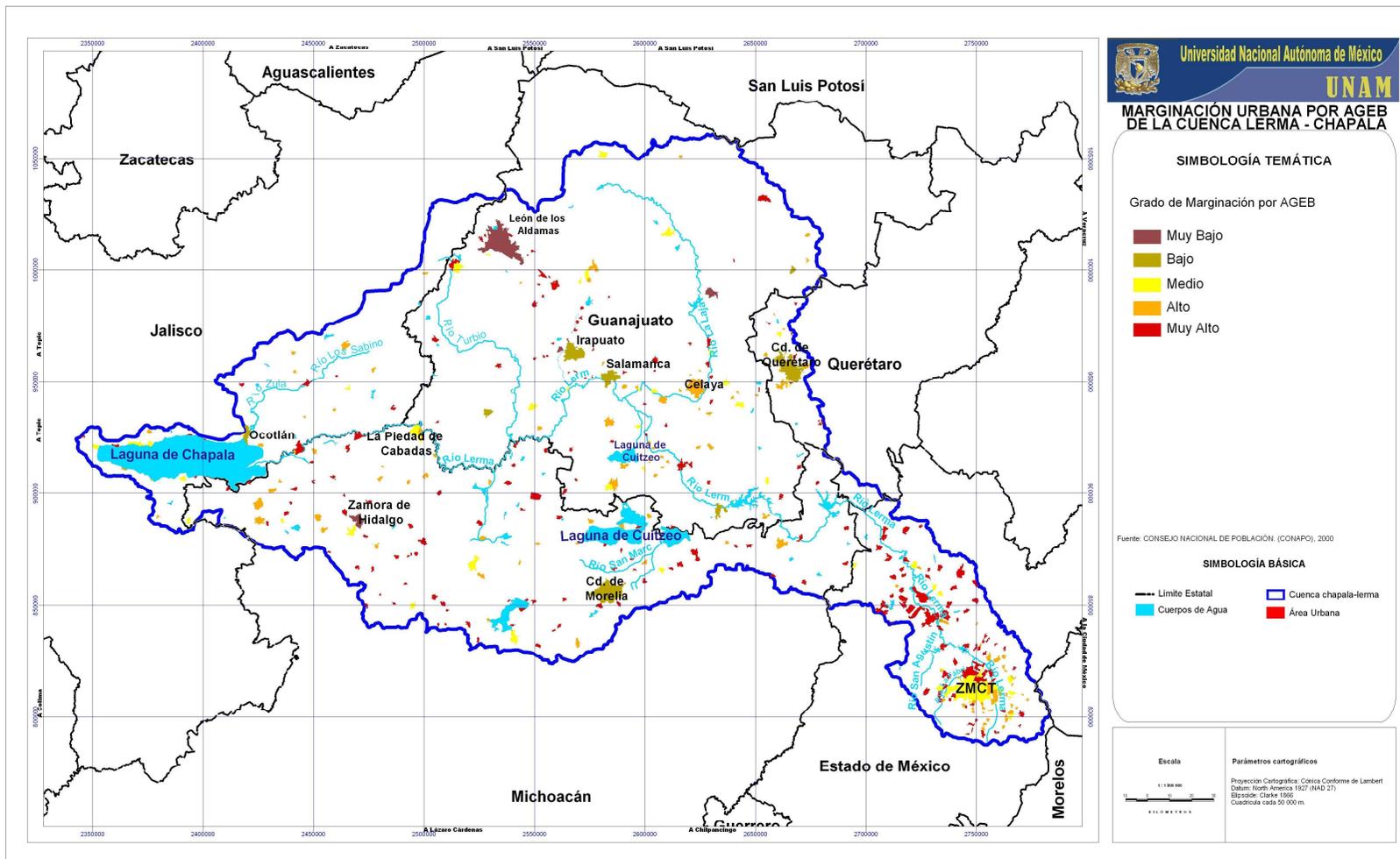


Figura 5.1. Índice de marginación de las AGEBs urbanas. Cuenca Lerma-Chapala

#### 5.1.1.1. Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM muy alto

En primer lugar se definió la relación de bienes que como promedio existen en esta clase de vivienda, consistente en: televisión, refrigerador y estufa, en el rubro de electrodomésticos, además de los muebles correspondientes a la sala, comedor y recámaras. También se consideró el rubro de ropa. A cada uno de estos rubros se le hizo corresponder un precio unitario teniendo en cuenta los ingresos y gastos de una familia que habita en este tipo de vivienda, para finalmente obtener el costo total de todos ellos (Tabla 5.2).

El siguiente paso fue establecer los intervalos de altura de lámina de agua, para definir de este modo el porcentaje de afectación que pudiera tener cada uno de estos bienes. Para ello se consideró en el caso de los electrodomésticos a qué altura se encuentra instalado el motor, y en caso de los muebles, cuáles son sus dimensiones promedio.

Las alturas de lámina de agua definidas fueron de 0.10 m., 0.20 m., 0.30 m., 0.50 m., 0.70 m., 1.00 m., 2.00 m. y 2.5 m. No se definieron más alturas ya que a esta última, los daños totales alcanzarían un valor del 100%

En el caso de los electrodomésticos tipo refrigerador, el porcentaje de afectación se estableció en función de que altura de la lámina de agua alcanza el sistema de refrigeración, y por lo tanto lo dañe, lo cual corresponde a una altura de lámina de agua de 0.30 m., a partir de ese nivel, un refrigerador quedaría inutilizado en un 90% (Tabla 5.2).

En el caso de una estufa, como los quemadores se encuentran en la parte superior, la afectación se daría en el momento en que el nivel del agua alcanzase ese punto, lo cual equivaldría a unos 0.50 m de altura; ya que las estufas, si no tienen horno, se encuentran sobre alguna superficie, o si tiene horno la altura promedio de la estufa es de medio metro. Con respecto a la televisión, ésta siempre se encuentra sobre algún mueble, por lo cual se considera que se produciría una afectación a partir de los 0.30 m. de altura del nivel del agua.

Tabla 5.2. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (número de unidades entre paréntesis)

Bienes en la vivienda	Precio unitario	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
		0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
Radio o radiograbadora	3000			90	100	100	100	100	100
TV	4000			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	400			90	100	100	100	100	100
Licuadaora	700			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	4000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	3000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	100						100	100	100
Boiler	1500					90	100	100	100
Auto	15000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	6000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	1500				90	100	100	100	100
Sala-Comedor (1)	2000	10	30	50	80	100	100	100	100
Recámaras-colchón (4)	3000			90	100	100	100	100	100
Ropa (1)	4000			50	100	100	100	100	100

Con respecto a los muebles, cabe señalar que éstos se ven dañados desde el momento en que se inicia la inundación ya que están a ras de suelo, por lo cual su afectación va en aumento a medida que crece la altura de la lámina de agua.

Una vez asignados los porcentajes de afectación, se calculó el valor del daño correspondiente con base en el costo de cada bien (Tabla 5.2), de modo que se obtiene el valor en pesos de los daños económicos para cada altura de lámina de agua alcanzada y para cada una de las AGEBs identificadas (Tabla 5.3). Estos daños totales se convirtieron en número de salarios mínimos, teniendo en cuenta que el salario mínimo promedio a nivel nacional equivale a \$53.19 para el año 2009. El monto obtenido se dividió por el número de viviendas habitadas que existe en cada una de las AGEBs identificadas para de esta forma obtener el valor de los daños para una vivienda. Finalmente, se obtiene, para cada altura de lámina de agua, el monto de los daños económicos en una vivienda ubicada en una AGEB con IM muy alto, valorado en número de salarios mínimos.

Con estos datos se construyó una gráfica, donde el eje X corresponde a valores de altura de lámina de agua en metros, y en el eje Y los daños económicos en unidades de número de salarios mínimos. Una vez se grafican los datos, se construye un modelo matemático de tipo regresivo y con este ajuste se obtiene una ecuación cuyos parámetros se utilizarán posteriormente para el cálculo de los daños tangibles directos (Figura 5.2). El ajuste elegido fue aquel con el que se obtuvo el valor más alto del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), que en este caso correspondió a un ajuste logarítmico, con un coeficiente de determinación de 0.82 para el caso del costo máximo, de 0.72 para el costo mínimo y 0.74 para el costo más probable (Tabla 5.4). La ecuación del modelo logarítmico permite calcular los daños potenciales directos, en número de salarios mínimos, para una altura de lámina dada.

Tabla 5.3. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (en pesos 2009)

IM MUY ALTO	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)								
	Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
110110054	200	3378	23340	30458	31682	32376	33311	33311	
110110006	200	3768	23373	30383	31622	32391	33201	33201	
110180035	200	4137	24495	31995	33417	34568	35764	35764	
110180001	200	4012	24410	31754	33120	34170	35206	35206	
110190068	200	2888	22412	29346	30473	31283	32141	32141	
110230148	200	3359	23559	31025	32347	33085	34374	34374	
110270046	200	3206	23171	30205	31387	32109	32976	32976	
110270087	200	2488	21652	28228	29213	29701	30269	30269	
110270135	200	3145	22693	29522	30642	31153	31859	31859	
110270161	200	3704	23891	31042	32307	33167	34066	34066	
110270110	200	3034	21789	28335	29379	29864	30375	30375	
110280064	200	2883	22710	29754	30904	31720	32661	32661	
110380001	200	4021	24335	31918	33356	34609	35915	35915	
110420043	200	2962	22312	29160	30269	30845	31622	31622	
110420001	200	4520	25094	32779	34308	35511	36825	36825	
110420050	200	3383	23217	30535	31817	32666	33836	33836	
140160072	200	3525	23571	30608	31820	32312	33130	33130	
150050016	200	1243	19356	25450	26193	26405	26748	26748	
150060001	200	3162	23037	30287	31553	32653	33768	33768	
150140048	200	2129	21361	28302	29378	30047	31050	31050	
150420024	200	923	18086	23951	24619	24736	24989	24989	

---

150420007	200	900	17915	23753	24416	24518	24764	24764
150420031	200	1205	19219	25225	25937	26127	26393	26393
150420016	200	1351	19984	26309	27119	27523	28038	28038
150420030	200	1686	20383	26986	27917	28404	29169	29169
150420002	200	1578	20039	26912	27923	28387	29486	29486
150420017	200	906	18576	24653	25368	25533	25958	25958
150420032	200	1248	19081	25078	25805	25962	26233	26233
150420022	200	1548	20344	26984	27911	28350	29160	29160
150420035	200	1187	19144	25238	25981	26231	26600	26600
150420034	200	1379	19538	25900	26740	27146	27754	27754
150480015	200	1669	20692	27147	28021	28415	28980	28980
150670005	200	2173	21686	28305	29263	29741	30357	30357
150850038	200	1239	17660	23978	24849	25203	25995	25995
150850001	200	2827	21829	28887	30098	31082	32139	32139
150850024	200	900	17669	23477	24140	24262	24505	24505
150850014	200	1724	19785	26180	27074	27519	28127	28127
150870017	200	1924	20716	27438	28424	29006	29855	29855
150870027	200	1458	20194	26484	27288	27574	28026	28026
150870021	200	2338	21827	28899	30021	30764	31850	31850
151010003	200	1948	20578	27037	27954	28469	29048	29048
151010001	200	3862	24313	31931	33394	34861	36203	36203
151010014	200	2687	22380	29471	30630	31382	32416	32416
151060051	200	2096	21314	28079	29087	29608	30427	30427
151060082	200	2196	21302	28070	29093	29620	30443	30443
151060188	200	1045	18651	24608	25305	25464	25747	25747
151060098	200	1760	20271	26610	27470	27819	28309	28309
151060062	200	1499	19808	26105	26934	27256	27761	27761
151060127	200	1270	19317	25545	26337	26587	27080	27080
151060079	200	2207	21758	28550	29571	30210	31002	31002
151060112	200	2107	20877	27497	28476	29007	29721	29721
151060068	200	1115	19042	25091	25810	25998	26332	26332
151060155	200	1029	18432	24423	25133	25287	25634	25634
151060099	200	1300	18915	25084	25870	26132	26609	26609
160110004	200	4003	24191	31386	32690	33370	34277	34277
160500001	200	3854	24138	31700	33124	34333	35642	35642
160500070	200	2620	22334	29167	30229	30868	31631	31631
160690001	200	5163	25925	34080	35837	37257	38965	38965
160860001	200	4419	24818	32534	34057	35251	36636	36636
161050004	200	4022	24226	31835	33261	34294	35647	35647
161130016	200	4715	25565	34029	35773	37213	39321	39321
161130001	200	4422	25047	33057	34653	35930	37609	37609
161130012	200	3367	23721	31139	32436	33376	34593	34593
150490005	200	2116	21280	27849	28802	29351	29960	29960
150900038	200	2099	21283	28002	28994	29541	30315	30315
150480008	200	3192	23057	30468	31785	32916	34204	34204
150740008	200	647	16252	21749	22329	22382	22462	22462
150470020	200	1107	17655	23722	24497	24853	25373	25373
160170001	200	3387	23531	31030	32381	33507	34831	34831
160200016	200	1834	21035	27257	28060	28297	28566	28566
160630001	200	3400	23579	30907	32199	33213	34346	34346

161030001	200	4434	25096	32839	34358	35183	36565	36565
160620001	200	3937	24421	32086	33532	34575	35962	35962
160620006	200	3501	23521	30711	31965	32376	33367	33367
160180001	200	3436	23804	31254	32572	33810	35051	35051
160300001	200	4408	25041	32931	34493	35930	37479	37479
150420033	200	1762	20767	27413	28354	28686	29448	29448
140160010	200	4950	25723	34492	36369	38016	40429	40429
140180027	200	4385	24742	32546	34087	35435	36927	36927
140500011	200	4061	24525	32082	33526	34566	35818	35818
140960014	200	3234	23207	30516	31778	32673	33836	33836
140660019	200	1913	20063	26294	27144	27348	27743	27743
140660031	200	1438	18316	24306	25076	25207	25559	25559
110210001	200	5531	26679	35061	36917	38773	40629	40629
110460075	200	4830	25668	33458	35025	36406	37762	37762
110020027	200	3269	23221	30411	31646	32720	33752	33752
110010117	200	2997	22503	29528	30695	31337	32280	32280
<b>MAX (\$)</b>	200	5531	26679	35061	36917	38773	40629	40629
<b>MIN (\$)</b>	200	647	16252	21749	22329	22382	22462	22462
<b>MP (\$)</b>	200	1362	17779	23699	24465	24782	25123	25123
<b>MAX (No. S.M.)</b>	4	104	502	659	694	729	764	764
<b>MIN (No. S.M.)</b>	4	12	306	409	420	421	422	422
<b>MP (No. S.M.)</b>	4	26	334	446	460	466	472	472

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

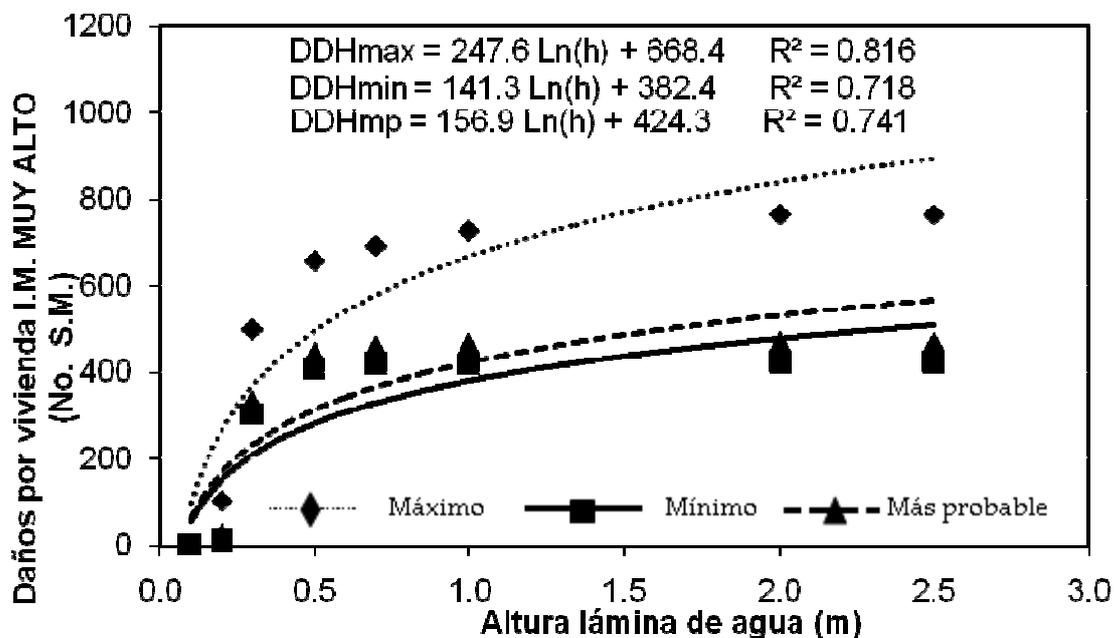


Figura 5.2. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy alto

Tabla 5.4. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM muy alto

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>
<b>Muy alto</b>	DDHmax = 247.63 Ln(h) + 668.44	0.82
	DDHmin = 141.36 Ln(h) + 382.45	0.72
	DDHmp = 156.92 Ln(h) + 424.33	0.74

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo

DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo

DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable

h: altura de la lámina de agua

Los modelos matemáticos de tipo regresivo están basados en el principio que la mejor forma de encontrar una curva que se ajuste para un conjunto de datos, es a través de un proceso de regresión y correlación de los datos por mínimos cuadrados, diferencias finitas, etcétera., donde el ajuste resultante puede ser una recta o una curva que permite un acercamiento más fiel a los datos en estudio. La ecuación de la curva que se busca ajustar cuenta, generalmente, con dos o más constantes de ajuste que se deben determinar mediante el proceso anteriormente mencionado. Si el ajuste es logarítmico, se tiene una ecuación  $y = K \ln(x) + C$ , donde K y C son los valores que permiten modificar la ecuación  $y = \ln(x)$  para ajustarse mejor a los datos.

El sustento del modelo de ajuste lo constituye un ábaco de curvas que permiten seleccionar automáticamente cual es el tipo de curva que mejor se ajusta.

El valor del coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, indica cuánto es de representativa la ecuación para poder interpretar los datos, de forma que un valor próximo a 1 indica que la ecuación puede explicar, en un alto porcentaje, el comportamiento de estos datos.

La ecuación del ajuste logarítmico permite calcular los daños potenciales directos, en número de salarios mínimos, para una altura de lámina dada. Por ejemplo, si la inundación producida en un sector determinado provoca una lámina de agua de 0.56 m de altura, sólo será cuestión de sustituir la x de la ecuación por este valor

para obtener la cuantificación de los daños potenciales directos para una vivienda de clase precaria en número de salarios mínimos.

Esta gráfica tiene la particularidad de utilizar como unidades de medida el número de salarios mínimos. Esto implica que la gráfica puede ser aplicada en cualquier año ya que para estimar los daños en pesos bastaría multiplicar el número de salarios mínimos correspondiente a la altura de la lámina de agua por el valor del salario mínimo en ese año en particular correspondiente al área geográfica en cuestión (A, B o C) en donde se produzca la inundación, el cual se da a conocer por el Consejo Nacional de Salarios Mínimos (CNSM) cada año.

También es posible notar, en la figura 5.2, como a partir de una altura de lámina de agua de 0.50 m se produce un cambio en el comportamiento de los datos. Esto es consecuencia de que para alturas de lámina mayor, los bienes están afectados casi en su totalidad en un 100% (Tabla 5.2). Hay que señalar que esta gráfica (así como las subsiguientes para los diferentes tipos de AGEBs), representa como los daños a la vivienda y sus bienes va aumentando de forma aproximadamente lineal con el nivel de las aguas, pero llega un punto en que los daños van aumentando más lentamente hasta que se producen los daños estructurales en la vivienda, lo que implica una afectación del 100%, tal y como lo reporta Estrela (1996).

#### 5.1.1.2 Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM alto

El modo de establecer la curva de daños potenciales para viviendas ubicadas en una AGEB con IM alto fue el mismo que en el anterior caso, las diferencias estriban en que el costo de estos bienes es superior (ANEXO II) ya que al tener un mayor ingreso el tipo de familia que vive en estas clases de viviendas, pueden dedicar un mayor porcentaje de sus ingresos a este rubro.

En la tabla 5.5 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua. En la tabla 5.6 se exponen el valor de estos daños en pesos y su equivalencia en número de salarios mínimos para el año 2009.

Tabla 5.5. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (número de unidades entre paréntesis)

IM ALTO		ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
Radio o radiograbadora	3500			90	100	100	100	100	100
TV	5000			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	400			90	100	100	100	100	100
Licuadora	700			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	4000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	3000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	100						100	100	100
Boiler	1500					90	100	100	100
Auto	20000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	6000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	1500				90	100	100	100	100
Comedor (1)	3000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	3000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	4000			90	100	100	100	100	100
Ropa (1)	5000			50	100	100	100	100	100

Con los datos, se construyó la familia de curvas de daños potenciales por inundación para viviendas en AGEB con índice de marginación alto, curvas que se presenta en la Figura 5.3. Para cada curva se obtuvo un ajuste logarítmico, con un coeficiente de determinación de 0.85 para la curva de costo máximo, de 0.79 para la de costo mínimo y de 0.84 para el costo más probable (Tabla 5.7).

Tabla 5.6. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (en pesos 2009)

IM ALTO		ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
Clave UG		0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
110020001	600	9913	29791	40005	42009	44236	46172	46172	
110020047	600	8328	28064	37857	39598	41618	43333	43333	
110160001	600	9466	29436	39851	41852	44133	46342	46342	
110180030	600	7507	27514	36957	38507	40220	41635	41635	
110230288	600	9598	29466	39636	41587	43415	45351	45351	
110270043	600	8949	28771	38491	40259	42302	43842	43842	
110280048	600	8810	28707	38271	39984	41860	43241	43241	
110280060	600	8908	28870	38799	40626	42629	44385	44385	

110280013	600	9288	28805	38864	40768	42792	44694	44694
110280031	600	8698	28555	38348	40115	42018	43667	43667
110280058	600	8394	28208	37724	39398	41200	42593	42593
140160089	600	9035	28758	38918	40804	42226	44250	44250
140330001	600	10619	30444	41494	43787	46159	48917	48917
140470001	600	9933	29880	40195	42215	44059	46096	46096
150120001	600	7414	26852	36402	38015	39817	41424	41424
150140057	600	6815	25970	35379	36909	38655	40224	40224
150270001	600	7386	26960	36481	38079	39862	41425	41425
150420029	600	7723	27171	37077	38807	40679	42634	42634
150480013	600	6389	25533	34387	35726	37123	38148	38148
150510022	600	6588	26093	34908	36233	37579	38493	38493
150510024	600	7936	27482	37182	38870	40613	42301	42301
150510028	600	6594	25855	34797	36166	37549	38629	38629
150540052	600	7641	27337	36715	38286	39890	41249	41249
150540035	600	7694	27211	36612	38197	39874	41273	41273
150670001	600	7517	27153	36516	38081	39799	41164	41164
150760001	600	8292	27799	37554	39306	41192	42893	42893
150980001	600	7021	26180	35469	36986	38822	40233	40233
151060050	600	6707	26180	35242	36651	38034	39203	39203
151060088	600	7936	27184	36834	38558	40420	42079	42079
151150001	600	7546	27316	36684	38244	39962	41314	41314
160040001	600	8874	28626	38689	40543	42586	44520	44520
160110001	600	9811	29579	40007	42044	44226	46428	46428
160600001	600	9486	29336	39698	41686	43391	45556	45556
160670001	600	9384	29125	39406	41374	43653	45753	45753
161050001	600	9487	29281	39667	41662	43680	45878	45878
161060001	600	9328	28910	38970	40878	42722	44609	44609
150550001	600	8468	27961	38292	40216	42375	44682	44682
150620023	600	6680	26375	35415	36810	38317	39438	39438
150190005	600	7649	27020	36444	38040	39779	41227	41227
150900039	600	7369	27250	36679	38238	39977	41408	41408
150900001	600	8294	27920	37799	39580	41729	43551	43551
150730001	600	7143	26800	36125	37644	39229	40602	40602
150720001	600	7404	27335	36595	38112	39813	41046	41046
160360001	600	9402	29176	39290	41208	43570	45484	45484
160540001	600	8531	28392	38235	40002	42063	43788	43788
160780001	600	8493	28385	37987	39689	41622	43086	43086
160740001	600	8268	27873	37415	39075	40802	42268	42268
161030003	600	9081	28892	39338	41305	42940	45258	45258
160420001	600	8753	28396	38202	39974	41220	42903	42903
160300018	600	9145	29193	39482	41399	43737	45847	45847
160440001	600	8758	28645	38538	40338	42342	44088	44088
160280001	600	9724	29763	40319	42369	44822	47145	47145
161090001	600	9785	29447	40159	42273	44764	47292	47292
161030007	600	9122	29060	39249	41144	43107	45125	45125
140500017	600	9842	29665	40218	42291	44631	46958	46958
140500001	600	10047	29795	40223	42291	44133	46301	46301

141070008	600	8752	28442	38072	39797	41585	43070	43070
141070001	600	9543	29318	39498	41434	43634	45603	45603
140960001	600	8645	28225	38021	39788	41591	43286	43286
140300001	600	10083	29868	40297	42373	44235	46394	46394
110460001	600	9154	28997	38825	40648	42630	44255	44255
110360001	600	8512	28086	37669	39369	40664	42145	42145
110410001	600	9844	29801	39989	41963	44174	46085	46085
<b>MAX (\$)</b>	600	10619	30444	41494	43787	46159	48917	48917
<b>MIN (\$)</b>	600	6389	25533	34387	35726	37123	38148	38148
<b>MP (\$)</b>	600	9999	29725	40453	42607	44835	47340	47340
<b>MAX (No S.M.)</b>	11	200	572	780	823	868	920	920
<b>MIN (No S.M.)</b>	11	120	480	647	672	698	717	717
<b>MP (No S.M.)</b>	11	188	559	761	801	843	890	890

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

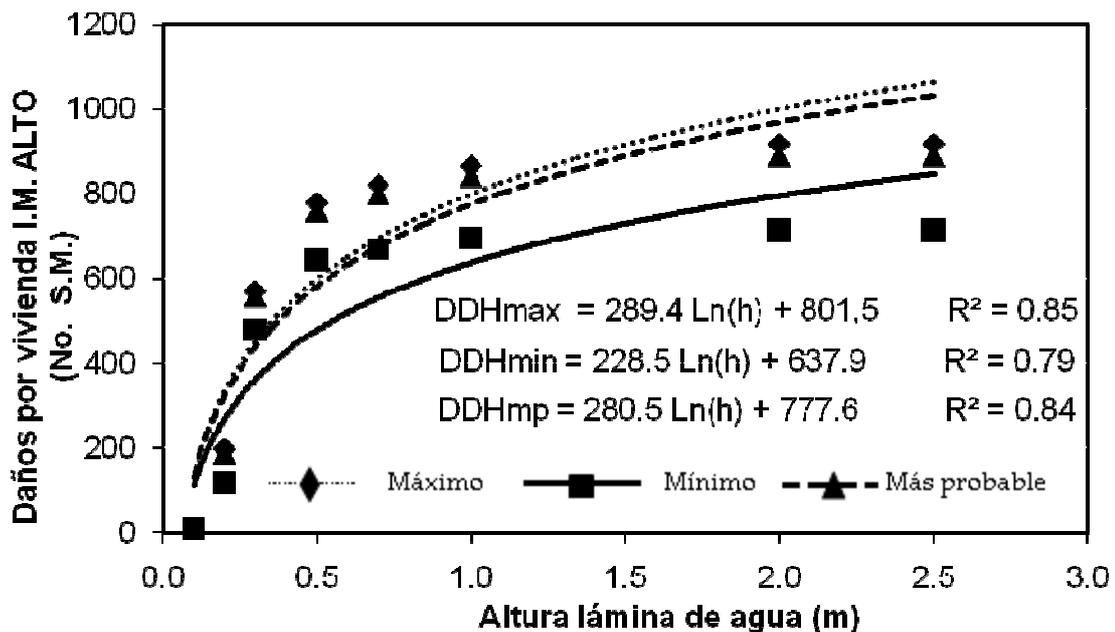


Figura 5.3. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM alto

Tabla 5.7. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM alto

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>
<b>Alto</b>	DDHmax = 289.63 Ln(h) + 801.56	0.85
	DDHmin = 228.58 Ln(h) + 637.93	0.80
	DDHmp = 280.51 Ln(h) + 777.60	0.84

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo

DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo

DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable

h: altura de la lámina de agua

### 5.1.1.3. Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM medio

Para poder obtener la curva de daños potenciales para viviendas de la clase correspondiente a interés social se aplicó la misma metodología que en el anterior caso, pero teniendo en cuenta que en este tipo de viviendas existen más número de bienes por vivienda que en los anteriores casos (ANEXO II), y que los bienes existentes tienen un costo mayor (Tabla 5.8); ya que al haber un ingreso económico más elevado hay un mayor gasto para cubrir este tipo de necesidades.

También se consideró en el aspecto constructivo, que en numerosas ocasiones estas viviendas suelen ser de dos plantas, por lo que la distribución de los bienes difiere a la de una vivienda de una sola planta. Generalmente, en la planta baja se encuentran todos los electrodomésticos, enseres de cocina, la sala y el comedor, y en la planta alta se ubican las recámaras y los armarios (closets).

Para las viviendas con dos plantas, las alturas de lámina de agua consideradas fueron de 0.10 m, 0.20 m, 0.30 m., 0.40 m., 0.50 m., 0.70 m., 1.00 m., 2.00 m., 2.50 m., 2.60 m., 2.70 m., 2.80 m., 3.00 m., 3.20 m. y 3.50 m.

En la tabla 5.8 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de estos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda de una sola planta, y en la tabla 5.9 el valor de estos daños en pesos y en número de salarios mínimos.

En la tabla 5.10 se especifica la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda de dos plantas, y en la tabla 5.11 el valor de los daños en pesos y en número de salarios mínimos.

Tabla 5.8. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis)

<b>IM MEDIO 1 PLANTA</b>		<b>ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)</b>							
<b>Bienes en la vivienda</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>0.10</b>	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	<b>0.50</b>	<b>0.70</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>
Radio o radiograbadora	6700			90	100	100	100	100	100
TV	12500			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	950			90	100	100	100	100	100
Licuada	1100			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	7000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	300						100	100	100
Boiler	2500					90	100	100	100
Auto	50000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	9000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	3000				90	100	100	100	100
Cocina (1)	8000		30	40	50	80	100	100	100
Comedor (1)	6500	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	6500	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	8000			90	100	100	100	100	100
Librero (2)	2000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (1)	12000			50	100	100	100	100	100

Tabla 5.9 Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta (en pesos 2009)

<b>IM MEDIO 1 PLANTA</b>		<b>ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)</b>							
<b>Clave UG</b>	<b>0.10</b>	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	<b>0.50</b>	<b>0.70</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>	
110010001	6600	21331	65660	90146	98284	102741	107554	107554	
110110001	6600	22337	67393	91517	100073	104392	108579	108579	
110190001	6600	21699	66180	91324	100313	105045	110507	110507	
110240001	6600	24551	69476	95544	105351	110373	116396	116396	
110270001	6600	25798	70832	97788	107827	113178	119972	119972	

Capítulo 5 Resultados y discusión

110280001	6600	22294	67069	91265	100059	104458	108765	108765
140180001	6600	23687	68379	94019	103340	108224	113925	113925
150420001	6600	21928	65935	91475	100899	105910	111820	111820
150510020	6600	18811	62884	85767	93740	97746	101186	101186
150510001	6600	23165	67352	92678	102196	107087	112567	112567
150510020	6600	18811	62884	85767	93740	97746	101186	101186
150540043	6600	19249	63483	86396	94175	98143	101538	101538
151060084	6600	19621	63468	87175	95417	99749	104002	104002
151060072	6600	21782	65918	91101	100348	105220	110741	110741
150620001	6600	19138	63080	86199	94333	98456	102119	102119
150480001	6600	21131	64720	89367	98426	103125	108220	108220
150620014	6600	19475	63126	86804	94986	99279	103544	103544
160200001	6600	16145	58598	80281	87031	90663	93355	93355
140660001	6600	23288	68148	93445	102614	107356	112721	112721
140660011	6600	24345	69010	94943	104343	109288	115222	115222
140300002	6600	26514	70343	98015	108620	114353	121965	121965
140160001	6600	22619	67137	92222	101170	105835	111105	111105
140630001	6600	25113	70022	96407	106055	111190	117475	117475
110230001	6600	21185	65370	89499	97547	101918	106377	106377
<b>MAX (\$)</b>	6600	26514	70832	98015	108620	114353	121965	121965
<b>MIN (\$)</b>	6600	16145	58598	80281	87031	90663	93355	93355
<b>MP (\$)</b>	6600	24995	69041	95418	105459	110883	117775	117775
<b>MAX (No. S.M.)</b>	124	498	1332	1843	2042	2150	2293	2293
<b>MIN (No. S.M.)</b>	124	304	1102	1509	1636	1705	1755	1755
<b>MP (No. S.M.)</b>	124	470	1298	1794	1983	2085	2214	2214

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

Tabla 5.10. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis)

<b>IM MEDIO 2 PLANTAS</b>		<b>ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)</b>													
<b>Bienes en la vivienda</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>0.10</b>	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	<b>0.50</b>	<b>0.70</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>	<b>2.60</b>	<b>2.70</b>	<b>2.80</b>	<b>3.00</b>	<b>3.20</b>	<b>3.50</b>
Radio o radiograbadora	6700			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TV	12500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	950			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Licuada	1100			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lavadora	7000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Teléfono	300						100	100	100	100	100	100	100	100	100
Boiler	2500					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Auto	50000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100
Computadora	9000										50	60	70	90	100
Estufa (1)	3000				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cocina (1)	8000		30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Comedor (1)	6500	20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sala(1)	6500	20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	8000											90	100	100	100
Librero (2)	2000									20	30	50	80	90	100
Ropa (1)	12000											50	100	100	100

Tabla 5.11 Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009)

IM MEDIO 2 PLANTAS	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)													
	Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20
110010001	2600	20302	32577	50627	58273	62284	67097	67097	67897	68526	96971	106617	107108	107554
110110001	2600	21212	34613	51862	59888	63742	67929	67929	68729	69454	97919	107584	108114	108579
110190001	2600	20700	32699	51845	60355	64646	70109	70109	70909	71508	99948	109588	110068	110507
110240001	2600	23418	35461	55878	65151	69707	75729	75729	76529	77262	105729	115396	115929	116396
110270001	2600	24347	35921	57677	67055	71875	78670	78670	79470	80521	109051	118782	119442	119972
110280001	2600	21188	34231	51637	59910	63847	68154	68154	68954	69659	98120	107781	108303	108765
140180001	2600	22538	34560	54330	63112	67526	73227	73227	74027	74776	103246	112916	113455	113925
150420001	2600	20640	31808	51591	60420	64933	70843	70843	71643	72532	101029	110727	111323	111820
150510020	2600	17846	30793	46336	53843	57416	60856	60856	61656	62221	90654	100287	100753	101186
150510001	2600	21778	33395	52657	61541	65915	71394	71394	72194	73181	101698	111415	112050	112567
150510020	2600	17846	30793	46336	53843	57416	60856	60856	61656	62221	90654	100287	100753	101186
150540043	2600	18299	31440	46986	54305	57843	61238	61238	62038	62588	91018	100648	101108	101538
151060084	2600	18595	30761	47658	55409	59296	63549	63549	64349	64976	93421	103066	103557	104002
151060072	2600	20432	31978	51132	59759	64120	69641	69641	70441	71391	99901	109611	110231	110741
150620001	2600	18053	30695	46600	54220	57886	61550	61550	62350	63035	91492	101149	101663	102119
150480001	2600	19887	31191	49546	58027	62238	67333	67333	68133	68977	97465	107154	107732	108220
150620014	2600	18447	30409	47286	54976	58824	63089	63089	63889	64517	92962	102608	103099	103544
160200001	2600	15280	27125	40990	47313	50533	53224	53224	54024	54490	82903	92516	92942	93355
140660001	2600	22234	34666	53889	62557	66848	72214	72214	73014	73668	102118	111769	112271	112721
140660011	2600	23176	35011	55225	64077	68548	74482	74482	75282	76052	104526	114200	114748	115222
140300002	2600	24758	34521	57477	67300	72441	80054	80054	80854	82210	110801	120592	121374	121965

140160001	2600	21637	33806	52767	61241	65471	70740	70740	71540	72122	100559	110195	110668	111105
140630001	2600	23782	35596	56465	65501	70130	76415	76415	77215	78145	106651	116357	116969	117475
110230001	2600	20129	32489	49940	57485	61404	65863	65863	66663	67320	95772	105423	105926	106377
<b>MAX (\$)</b>	2600	24758	35921	57677	67300	72441	80054	80054	80854	82210	110801	120592	121374	121965
<b>MIN (\$)</b>	2600	15280	27125	40990	47313	50533	53224	53224	54024	54490	82903	92516	92942	93355
<b>MP (\$)</b>	2600	23370	34633	55233	64373	69233	76125	76125	76925	78150	106715	116480	117210	117775
<b>MAX (No. S.M.)</b>	49	465	675	1084	1265	1362	1505	1505	1520	1546	2083	2267	2282	2293
<b>MIN (No. S.M.)</b>	49	287	510	771	890	950	1001	1001	1016	1024	1559	1739	1747	1755
<b>MP (No. S.M.)</b>	49	439	651	1038	1210	1302	1431	1431	1446	1469	2006	2189	2204	2214

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

Con base en los resultados presentados en estas tablas se graficó la curva de daños potenciales por inundación, estas curvas se presentan en las figuras 5.4 y 5.5. Para el caso de la vivienda de una sola planta, se ajustó un modelo de tipo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0.87 para la curva que representa el costo más probable, y para la vivienda de dos plantas también se ajustó un modelo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0.87 para la curva de costo más probable (Tabla 5.12).

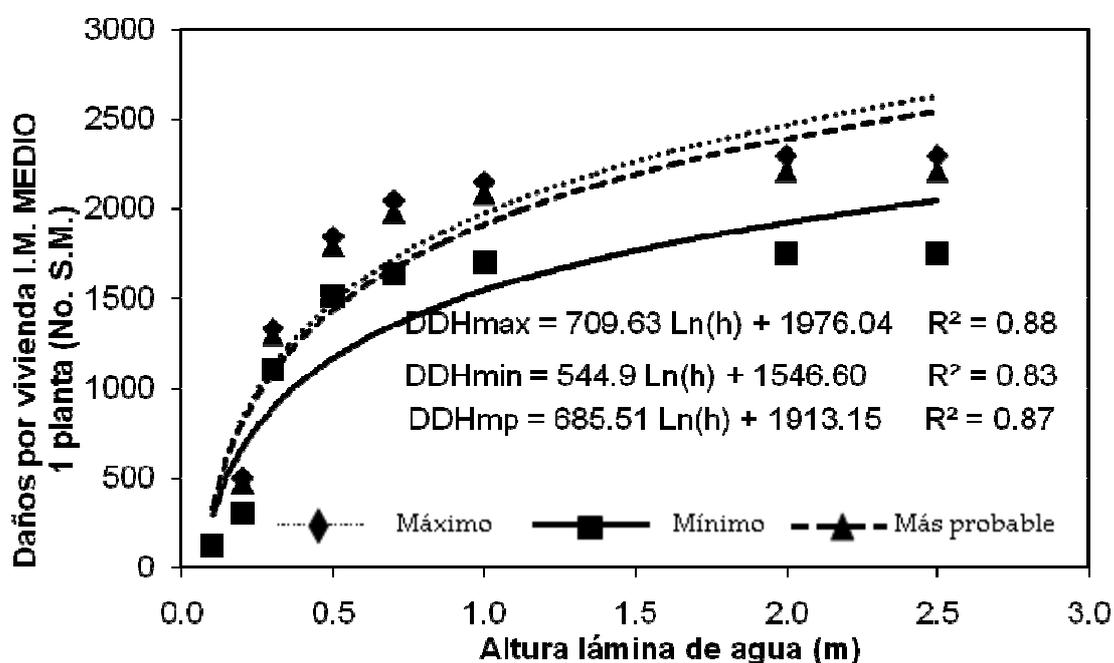


Figura 5.4. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta

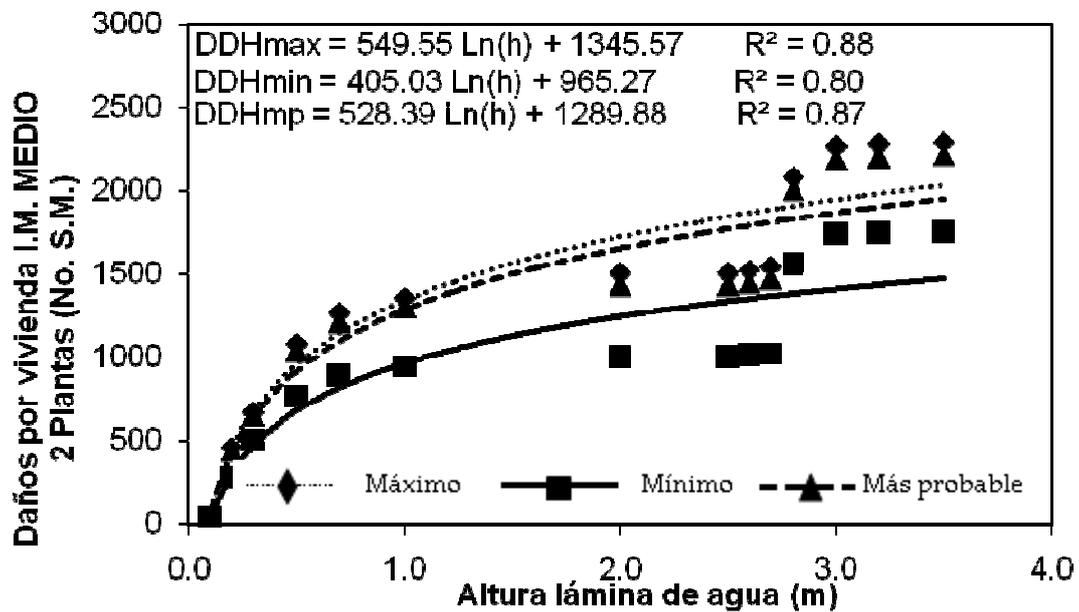


Figura 5.5. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas

Tabla 5.12. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM medio. Viviendas de una y dos plantas

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>
Medio	DDHmax = 709.63 Ln(h) + 1976.04	0.88
Vivienda una planta	DDHmin = 544.93 Ln(h) + 1546.60	0.83
	DDHmp = 685.51 Ln(h) + 1913.15	0.87
Medio	DDHmax = 549.55 Ln(h) + 1345.57	0.88
Vivienda dos plantas	DDHmin = 405.03 Ln(h) + 965.27	0.80
	DDHmp = 528.39 Ln(h) + 1289.88	0.87

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo

DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo

DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable

h: altura de la lámina de agua

#### 5.1.1.4. Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM bajo

La construcción de la curva de daños potenciales por inundación para viviendas ubicadas en una AGEB de IM bajo se realizó de manera similar a la de una AGEB de IM medio. Se consideró una vivienda de una sola planta, así como una vivienda de dos plantas.

En este tipo de viviendas existen los mismos bienes que en el caso de las viviendas de una AGEB de IM medio pero su costo es mayor (Tabla 5.13, ANEXO II); lo cual está relacionado con el mayor ingreso de las familias que suelen habitar esta clase de vivienda.

En las tablas 5.13 y 5.14 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda ubicada en una AGEB con un IM bajo de una planta, así como el valor de los daños en pesos y en número de salarios mínimos, respectivamente.

La figura 5.6 presenta la curva de daños potencial es para una vivienda de una sola planta, además de la curva de ajuste que se estableció, la cual corresponde a un tipo de modelo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0.87, para el caso de la curva de costo más probable.

Para el caso de una vivienda de dos plantas, la información referente a los bienes, precios, porcentaje de afectación, así como los daños valorados en pesos y su equivalente en salarios mínimos se presenta en las tablas 5.15 y 5.16, respectivamente; y la curva de daños potenciales, en la figura 5.10, donde se aprecia que el ajuste también es con una curva logarítmica con un coeficiente de determinación de 0.82 (Tabla 5.17).

Tabla 5.13. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis)

IM BAJO 1 PLANTA		ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
Radio o radiograbadora	7000			90	100	100	100	100	100
TV	12500			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	1000			90	100	100	100	100	100
Licuada	1200			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	9000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	300						100	100	100
Boiler	3250					90	100	100	100
Auto	60000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	10000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	3300				90	100	100	100	100
Cocina (1)	12000		30	40	50	80	100	100	100
Comedor (1)	7000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	10000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	12000			90	100	100	100	100	100
Librero (2)	4000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (1)	12500			50	100	100	100	100	100

Tabla 5.14. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta (en pesos 2009)

IM BAJO 1 PLANTA		ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50	
150420001	5800	27781	84408	115778	128235	135252	142344	142344	
140630001	5800	38699	89112	121471	134165	141322	148864	148864	
110270001	5800	39546	90085	123131	136309	143724	151877	151877	
110170001	5800	37323	87671	118572	130689	137358	143503	143503	
110020001	5800	36232	86538	116981	129026	135559	141368	141368	
110230001	5800	34142	83785	113468	124195	130441	135792	135792	
<b>MAX (\$)</b>	5800	39546	90085	123131	136309	143724	151877	151877	
<b>MIN (\$)</b>	5800	27781	83785	113468	124195	130441	135792	135792	
<b>MP (\$)</b>	5800	37823	89163	121716	134535	141779	149522	149522	
<b>MAX (No. S.M.)</b>	109	743	1694	2315	2563	2702	2855	2855	
<b>MIN (No. S.M.)</b>	109	522	1575	2133	2335	2452	2553	2553	
<b>MP (No. S.M.)</b>	109	711	1676	2288	2529	2666	2811	2811	

UG: Unidad geográfica

No. S.M. Número de salarios mínimos (año 2009)

MP: Costo más probable

MIN: Costo mínimo

MAX: Costo máximo

Tabla 5.15. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis)

<b>IM MEDIO 2 PLANTAS</b>		<b>ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)</b>													
<b>Bienes en la vivienda</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>0.10</b>	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	<b>0.50</b>	<b>0.70</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>	<b>2.60</b>	<b>2.70</b>	<b>2.80</b>	<b>3.00</b>	<b>3.20</b>	<b>3.50</b>
Radio o radiograbadora	7000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TV	12500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	1000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Licuadaora	1200			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lavadora	9000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Teléfono	300						100	100	100	100	100	100	100	100	100
Boiler	3250					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Auto	60000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100
Computadora	10000										50	60	70	90	100
Estufa (1)	3300				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cocina (1)	12000			30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100
Comedor (1)	7000	20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sala(1)	10000	20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	12000											90	100	100	100
Librero (2)	4000								20	30	50	80	90	100	100
Ropa (1)	12500											50	100	100	100

Tabla 5.16. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009)

IM BAJO 2 PLANTAS	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)													
	Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20
150420001	3400	25638	36379	60118	71558	77666	84758	84758	86358	87701	128059	140418	141435	142344
140630001	3400	36510	40726	65747	77404	83644	91186	91186	92786	94175	134543	146911	147947	148864
110270001	3400	37222	41131	67218	79307	85777	93931	93931	95531	97054	137449	149843	150933	151877
110170001	3400	35139	40223	62853	73937	79689	85834	85834	87434	88818	129185	141552	142586	143503
110020001	3400	34266	39575	61567	72666	78325	84134	84134	85734	86901	127224	139548	140494	141368
110230001	3400	32256	37225	58169	67982	73370	78721	78721	80321	81406	121713	134020	134935	135792
<b>MAX (\$)</b>	3400	37222	41131	67218	79307	85777	93931	93931	95531	97054	137449	149843	150933	151877
<b>MIN (\$)</b>	3400	25638	36379	58169	67982	73370	78721	78721	80321	81406	121713	134020	134935	135792
<b>MP (\$)</b>	3400	27335	37075	59494	69640	75187	80948	80948	82548	83698	124018	136338	137278	138147
<b>MAX (No. S.M.)</b>	64	700	773	1264	1491	1613	1766	1766	1796	1825	2584	2817	2838	2855
<b>MIN (No. S.M.)</b>	64	482	684	1094	1278	1379	1480	1480	1510	1530	2288	2520	2537	2553
<b>MP (No. S.M.)</b>	64	514	697	1119	1309	1414	1522	1522	1552	1574	2332	2563	2581	2597

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

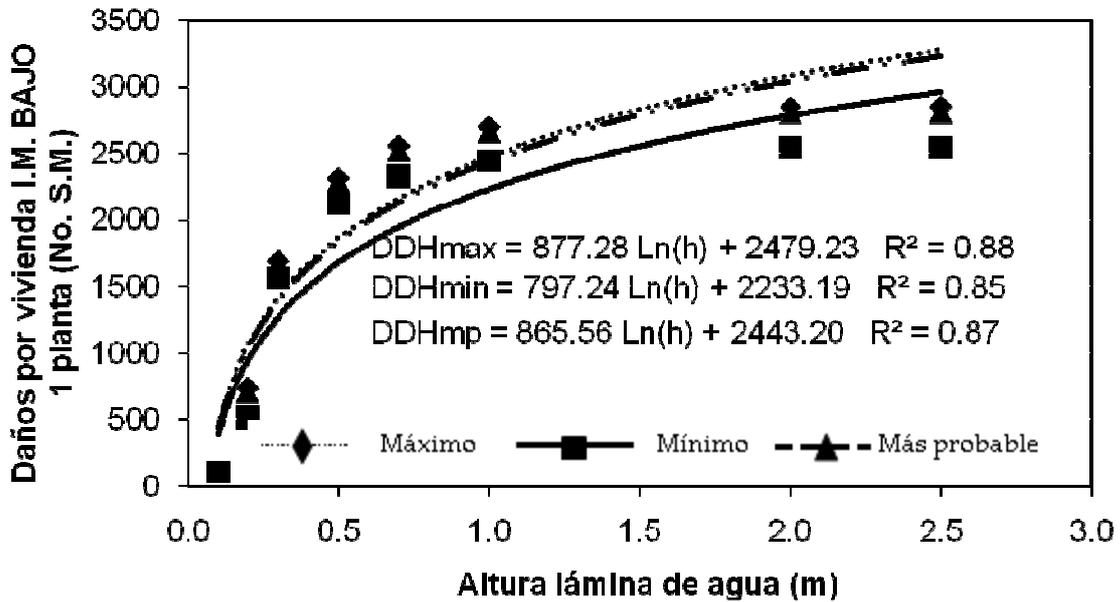


Figura 5.6. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta

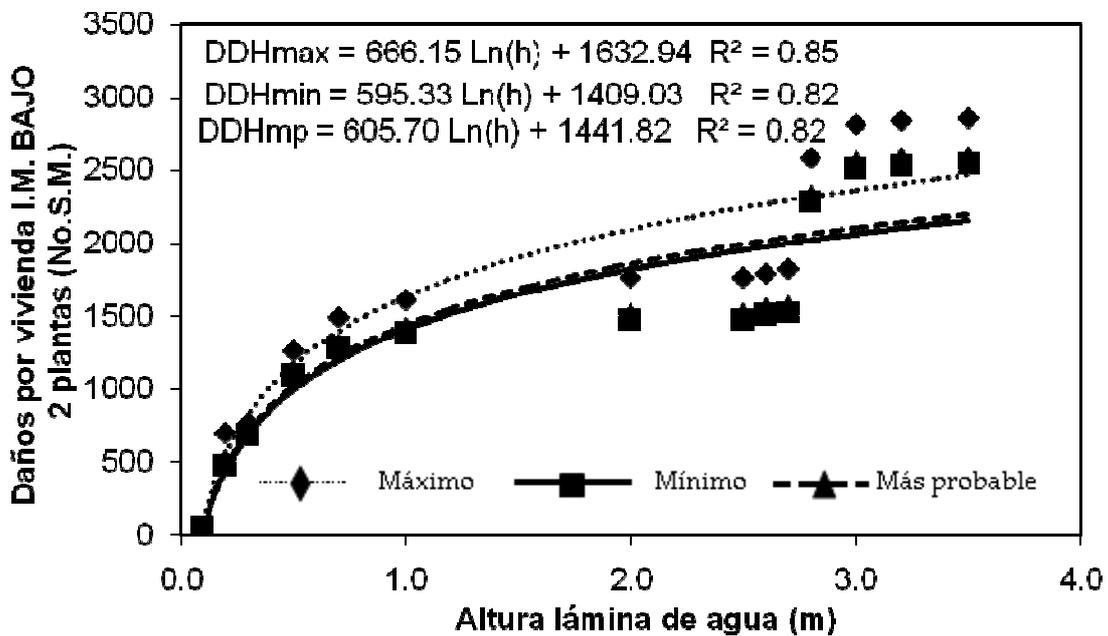


Figura 5.7. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas

Tabla 5.17. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM bajo. Viviendas de una y dos plantas

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>
Bajo Vivienda una planta	DDHmax = 877.28 Ln(h) + 2479.23	0.88
	DDHmin = 797.24 Ln(h) + 2233.19	0.85
	DDHmp = 865.56 Ln(h) + 2443.20	0.87
Bajo Vivienda dos plantas	DDHmax = 666.15 Ln(h) + 1632.94	0.85
	DDHmin = 595.33 Ln(h) + 1409.03	0.82
	DDHmp = 605.70 Ln(h) + 1441.82	0.82

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo

DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo

DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable

h: altura de la lámina de agua

#### 5.1.1.5. Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM muy bajo

También se definen viviendas de una planta y dos plantas, con las mismas características señaladas en los anteriores casos estudiados pero su costo es mayor (Tabla 5.18, ANEXO II). En la tabla 5.18 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda ubicada en una AGEB con un IM muy bajo de una planta, y en la tabla 5.19 el valor de los daños en pesos y en número de salarios mínimos, respectivamente. Para el caso de una vivienda de dos plantas, se presentan las tablas 5.20 y 5.21.

En las figuras 5.7 y 5.8 se presentan las curvas de daños potenciales para el presente caso en estudio. Se aprecia que las curvas de ajuste corresponden nuevamente al de tipo logarítmico y presentan un coeficiente de determinación para la curva de daño más probable de 0.88 para el caso de una planta y de 0.97 para el de dos plantas (Tabla 5.22).

Tabla 5.18. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis)

IM MUY BAJO 1 PLANTA		ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
Radio o radiograbadora	10000			90	100	100	100	100	100
TV	20000			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	1500			90	100	100	100	100	100
Licuadora	1500			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	8000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	15000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	5000						100	100	100
Boiler	5000					90	100	100	100
Auto	100000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	12000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	5000				90	100	100	100	100
Cocina (1)	16000		30	40	50	80	100	100	100
Comedor (1)	10000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	12000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	20000			90	100	100	100	100	100
Librero (2)	4000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (1)	20000			50	100	100	100	100	100

Tabla 5.19. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta (en pesos 2009)

IM MUY BAJO 1 PLANTA		ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50	
161080001	6800	41531	125423	164296	181819	193569	204601	204601	
110170359	6800	57946	137931	190419	214744	233137	257130	257130	
150140001	6800	41049	123228	164287	183150	195908	209584	209584	
<b>MAX (\$)</b>	6800	57946	137931	190419	214744	233137	257130	257130	
<b>MIN (\$)</b>	6800	41049	123228	164287	181819	193569	204601	204601	
<b>MP (\$)</b>	6800	43523	125381	168114	186641	199363	212294	212294	
<b>MAX (No. S.M.)</b>	128	1089	2593	3580	4037	4383	4834	4834	
<b>MIN (No. S.M.)</b>	128	772	2317	3089	3418	3639	3847	3847	
<b>MP (No. S.M.)</b>	128	818	2357	3161	3509	3748	3991	3991	

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

Tabla 5.20. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis)

<b>IM MUY BAJO 2 PLANTAS</b>		<b>ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)</b>													
<b>Bienes en la vivienda</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>0.10</b>	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	<b>0.50</b>	<b>0.70</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.50</b>	<b>2.60</b>	<b>2.70</b>	<b>2.80</b>	<b>3.00</b>	<b>3.20</b>	<b>3.50</b>
Radio o radiograbadora	10000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TV	20000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	1500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Licuada	1500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Refrigerador	8000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lavadora	15000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Teléfono	5000						100	100	100	100	100	100	100	100	100
Boiler	5000					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Auto	100000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100
Computadora	12000										50	60	70	90	100
Estufa (1)	5000				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cocina (1)	16000			30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100
Comedor (1)	10000		20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sala(1)	12000		20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	20000											90	100	100	100
Librero (2)	4000									20	30	50	80	90	100
Ropa (1)	20000											50	100	100	100

Tabla 5.21. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009)

IM MUY BAJO 2 PLANTAS	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)													
	Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20
161080001	4400	39289	57299	92999	109465	120286	131318	131318	132918	134360	192088	202616	203673	204601
110170359	4400	52799	57678	115053	137159	154042	178035	178035	179635	183983	242292	253402	255621	257130
150140001	4400	38462	52926	92505	110173	121933	135609	135609	137209	138997	196794	207391	208586	209584
<b>MAX (\$)</b>	4400	52799	57678	115053	137159	154042	178035	178035	179635	183983	242292	253402	255621	257130
<b>MIN (\$)</b>	4400	38462	52926	92505	109465	120286	131318	131318	132918	134360	192088	202616	203673	204601
<b>MP (\$)</b>	4400	50699	56982	111751	133103	149098	171194	171194	172794	176716	234940	245964	248013	249438
<b>MAX (No. S.M.)</b>	83	993	1084	2163	2579	2896	3347	3347	3377	3459	4555	4764	4806	4834
<b>MIN (No. S.M.)</b>	83	723	995	1739	2058	2261	2469	2469	2499	2526	3611	3809	3829	3847
<b>MP (No. S.M.)</b>	83	953	1071	2101	2502	2803	3219	3219	3249	3322	4417	4624	4663	4690

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

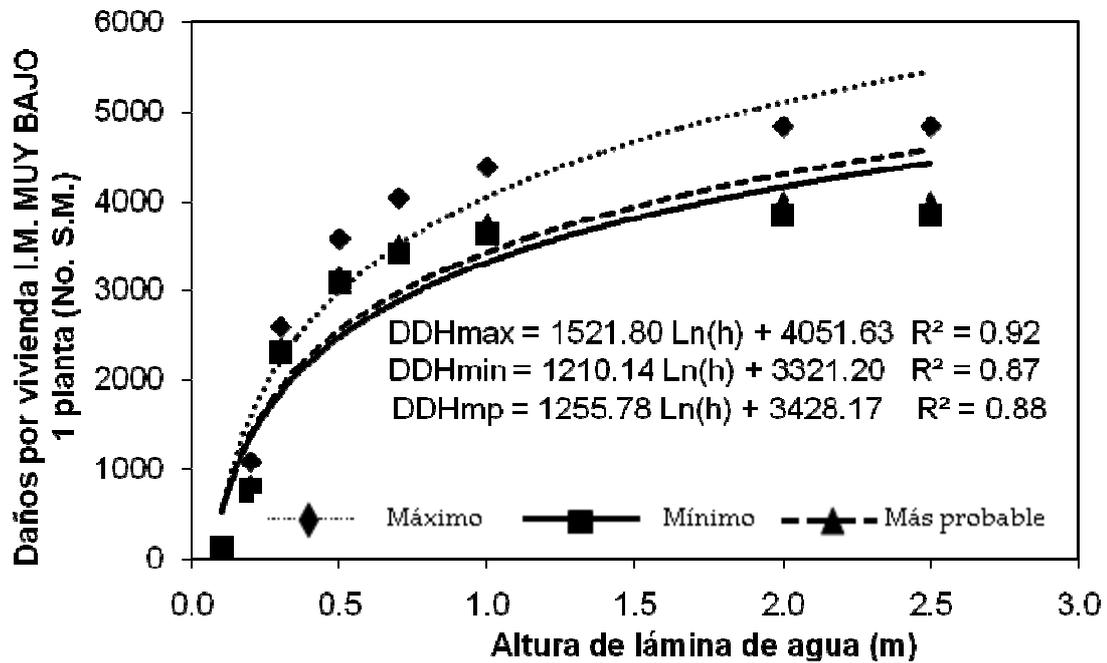


Figura 5.7. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta

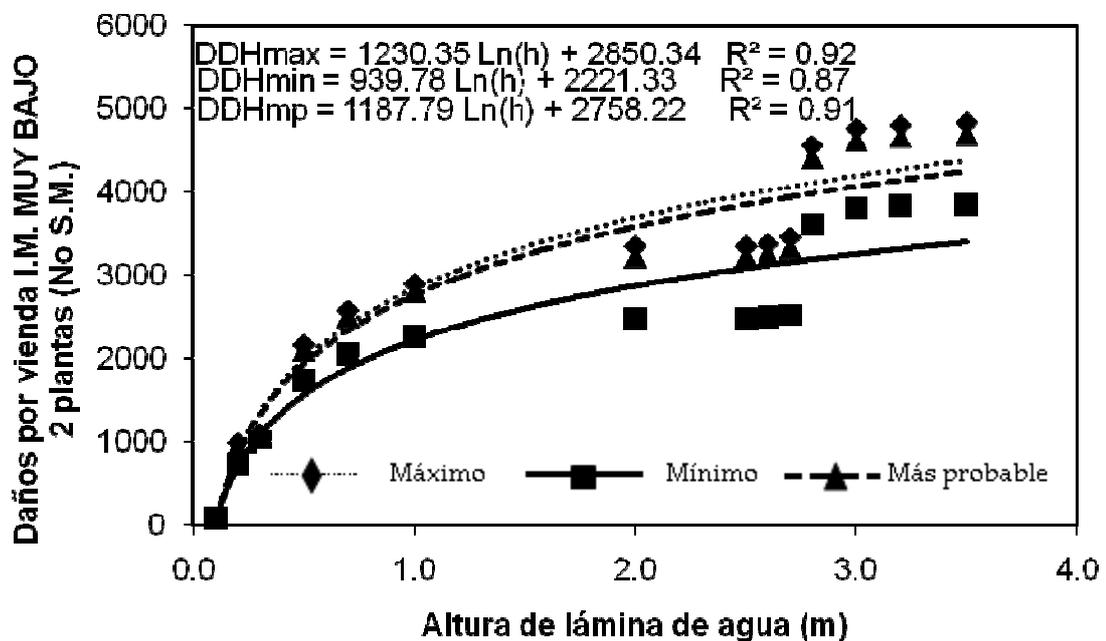


Figura 5.8. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas

Tabla 5.22. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM muy bajo. Viviendas de una y dos plantas

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>
Muy bajo Vivienda una planta	DDHmax = 1521.80Ln(h) + 4051.63	0.92
	DDHmin = 1210.14Ln(h) + 3321.20	0.87
	DDHmp = 1255.78Ln(h) + 3428.17	0.88
Muy bajo Vivienda dos plantas	DDHmax = 1230.35Ln(h) + 2850.34	0.92
	DDHmin = 939.78Ln(h) + 2221.33	0.87
	DDHmp = 1187.79Ln(h) + 2758.22	0.91

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo

DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo

DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable

h: altura de la lámina de agua

Para considerar la duración de la inundación se considera un factor de corrección tal y como lo define Estrada (1996), de forma que si la inundación tiene una duración de más de 24 horas se podrán incrementar los daños tangibles directos, obtenidos a partir de la aplicación de las curvas, en un 6%.

El uso y aplicación de estas ecuaciones se puede verificar en el epígrafe 5.4, donde se presenta el caso de estudio.

### 5.1.2. Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas agrícolas

#### 5.1.2.1. Maíz

Uno de los principales cultivos del área de estudio es el maíz, tanto el de grano como el forrajero. Se trata de un cultivo de fácil desarrollo y de producción anual, cuyo ciclo agrícola comprende desde mayo hasta noviembre.

En el caso del maíz, su comportamiento en los terrenos inundados varía de acuerdo con la fase de desarrollo de la planta, la cual se puede expresar como la altura de la planta; si la planta tiene una altura inferior a los 30 cm es más susceptible a los efectos de la humedad; y si la zona permanece inundada más de 3 días, los efectos negativos son considerables (pérdida total de la cosecha).

Estos efectos negativos también están en función de los sedimentos que arrastre el río, ya que si son lodos industriales y/o urbanos, como suele suceder en ríos de

cuencas urbanizadas ya que éstos se encuentran contaminados por aguas residuales, entonces se acelera el deterioro de la planta.

Cuando la planta de maíz tiene una altura superior a 30 cm, altura que se alcanza por lo general durante los meses de julio, agosto y septiembre (periodo de posibles inundaciones), la planta puede resistir más de 3 días bajo los efectos de la humedad y sólo estará afectada por la corriente de agua, ya que la fuerza de esta corriente trae consigo que la planta se caiga y se produzcan pérdidas considerables en la cosecha.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, Baró et al. (2007a) estimaron los daños en un cultivo de maíz con base en el valor de la producción y en su variedad de maíz de grano y maíz forrajero. También se consideró si el cultivo era de riego o de temporal, ya que este hecho afecta a la producción (Tonelada de grano por hectárea), y por lo tanto al valor de la cosecha. Con base en este estudio establecieron las curvas de daños potenciales para el caso de un cultivo de maíz de grano, tanto bajo riego como de temporal, las cuales se presentan en la figura 5.9. Las curvas de ajuste obtenidas son de tipo logarítmico, aunque la ecuación difiere. Los coeficientes de determinación tienen un mismo valor de 0.88.

Las curvas de daños potenciales para un cultivo de maíz forrajero bajo riego y de temporal se presentan en la figura 5.10. Se aprecia que las curvas de ajuste son de tipo logarítmico y con un coeficiente de determinación del 0.88.

En la tabla 5.23, a modo de resumen, se detallan las ecuaciones definidas, así como el valor del coeficiente de determinación, para la valoración de daños directos por inundaciones en zonas agrícolas.

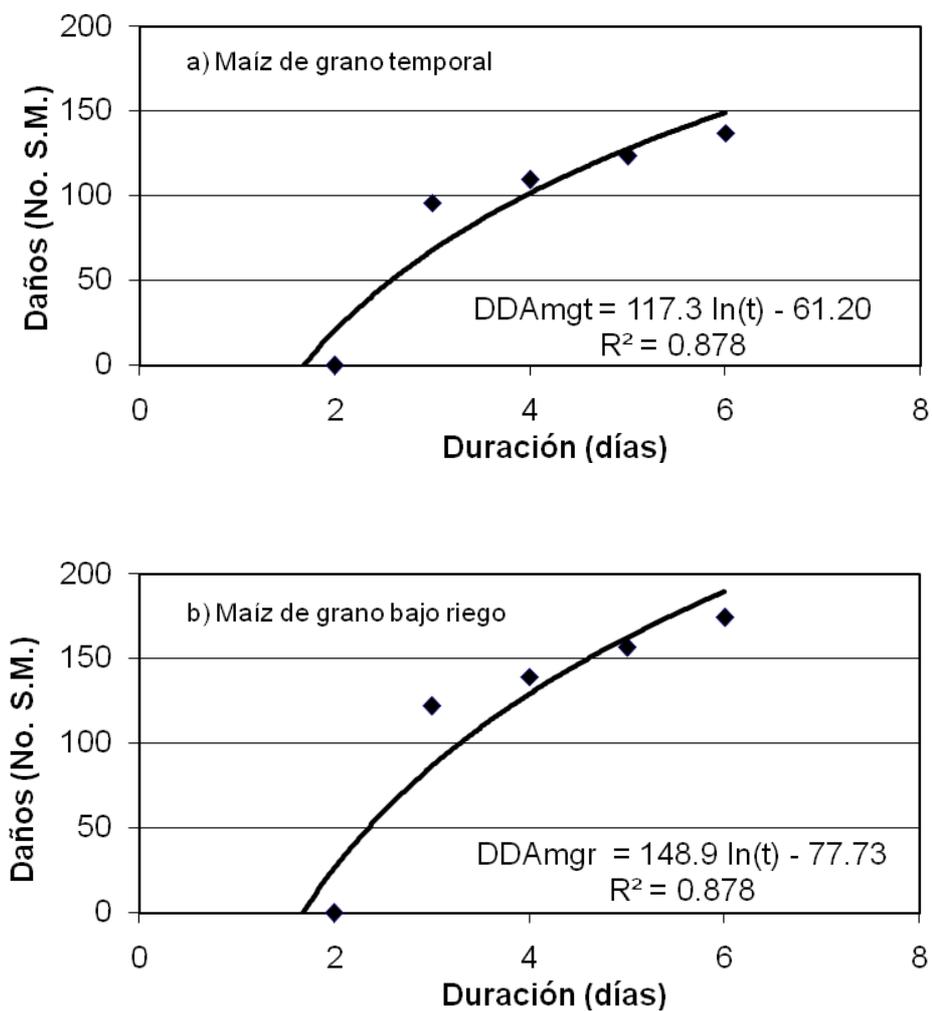


Figura 5.9. Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz de grano temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró et al., 2007a)

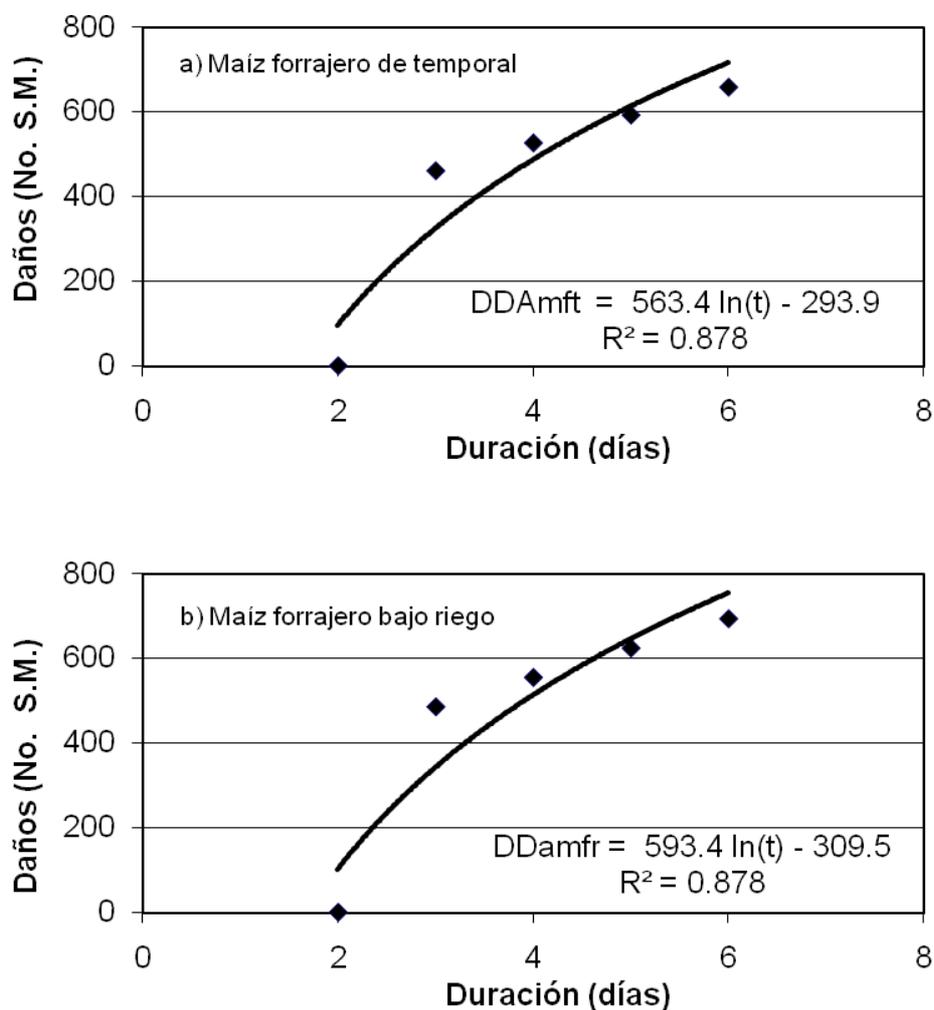


Figura 5.10. Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz forrajero de temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró et al., 2007a)

Tabla 5.23. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas agrícolas (Baró et al., 2007a)

TIPO DE CULTIVO	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>
Maíz grano temporal	$DDAmgt = 117.31 \ln(t) - 61.201$	0.88
Maíz grano bajo riego	$DDAmgr = 148.99 \ln(t) - 77.73$	0.88
Maíz forrajero temporal	$DDAmft = 563.43 \ln(t) - 293.94$	0.88
Maíz forrajero bajo riego	$DDAmfr = 593.4 \ln(t) - 309.58$	0.88

DDA: daños directos agrícolas  
t: duración de la inundación

Estas ecuaciones sólo serían aplicables cuando la planta tuviese una altura superior a los 30 cm.; de forma que si fuese menor a esta altura no se aplicarían estas ecuaciones y se supondría que se produce una afectación del 100% en los cultivos (pérdida total).

En el caso en que la planta tuviese una altura de más de 30 cm, sólo habría que sustituir en la ecuación el valor de  $x$  por la duración de la crecida (en días), de forma que realizando esta sustitución se tendría el valor de  $Y$  que representaría los daños tangibles directos potenciales en zonas agrícolas en número de salarios mínimos.

#### 5.1.2.2. Otros cultivos

Como se ha podido observar el sector agrícola es uno de los que más sufre los impactos de las inundaciones. Para el caso de la cuenca Lerma-Chapala, se tiene el ejemplo de las inundaciones acaecidas en el año 2003 (García et al., 2004) durante las cuales hubo una gran afectación en cultivos de sorgo y maíz.

Del análisis de los anuarios estadístico de los cinco estados de la cuenca (INEGI 2008), se desprende que los cultivos con mayor superficie sembrada son: entre los cíclicos están el maíz de grano, sorgo grano, trigo grano, cebada de grano, frijol, brócoli y avena forrajera; y entre los cultivos perennes, destacan la alfalfa verde, el espárrago y la fresa. Cuando estos cultivos están apenas en crecimiento, sin fruto o sin un desarrollo genético fuerte, de producirse su inmersión en agua durante dos o tres días, las pérdidas pueden considerarse totales.

En las áreas inundables de la zona de estudio se identifica el maíz de grano y el sorgo de grano, como los cultivos que están expuestos a los efectos de las inundaciones por la extensión de sus sembradíos.

Para el caso del sorgo grano resultaría interesante la realización en el futuro de trabajos experimentales, con el objetivo de conocer el grado de vulnerabilidad a la inmersión en agua por periodos prolongados para diferentes épocas del año agrícola y diferentes estadios de crecimiento de las plantas, por cuanto los efectos pueden ser variados a lo largo del ciclo productivo (CEPAL, 2003).

## **5.2. DAÑOS TANGIBLES INDIRECTOS EN ZONAS HABITACIONALES Y AGRÍCOLAS**

Los daños tangibles indirectos son los daños causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas en las zonas inundadas; e incluyen, por ejemplo, la interrupción del transporte y de otros servicios públicos (luz, agua, gas, alcantarillado) pérdidas en salarios y beneficios en los negocios, así como otras consecuencias de las inundaciones como son los costos por el desagüe de las aguas y las operaciones de limpieza.

Los daños tangibles indirectos se calculan como un porcentaje fijo de los daños tangibles directos obtenidos a partir de las curvas de daños potenciales definidas. Los porcentajes que han sido propuestos por Kates (1965) son los más utilizados, y los que se emplean en este estudio. El valor de este porcentaje para el caso de zonas habitacionales es del 15% y para las zonas agrícolas del 10%.

De modo que, por ejemplo, a partir del valor de los daños potenciales directos en una zona habitacional determinada habrá que calcular el 15% de ese valor para poder establecer la cuantía de los daños indirectos.

## **5.3. DAÑOS TOTALES EN ZONAS HABITACIONALES Y AGRÍCOLAS**

Para establecer el valor total de los daños potenciales en una zona habitacional habrá que efectuar la suma de los daños directos, calculados a partir de las curvas de daños para los diferentes tipos de AGEB's, más los daños indirectos calculados con base en cuantificar el 15% de los daños directos.

En el caso de las zonas agrícolas, se calculará el valor de los daños potenciales directos a partir de las curvas de daños para los diferentes cultivos, sumando a este valor, el 10% que correspondería a los daños indirectos.

Finalmente, para establecer los daños potenciales totales en la cuenca, habrá que sumar:

- los daños tangibles (directos e indirectos) de cada una de las zonas habitacionales inundables de la cuenca, y

- los daños tangibles (directos e indirectos) potenciales de cada una de las zonas agrícolas inundables, localizadas dentro de los límites de la cuenca.

Este proceso de cálculo para cada inundación en concreto, es posible modelarlo con la siguiente fórmula:

$$DT = \left[ \left( \sum_{x=1}^x \sum_{j=1}^j (DDH_j * NV_j) \right) * f_h \right] + \left[ \left( \sum_{i=1}^i (DDA_i * S_i) \right) * f_a \right] \quad (5.1)$$

Donde;

- DT : Daños tangibles totales por inundación (No. de salarios mínimos)
- x : 1,2,3,...x AGEB definidas en el área inundada
- j : 1,2,3,...j tipos de AGEB`s según su IM (muy bajo, bajo, medio alto, muy alto)
- DDH<sub>j</sub> : Daños directos en una vivienda localizada en una AGEB de tipo j, calculados con la curva de daños potenciales para una altura de lámina de agua dada en la AGEB (No. de salarios mínimos). El factor duración de la inundación se incluirá si ésta tiene una duración de más de 24 horas (6%)
- NV<sub>j</sub> : Número de viviendas ubicadas en la AGEB del tipo j.
- f<sub>h</sub> : Porcentaje aplicado para establecer los daños indirectos en zonas habitacionales (15%)
- i : 1,2,3,..i tipos de cultivos (maíz grano bajo riego, maíz forrajero bajo riego, maíz grano temporal, maíz forrajero temporal)
- DDA<sub>i</sub> : Daños directos por inundación para el tipo de cultivo j calculados con la curva de daños potenciales para una altura de lámina de agua dada y para una duración de la inundación dada (No. de salarios mínimos)
- S<sub>i</sub> : Área que ocupa el cultivo i (ha)
- f<sub>a</sub> : Porcentaje aplicado para establecer los daños indirectos en zonas agrícolas (10%).

## **5.4. CASO DE ESTUDIO: SUBCUENCA DEL RÍO TEJALPA**

### **5.4.1 Características generales**

El método expuesto en el Capítulo IV ha sido aplicado a la Subcuenca del río Tejalpa, localizada en el Curso Alto del río Lerma (Figura 5.11). Este río tiene sus orígenes en las laderas del Nevado de Toluca, donde se conoce como Arroyo Torrentillas, descendiendo desde una altitud cercana a los 4 100 msnm, en dirección norte. 14 km aguas abajo de su nacimiento, su caudal se incrementa por los aportes del Arroyo La Fábrica, el cual desemboca por la margen izquierda a la altura de San Juan de las Huertas. A partir de esta confluencia, el arroyo Torrentillas se conoce como Arroyo Tejalpa, continuando en la misma dirección hasta los poblados de San Cristobal Tecolot, San Miguel Zinacantepec y San Luis Mextepec. 3 km al norte de este último poblado, recibe por la margen izquierda, a la altura del poblado de Tecaxic, las aguas del Arroyo San Pedro (arroyo que se conforma por la confluencia de los arroyos La Ciervita, Buenavista y Paso de Vásquez), siguiendo el arroyo hasta San Francisco Tlacicalpa. A partir de este punto, cambia gradualmente de dirección hacia el Noroeste pasando por los poblados de Calixtlahuaca, San Diego Linares y Jicaltepec, para finalmente desembocar en el río Lerma, a 2 km de Villa Seca La Providencia. Esta subcuenca abarca una extensión de 242.8 km<sup>2</sup> (Figura 5.12).

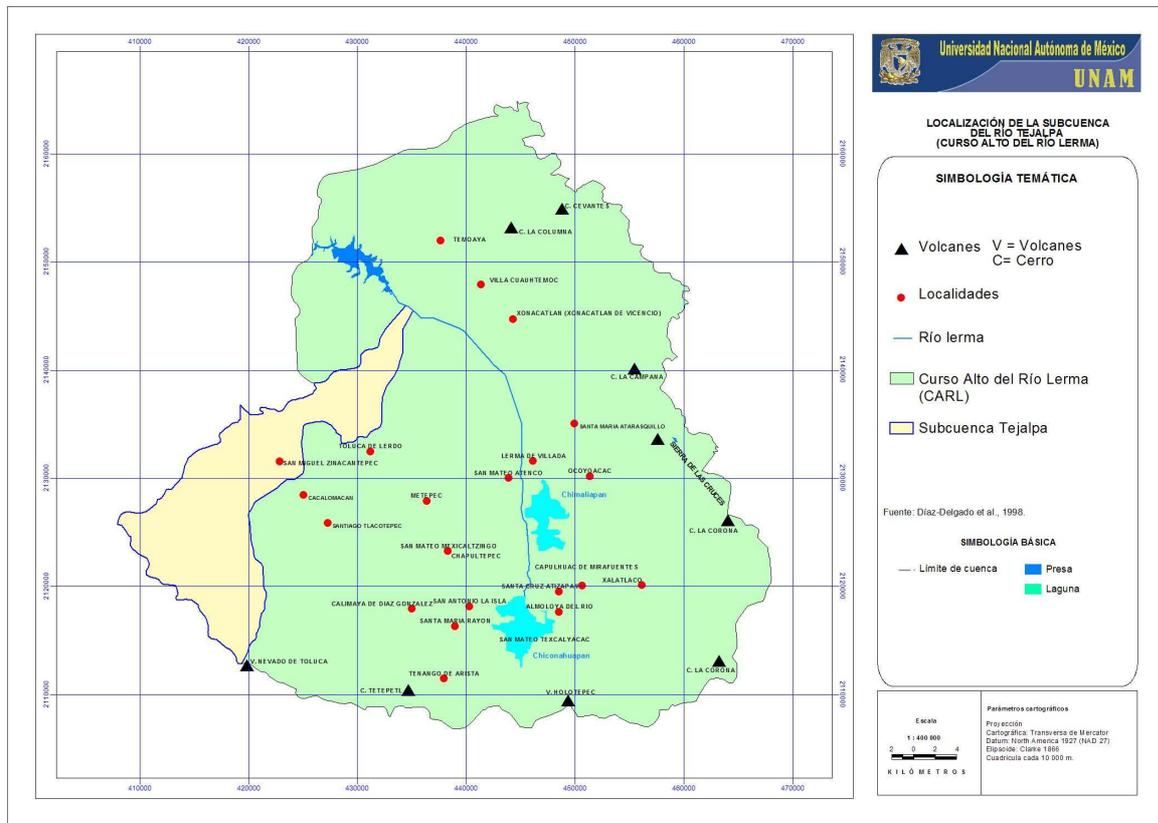


Figura 5.11. Localización de la Subcuenca del río Tejalpa (Curso Alto del río Lerma) (Díaz-Delgado et al., 1998)

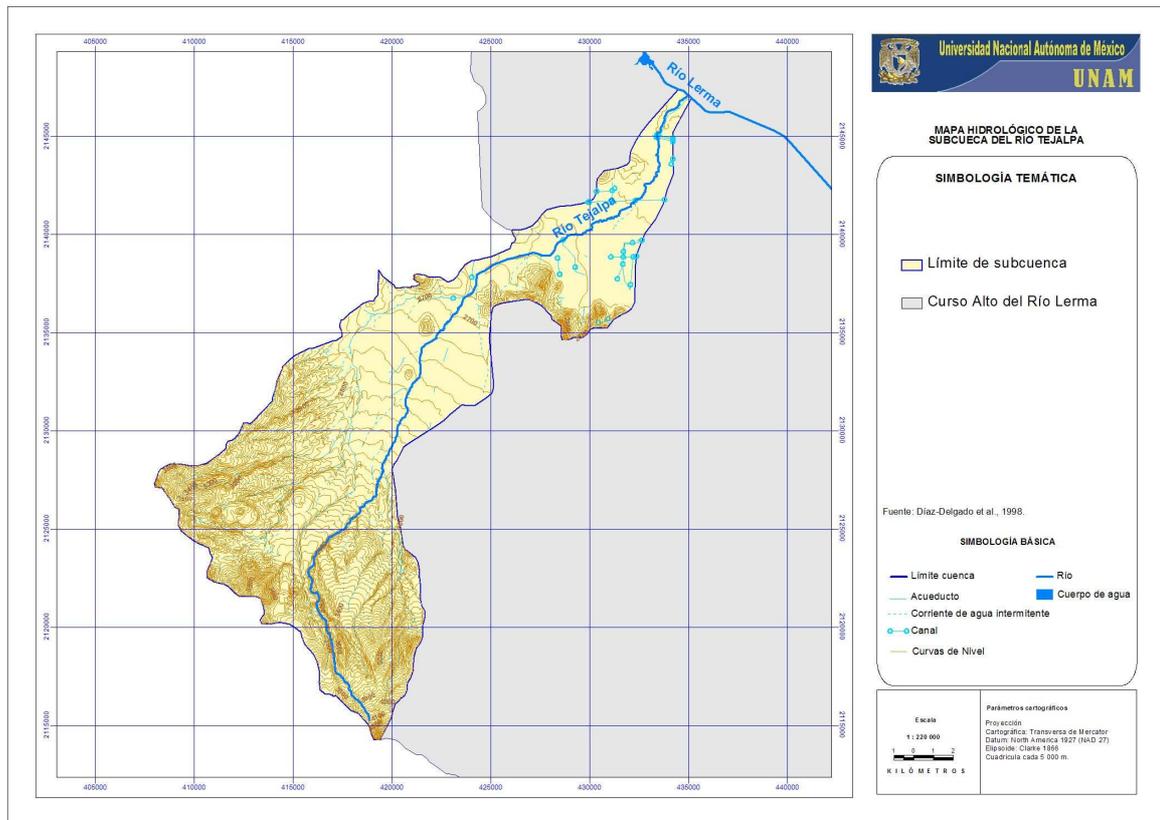


Figura 5.12. Mapa hidrológico de la Subcuenca del río Tejalpa (Díaz-Delgado et al., 1998)

Las principales características físicas de la Subcuenca del río Tejalpa se presentan en la Tabla 5.24. La definición de cada uno de los parámetros que determinan las características físicas de la cuenca, así como la forma en que se obtiene puede ser consultada en Llamas (1989).

### *Municipios y población*

Esta subcuenca abarca parte de los municipios de San Miguel Zinacantepec, Toluca, Oztolotepec y Almoloya de Juárez. Los datos de población y área que comprende cada municipio se presentan en la Tabla 5.25. Se puede comprobar cómo se ha producido un importante aumento de la población para el periodo comprendido entre 2000 y 2005, aumento cifrado en unos 122 000 habitantes.

Tabla 5.24. Características fisiográficas de la Subcuenca del río Tejalpa (Vega, 1999; Díaz-Delgado y Vega, 2001)

PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Superficie	Planimétrico: 243.15 km <sup>2</sup> Digitalización: 242.8 km <sup>2</sup>	
Perímetro	Curvímetro: 103.0 km Digitalización: 104.6 km	
Orden de la corriente principal	No. 5	Criterio de Horton-Strahler Criterio Gravelius
Relación de confluencia (R <sub>ci</sub> )	R <sub>ci</sub> = 2.13	
Coeficiente de compacidad K <sub>c</sub>	K <sub>c</sub> = 1.88	Este valor indica que la cuenca tiende a ser un rectángulo
Factor de forma R <sub>f</sub>	R <sub>f</sub> = 0.1822	Este dato confirma la forma alargada de la cuenca
Coeficiente de forma K <sub>f</sub>	K <sub>f</sub> = 0.355	Representa la relación entre longitud media y longitud axial
Radio de elongación R <sub>e</sub>	R <sub>e</sub> = 0.48155	La cuenca tiene un relieve pronunciado
Radio de circularidad R <sub>ci</sub>	R <sub>ci</sub> = 0.279	Indica la forma alargada de la cuenca
Relación hipsométrica R <sub>h</sub>	R <sub>h</sub> = 4.5	Este dato representa que es una cuenca sedimentaria en fase de vejez
Elevaciones características	Hmax = 4 600 msnm Hmin = 2 570 msnm Hmed = 2 927 msnm	
Pendiente media I <sub>m</sub>	I <sub>m</sub> = 3.88 %	
Densidad de drenaje D	D = 1.285 km/km <sup>2</sup>	
Constante de estabilidad del río	C = 0.7782	
Densidad hidrográfica F	F = 1.0296 km <sup>-2</sup>	Existe 1 corriente por km <sup>2</sup> de cuenca
Pendiente longitudinal del río Tejalpa	P <sub>m</sub> = 3%	
Longitud del río	Lc = 25.80 km La = 33.75 km Lv = 27.5 km	Lc: Longitud entre extremidades del río La: Longitud de eje del río Lv: Longitud de valle
Coeficiente sinuosidad topográfica S <sub>T</sub>	S <sub>T</sub> = 0.8148	
Coeficiente sinuosidad hidráulica S <sub>h</sub>	S <sub>h</sub> = 0.764	Puesto que este valor es menor a 1.25 y que la longitud del tramo es mayor de diez veces la sección transversal del cauce se trata de un río recto.

Tabla 5.25. Datos referentes a los municipios que abarca la Subcuenca del río Tejalpa (INEGI, 2002, 2007)

MUNICIPIO	ÁREA DEL MUNICIPIO (km <sup>2</sup> )	ÁREA EN LA SUBCUENCA (km <sup>2</sup> )	HABITANTES Año 2000	HABITANTES Año 2005
San Miguel Zinacantepec	309.3	145.68	121 715	136 167
Toluca	443.77	67.98	665 617	747 512
Otzolotepec	127.09	4.86	57 534	67 611
Almoloya de Juárez	484.09	24.28	110 591	126 163
<b>TOTAL</b>	<b>1449.11</b>	<b>242.8</b>	<b>955 457</b>	<b>1 077 453</b>

### *Estaciones hidrométricas y meteorológicas*

En el río Tejalpa existe una estación hidrométrica, Calixtlahuaca, localizada en este mismo poblado (Municipio de Toluca), siendo sus coordenadas 99°41'12" y N 19° 20'20". El área de la cuenca hasta este punto de aforo es 225 km<sup>2</sup> (SRH, 1970).

Las estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de la subcuenca son las siguientes:

- Almoloya de Juárez
- Nevado de Toluca
- S. Francisco Tlalcalcalpan
- Santa María del Monte
- Toluca – Oficinas
- El Molino
- Loma Alta
- S. Antonio Buenavista
- S. José del Contadero
- S. Juan de las Huertas
- Toluca Poniente

En estas estaciones se cuenta con información de: precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, evaporación y horas de sol.

### *Uso y vocación del suelo en la Subcuenca del Río Tejalpa*

En la figura 5.13 se puede apreciar la distribución de los diferentes usos del suelo en la Subcuenca del río Tejalpa. Hay que resaltar el hecho de que esta subcuenca es eminentemente agrícola, tanto en la variante de agricultura de temporal como bajo riego. El bosque se localiza en la cabecera de la cuenca y las zonas urbanas en la parte más baja, en lo que es el Valle de Toluca.

#### **5.4.2. Zonas inundables**

Para llevar a cabo este estudio, se tiene la información referente a los caudales para diferentes períodos de retorno (Tabla 5.26), la altura de la lámina de agua en las zonas inundables para los caudales con diferentes períodos de retorno (ANEXO V) y la información sobre las zonas habitacionales y agrícolas.

Para cada uno de los caudales, se estableció la superficie afectada en la subcuenca por efecto de la inundación provocada por cada caudal. Con objeto de llevar a cabo la estimación de esta superficie se tomó como mapa base, el mapa de uso del suelo elaborado por el INEGI en el año 2003 (Figura 5.13), por lo que los valores difieren de los presentados por Vega (1999), ya que en aquel estudio se utilizó la información publicada por el INEGI en 1977. Por otro lado, en el estudio de Vega (1999) se empleó un Modelo de Elevación Digital (MED) del territorio con curvas de nivel cada 60 m, mientras que el utilizado en el marco del presente estudio está conformado por curvas de nivel cada 10 metros.

Tabla 5.26. Caudales máximos para los períodos de retorno de T= 10, 20, 50 y 100 años (Vega, 1999)

<b>PROBABILIDAD DE OCURRENCIA</b>	<b>PERÍODO DE RETORNO (años)</b>	<b>CAUDAL MÁXIMO PARA TODA LA CUENCA (m<sup>3</sup>/s)</b>
0.90	10	91.41
0.95	20	105.26
0.98	50	114.46
0.99	100	121.67

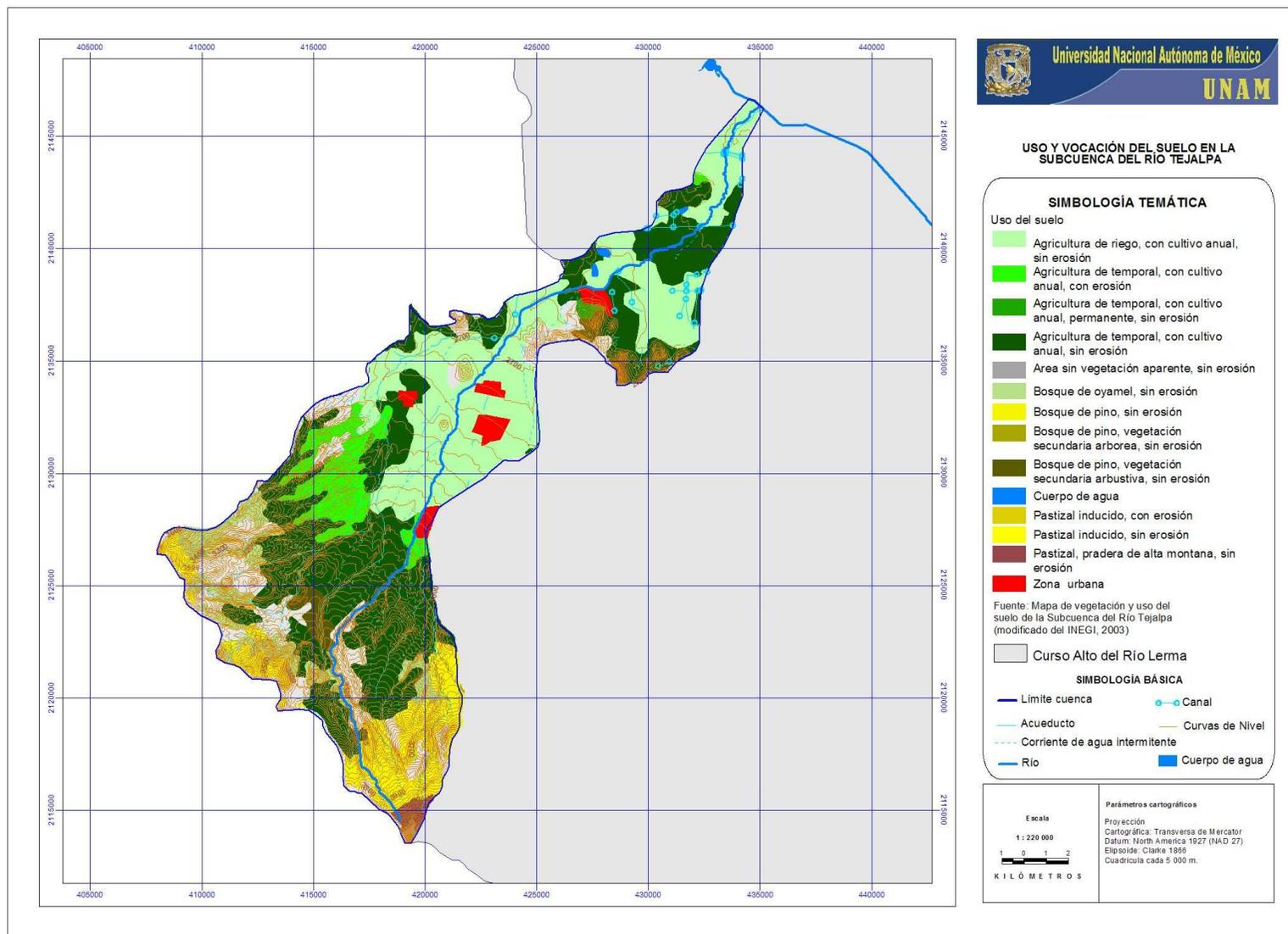


Figura 5.13. Mapa de vegetación y uso del suelo de la Subcuenca del río Tejalpa (modificado del INEGI, 2003)

En la tabla 5.27 se presenta la superficie afectada según el uso del suelo para un período de retorno de 10 años. En esta tabla se puede observar que los usos de suelo más afectados son el de agricultura bajo riego con un 62%, en segundo lugar, el de agricultura de temporal con, aproximadamente, el 28%, y finalmente, el suelo urbano con un 3.4%. El resto de usos del suelo no presenta grandes afectaciones ya que obtienen porcentajes inferiores al 1%.

En la figura 5.14 se identifican las zonas inundables de la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un período de retorno de 10 años. Se aprecia como las zonas inundables se localizan en la parte más baja de la cuenca, donde la superficie del terreno es llana. En esta zona existe una mayor concentración de población y, además, se da un importante desarrollo de las actividades agrícolas.

Estos mismos porcentajes de afectación se repiten para los siguientes períodos de retorno de 20, 50 y 100 años (Tablas 5.28, 5.29 y 5.30), siendo mínima la diferencia de superficie afectada entre estos escenarios para toda la cuenca, ya que para un T=20 años la superficie total afectada es de 55.3 km<sup>2</sup>, para T=50 años es de 56.7 km<sup>2</sup> y para T=100 años, es de 57.2 km<sup>2</sup>. La localización de estas zonas de inundación dentro de los límites de la Subcuenca del río Tejalpa se puede apreciar en los mapas correspondientes a las figuras 5.15, 5.16 y 5.17, para un caudal con un período de retorno de 20, 50 y 100 años, respectivamente.

Tabla 5.27. Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T= 10 años.

USO DEL SUELO	AREA (ha)	AREA (km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
<b>Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>3 371.4</b>	<b>33.7</b>	<b>62.8</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión</b>	<b>16.7</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>1 501.7</b>	<b>15.0</b>	<b>28.0</b>
Bosque de oyamel, sin erosión	24.1	0.2	0.4
Bosque de pino, sin erosión	21.5	0.2	0.4
Bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva, sin erosión	7.3	0.1	0.1
Cuerpo de agua	35.5	0.4	0.7
Pastizal inducido, sin erosión	43.6	0.4	0.8
<b>Zona urbana</b>	<b>178.9</b>	<b>1.8</b>	<b>3.4</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5 200.6</b>	<b>52.0</b>	<b>100.0</b>

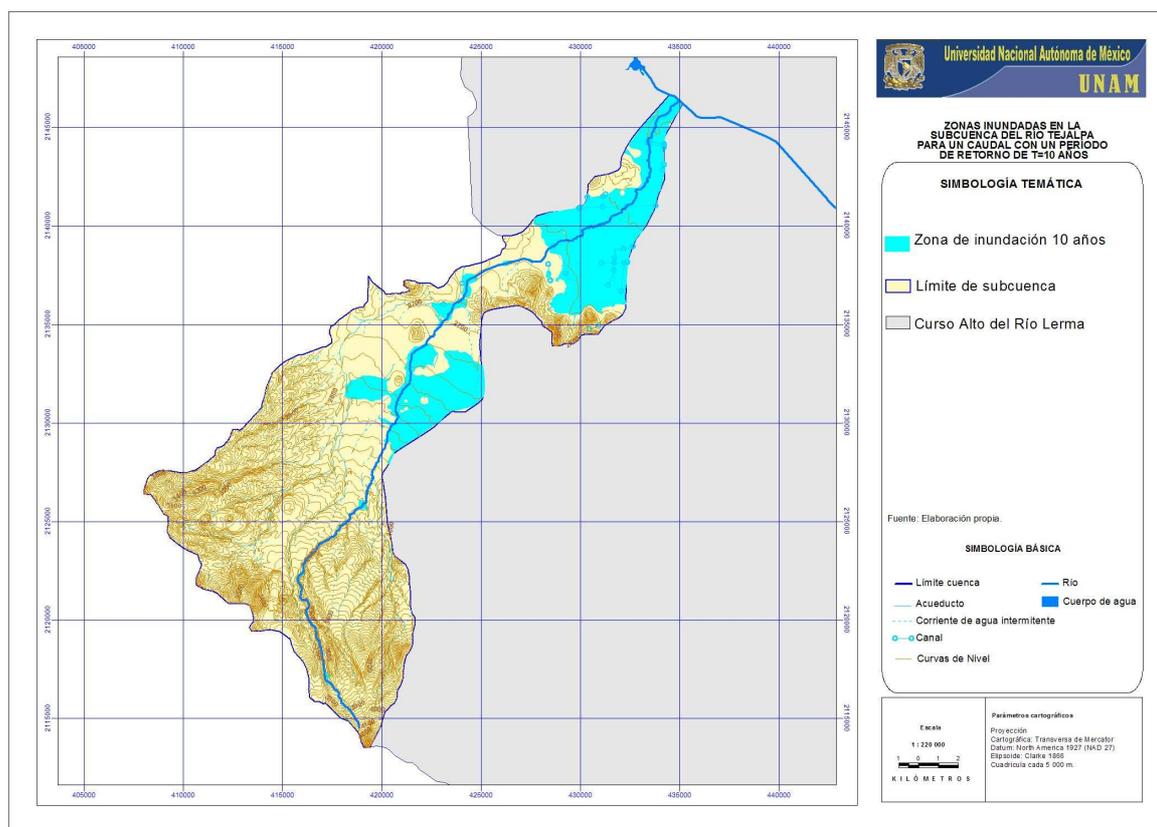


Figura 5.14. Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=10 años

Tabla 5.28. Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T= 20 años.

USO DEL SUELO	AREA (ha)	AREA (km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
<b>Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>3 540.7</b>	<b>35.4</b>	<b>62.1</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión</b>	<b>26.8</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>1 644.6</b>	<b>16.4</b>	<b>28.8</b>
Bosque de oyamel, sin erosión	24.3	0.2	0.4
Bosque de pino, sin erosión	21.5	0.2	0.4
Bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva, sin erosión	7.3	0.1	0.1
Cuerpo de agua	37.5	0.4	0.7
Pastizal inducido, sin erosión	44.3	0.4	0.8
<b>Zona urbana</b>	<b>183.1</b>	<b>1.8</b>	<b>3.3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5 530.0</b>	<b>55.3</b>	<b>100.0</b>

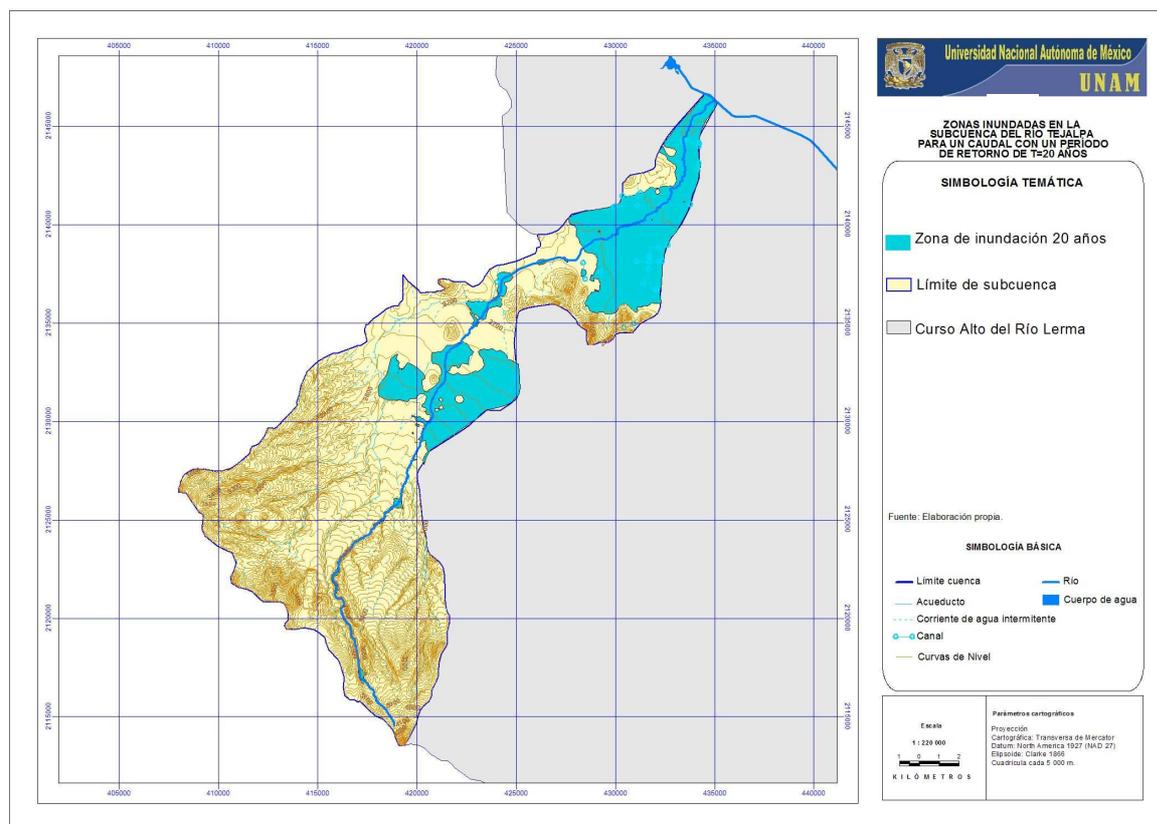


Figura 5.15. Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=20 años

Tabla 5.29. Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T=50 años.

USO DEL SUELO	AREA (ha)	AREA (km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
<b>Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>3 590.3</b>	<b>35.9</b>	<b>61.4</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión</b>	<b>41.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.7</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>1 698.2</b>	<b>17.0</b>	<b>29.1</b>
Bosque de oyamel, sin erosión	24.5	0.2	0.4
Bosque de pino, sin erosión	21.6	0.2	0.4
Bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva, sin erosión	7.5	0.1	0.1
Cuerpo de agua	40.3	0.4	0.7
Pastizal inducido, sin erosión	0.1	0.0	0.0
Pastizal inducido, con erosión	45.8	0.5	0.8
<b>Zona urbana</b>	<b>197.9</b>	<b>2.0</b>	<b>3.5</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5 667.4</b>	<b>56.7</b>	<b>100.0</b>

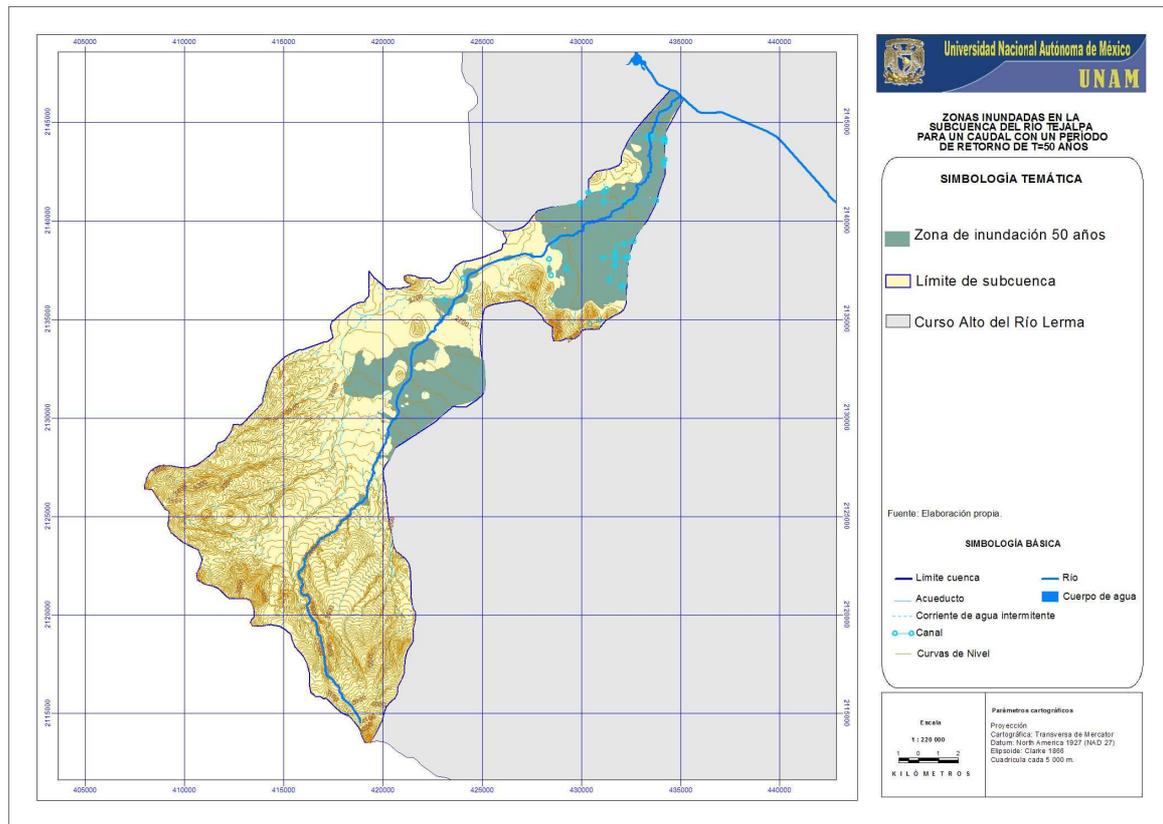


Figura 5.16. Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=50 años

Tabla 5.30. Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un T= 100 años.

USO DEL SUELO	AREA (ha)	AREA (km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
<b>Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>3 595.9</b>	<b>36.0</b>	<b>61.2</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión</b>	<b>55.2</b>	<b>0.6</b>	<b>0.9</b>
<b>Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión</b>	<b>1 719.2</b>	<b>17.2</b>	<b>29.2</b>
Bosque de oyamel, sin erosión	24.4	0.2	0.4
Bosque de pino, sin erosión	21.6	0.2	0.4
Bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva, sin erosión	7.3	0.1	0.1
Cuerpo de agua	41.5	0.4	0.7
Pastizal inducido, sin erosión	1.7	0.0	0.0
Pastizal inducido, con erosión	46.0	0.5	0.8
<b>Zona urbana</b>	<b>208.2</b>	<b>2.1</b>	<b>3.6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5 720.0</b>	<b>57.2</b>	<b>100.0</b>

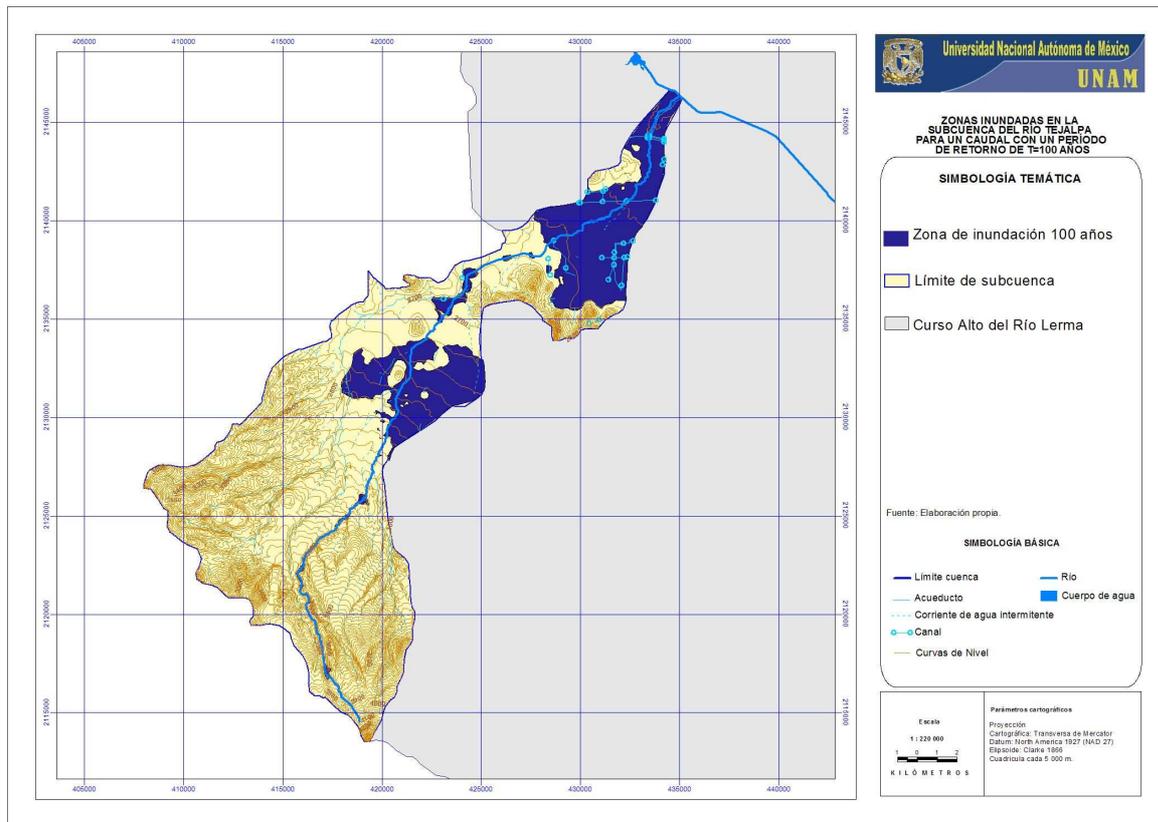


Figura 5.17. Zonas inundadas en la Subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=100 años

### 5.4.3. Daños tangibles en zonas habitacionales

El mapa de las AGEBs que se enmarcan dentro de la zona de estudio se exportó al SIG, donde se sobrepuso a cada uno de los mapas de las zonas habitacionales afectadas por una inundación para un caudal con un período de retorno de 10 años (Figura 5.18), 20 años (Figura 5.19), 50 años (Figura 5.20) y 100 años (Figura 5.21). Las AGEBs dentro de las cuales se identifican zonas inundables corresponden a las localidades de Calixtlahuaca, San Juan de las Huertas, San Miguel de Zinacantepec y San Francisco Tlacilalcalpan (Tabla 5.31), localidades pertenecientes a los municipios de Toluca, Zinacantepec y Almoloya de Juárez, respectivamente. El índice de marginación de estas AGEBs varía entre alto y bajo, con valores que oscilan de 0.27041 a -0.60257 (Tabla 5.31).

Tabla 5.31. AGEBS localizadas en zonas inundables y su índice de marginación según CONAPO (2007)

Unidad geográfica	MUNICIPIO	LOCALIDAD	AGEB	IM
151060044	Toluca	Calixtlahuaca	175-2	Medio (-0.04148)
151180001	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	008-3	Bajo (-0.60257)
151180001	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	007-9	Bajo (-0.52935)
151180001	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	010-0	Medio (-0.14014)
151180001	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	011-5	Medio (-0.15585)
151180058	Zinacantepec	San Juan de las Huertas	005-A	Alto (0.27041)
150050032	Almoloaya de Juárez	San Francisco Tlacilalcalpan	014-5	Alto (0.10387)

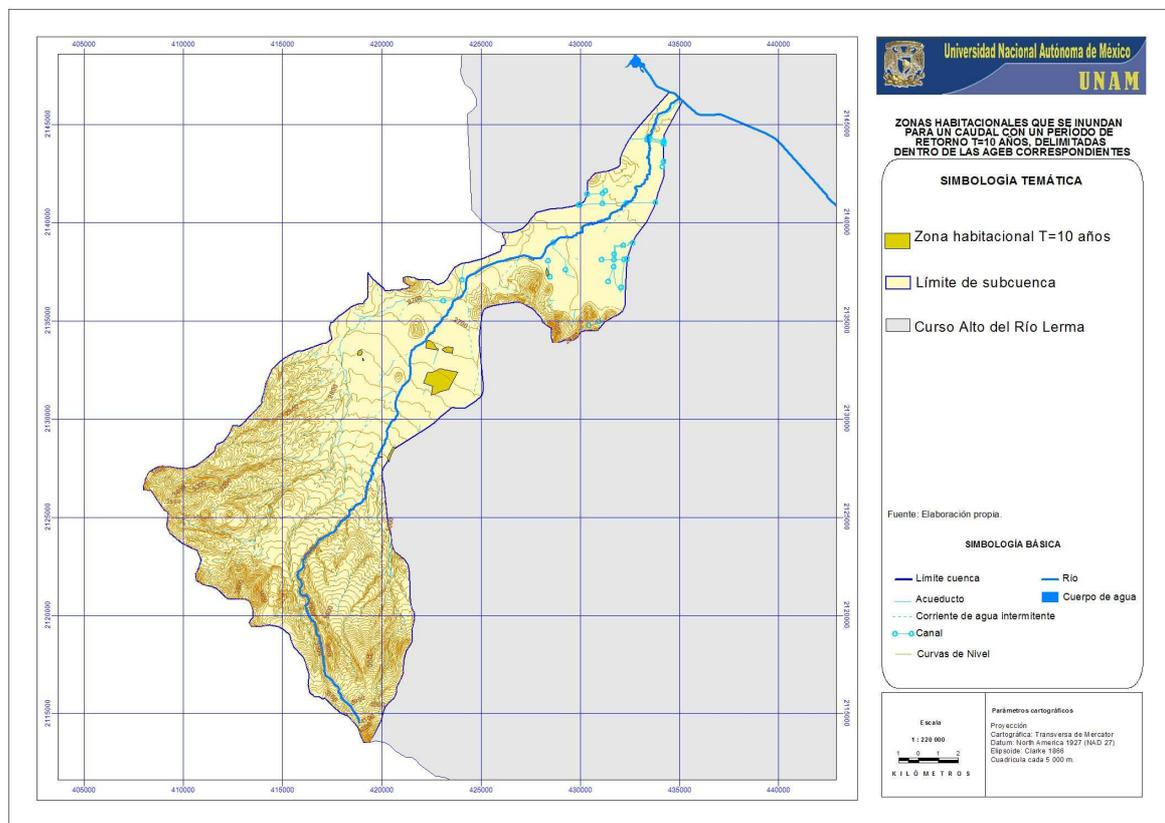


Figura 5.18. Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=10 años

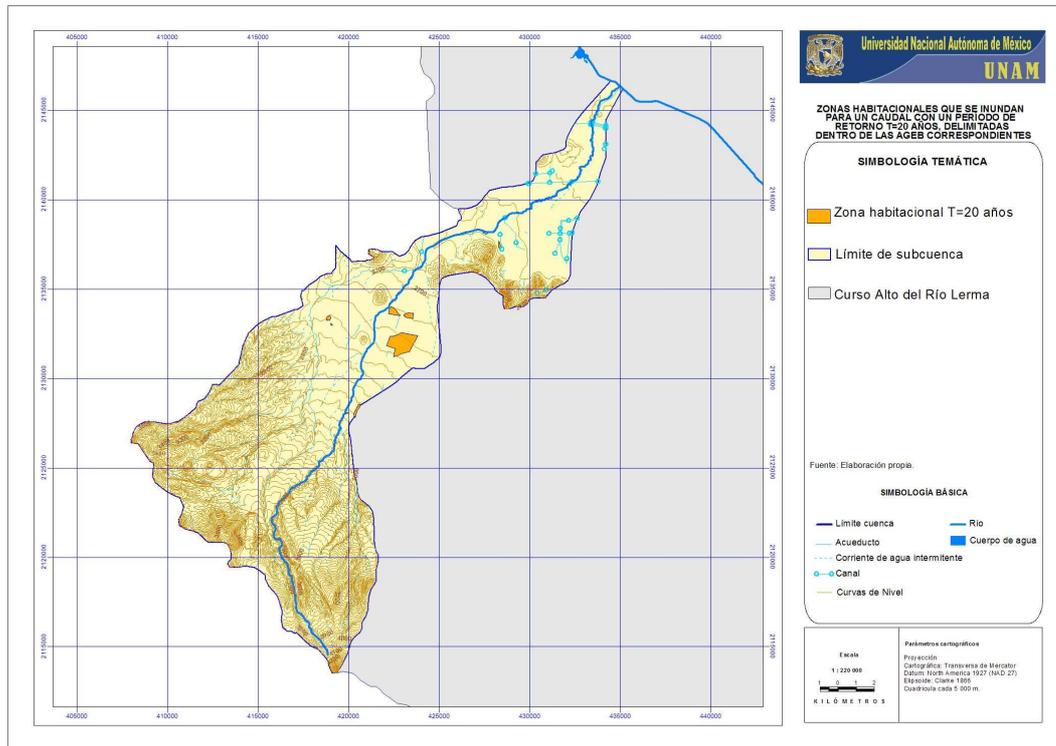


Figura 5.19. Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=20 años

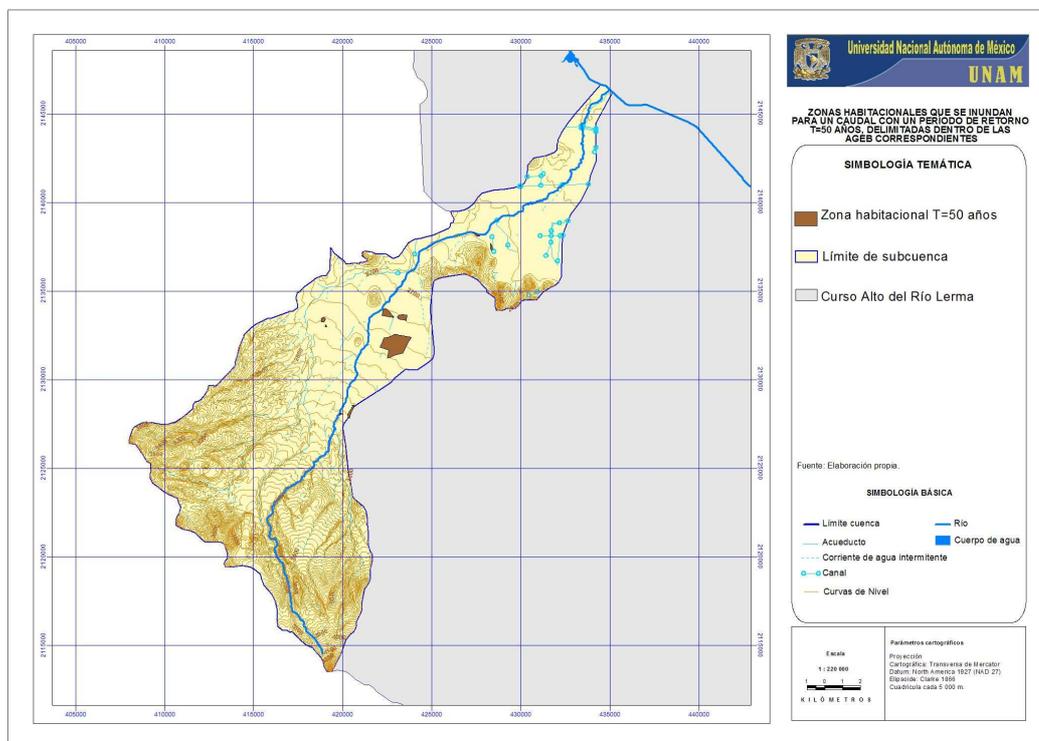


Figura 5.20. Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=50 años

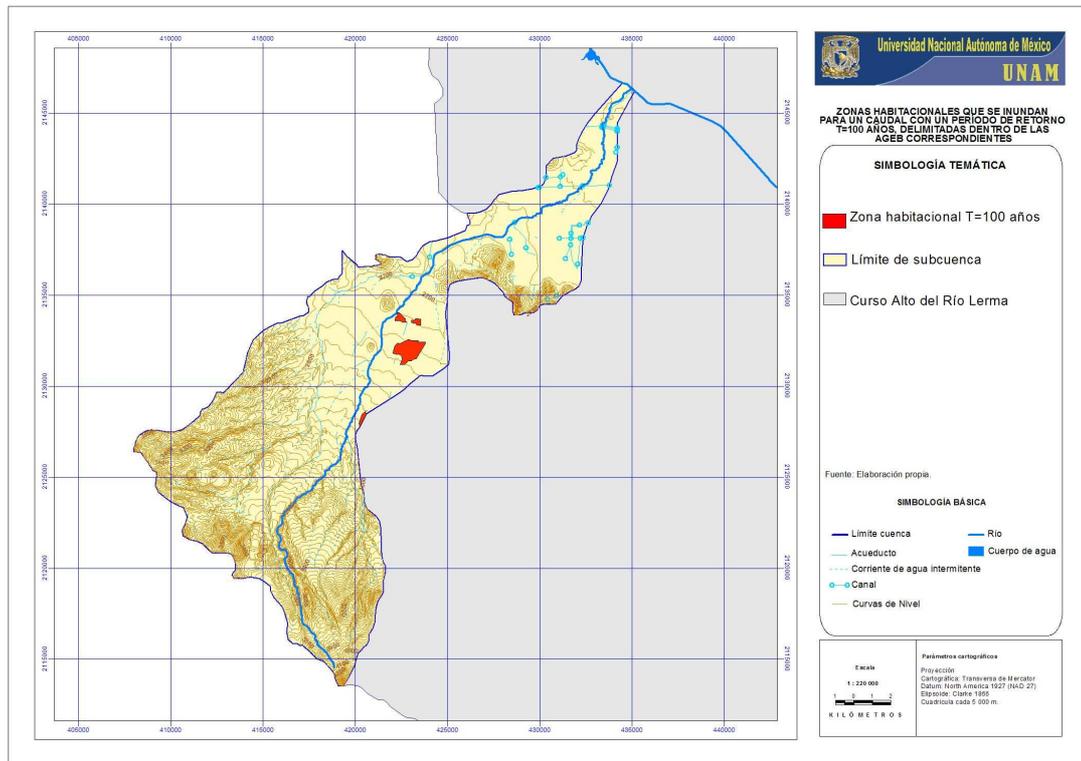


Figura 5.21. Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=100 años,

Para conocer el número de viviendas afectadas por la inundación, se tomó en cuenta la superficie total de la AGEB y el número total de viviendas existentes en cada AGEB, y se supuso una distribución uniforme de estas viviendas en toda la AGEB. A partir de estos datos, se estimó cuántas viviendas corresponderían a una superficie dada, en este caso la superficie inundada dentro de la AGEB. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.32. Como se observa, el número de viviendas afectadas va aumentando a medida que también se incrementa la superficie inundada para cada período de retorno. Así, por ejemplo, para T=10 años el número de viviendas afectadas es de 1 200 mientras que para T=100 años, esta cifra se incrementa a 1 489 viviendas.

Tabla 5.32. Superficie inundada en cada AGEB identificada y número de viviendas afectadas para cada uno de los períodos de retorno definidos

<b>T</b> <b>(años)</b>	<b>LOCALIDAD</b>	<b>AGEB</b>	<b>ÁREA</b> <b>TOTAL</b> <b>km<sup>2</sup></b>	<b>NÚMERO</b> <b>TOTAL DE</b> <b>VIVIENDAS</b>	<b>ÁREA</b> <b>INUNDADA</b> <b>km<sup>2</sup></b>	<b>NÚMERO DE</b> <b>VIVIENDAS</b> <b>AFECTADAS</b>
<b>10</b>	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.04	43
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.08	1 226	1.07	1 208
		007-9	0.30	727	0.30	727
		010-0	0.20	451	0.12	256
		011-5	0.45	740	0.17	279
		005-A	1.03	1 640	0.09	143
<b>TOTAL</b>				<b>1.79</b>	<b>2 656</b>	
<b>20</b>	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.04	43
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.08	1 226	1.07	1 208
		007-9	0.30	727	0.30	727
		010-0	0.20	451	0.17	382
		011-5	0.45	740	0.12	198
		041-5	3.69	1 403	0.03	11
San Juan de las Huertas	005-A	1.03	1 640	0.10	151	
<b>TOTAL</b>				<b>1.83</b>	<b>2 720</b>	
<b>50</b>	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.05	52
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.08	1 226	1.07	1 208
		007-9	0.30	727	0.30	727
		010-0	0.20	451	0.18	389
		011-5	0.45	740	0.13	206
		014-5	3.69	1 403	0.04	16
San Juan de las Huertas	005-A	1.03	1 640	0.21	332	
<b>TOTAL</b>				<b>1.98</b>	<b>2 931</b>	
<b>100</b>	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.05	59
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.08	1 226	1.07	1 208
		007-9	0.30	727	0.30	727
		010-0	0.20	451	0.18	391
		011-5	0.45	740	0.13	206
		014-5	3.69	1 403	0.06	22
San Juan de las Huertas	005-A	1.03	1 640	0.30	467	
<b>TOTAL</b>				<b>2.08</b>	<b>3 080</b>	

El análisis de la Información de las AGEBs identificadas permitió definir el valor del IM de la AGEB correspondiente, que en este caso resultó ser de alto, medio y bajo (Tabla 5.31). Por lo tanto se tomaron las ecuaciones correspondientes a las curvas de daños potenciales en zonas habitacionales para una AGEB con un IM alto, medio y bajo, considerando el costo más probable, el costo mínimo y el costo máximo (Tabla 5.33).

Tabla 5.33. Ecuaciones empleadas para el cálculo de los costos mínimo, máximo y más probable

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN
Alto	$DDH_{max} = 289.63 \text{ Ln}(h) + 801.56$
	$DDH_{min} = 228.58 \text{ Ln}(h) + 637.93$
	$DDH_{mp} = 280.51 \text{ Ln}(h) + 777.60$
Medio Vivienda de una planta	$DDH_{max} = 709.63 \text{ Ln}(h) + 1976.04$
	$DDH_{min} = 544.93 \text{ Ln}(h) + 1546.60$
	$DDH_{mp} = 685.51 \text{ Ln}(h) + 1913.15$
Bajo Vivienda de una planta	$DDH_{max} = 877.28 \text{ Ln}(h) + 2479.23$
	$DDH_{min} = 797.24 \text{ Ln}(h) + 2233.19$
	$DDH_{mp} = 865.56 \text{ Ln}(h) + 2443.20$

Para aplicar cada curva a las zonas inundadas de cada AGEB es necesario conocer el número de viviendas que pueden ser afectadas y la altura máxima de lámina de agua. El número de viviendas afectadas se tomó de la tabla 5.32 y para saber cuál es la lámina de agua se identificaron aquellas secciones del río (ANEXO V) que se localizaban en estas zonas inundadas o en sus proximidades (Figura 5.22). Estas secciones fueron las número 22, 23, 33, 34, 35 y 45, y para las cuales se tiene calculado la lámina de agua para cada caudal con un período de retorno de 10, 20, 50 y 100 años (ANEXO V).

Los valores de altura de lámina de agua obtenidos de las secciones se relacionaron con cada una de las zonas habitacionales afectadas en cada AGEB, siendo este valor el que se utilizó para establecer los daños económicos con base en las ecuaciones de la curva de daños. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.34, donde se estima es el daño potencial de una vivienda para los diferentes períodos de retorno y para las diferentes AGEBs.

En esta tabla 5.34 se puede apreciar como el incremento en la altura de la lámina de agua provoca consecuentemente un mayor daño económico en las viviendas. Por lo tanto para caudales con un período de retorno mayor, los daños económicos son más elevados.

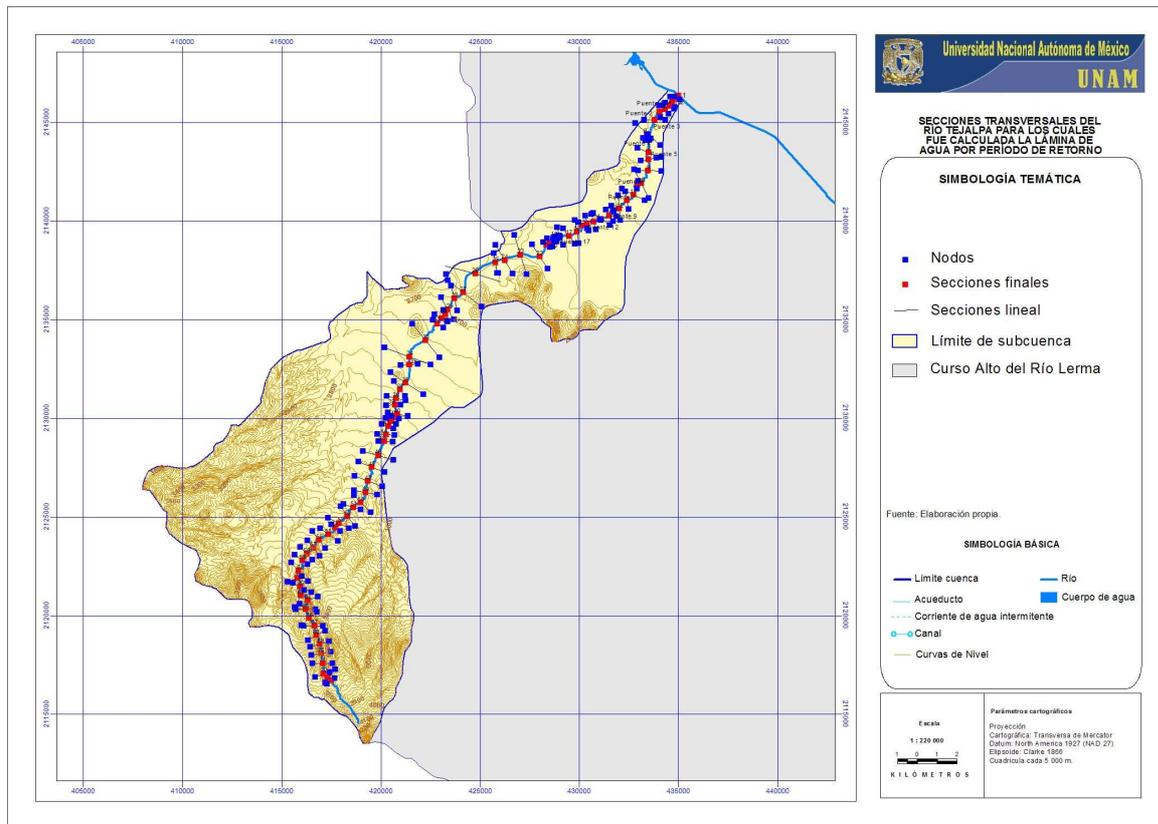


Figura 5.22. Secciones transversales del río Tejalpa para los cuales fue calculada la lámina de agua por período de retorno

A continuación, cada uno de los valores correspondientes al daño de una vivienda se multiplicó por el número de viviendas afectadas en cada AGEB (Tabla 5.35), para de esta forma calcular los daños potenciales totales directos para el caso de las zonas habitacionales. Estos daños oscilaron entre 5 279 766 S.M. como costo mínimo, 5 995 270 S.M. como costo máximo y 5 890 489 S.M. como costo más probable, para un caudal con período de retorno de 10 años, 5 832 114 S.M. como costo mínimo, 6 658 358 S.M. como costo máximo y 6 537 369 S.M. como costo más probable, para un caudal con un período de retorno de 100 años (Tabla 5.35), lo que supone un incremento para el costo más probable de 646 880 S.M. (34 407 547 pesos).

Tabla 5.34. Daños económicos potenciales directos por vivienda para diferentes períodos de retorno (SM salarios mínimos)

T (años)	LOCALIDAD	AGEB	LÁMINA DE AGUA (m)	COSTO MÍNIMO		COSTO MÁXIMO		COSTO MÁS PROBABLE	
				DDHmin (No. S.M./viv)	DDHmin (pesos/viv)	DDHmax (No.S.M./viv)	DDHmax (pesos/viv)	DDHmp (No. M./viv)	DDHmp (pesos/viv)
10	Calixtlahuaca	175-2	1.30	1,689.6	89,868.2	2,162.2	115,008.6	2,093.0	111,326.8
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.08	2,294.55	122,046.9	2,546.75	135,461.4	2,509.81	133,497.0
		007-9	1.08	2,294.55	122,046.9	2,546.75	135,461.4	2,509.81	133,497.0
		010-0	0.37	1,004.8	53,445.4	1,270.5	67,577.3	1,231.6	65,507.7
		011-5	0.90	1,489.2	79,209.8	1,901.3	101,128.7	1,840.9	97,918.8
San Juan de las Huertas	005-A	0.58	655.5	34,867.2	823.9	43,820.6	799.2	42,508.8	
20	Calixtlahuaca	175-2	1.48	1,760.2	93,626.9	2,254.2	119,903.3	2,181.9	116,055.2
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.12	2,323.54	123,589.1	2,578.65	137,158.4	2,541.29	135,171.4
		007-9	1.12	2,323.54	123,589.1	2,578.65	137,158.4	2,541.29	135,171.4
		010-0	0.39	1,033.5	54,971.3	1,307.8	69,564.3	1,267.7	67,427.3
		011-5	0.96	1,524.4	81,080.4	1,947.1	103,564.7	1,885.2	100,272.0
	San Fco Tlacilalcalpan	041-5	1.24	2,404.69	127,905.2	2,667.94	141,907.9	2,629.39	139,857.4
San Juan de las Huertas	005-A	0.61	663.8	35,309.4	834.4	44,380.9	809.4	43,051.4	
50	Calixtlahuaca	175-2	1.53	1,778.3	94,590.0	2,277.8	121,157.4	2,204.7	117,266.7
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.17	2,358.36	125,441.2	2,616.97	139,196.4	2,579.10	137,182.1
		007-9	1.12	2,358.36	125,441.2	2,616.97	139,196.4	2,579.10	137,182.1
		010-0	0.42	1,073.9	57,119.3	1,360.4	72,361.6	1,318.5	70,129.4
		011-5	0.99	1,541.1	81,972.3	1,968.9	104,726.2	1,906.3	101,394.0
	San Fco Tlacilalcalpan	014-5	1.29	2,436.20	129,581.5	2,702.62	143,752.5	2,663.61	141,677.3
San Juan de las Huertas	005-A	0.65	673.8	35,840.4	847.0	45,053.7	821.6	43,703.1	
100	Calixtlahuaca	175-2	1.57	1,790.7	95,245.5	2,293.9	122,011.1	2,220.2	118,091.4
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.20	2,378.54	126,514.8	2,639.18	140,377.8	2,601.01	138,347.7
		007-9	1.20	2,378.54	126,514.8	2,639.18	140,377.8	2,601.01	138,347.7
		010-0	0.44	1,099.2	58,467.7	1,393.4	74,117.5	1,350.4	71,825.6
		011-5	1.04	1,568.0	83,400.5	2,003.9	106,586.0	1,940.0	103,190.5
	San Fco Tlacilalcalpan	014-5	1.34	2,466.52	131,194.1	2,735.98	145,526.9	2,696.52	143,428.1
San Juan de las Huertas	005-A	0.65	679.6	36,148.2	854.4	45,443.7	828.7	44,080.8	

Tabla 5.35. Daños totales económicos potenciales directos en zonas habitacionales para diferentes períodos de retorno (SM salarios mínimos)

T (años)	LOCALIDAD	AGEB	LÁMINA DE AGUA (m)	COSTO MÍNIMO		COSTO MÁXIMO		COSTO MÁS PROBABLE	
				DDHmin (No. S.M.)	DDHmin (pesos)	DDHmax (No. S.M.)	DDHmax (pesos)	DDHmp (No. S.M.)	DDHmp (pesos)
<b>10</b>	Calixtlahuaca	175-2	1.30	72,994	3,882,554	93,414	4,968,686	90,423	4,809,625
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.08	2,772,390	147,463,447	3,077,112	163,671,563	3,032,488	161,298,058
		007-9	1.08	1,668,135	88,728,114	1,851,485	98,480,467	1,824,635	97,052,339
		010-0	0.37	256,779	13,658,089	324,676	17,269,519	314,733	16,740,641
		011-5	0.90	416,003	22,127,187	531,119	28,250,217	514,261	27,353,521
	San Juan de las Huertas	005- A	0.58	93,465	4,971,384	117,465	6,247,963	113,949	6,060,931
<b>TOTAL</b>				<b>5,279,766</b>	<b>280,830,775</b>	<b>5,995,270</b>	<b>318,888,414</b>	<b>5,890,489</b>	<b>313,315,115</b>
<b>20</b>	Calixtlahuaca	175-2	1.48	76,047	4,044,940	97,390	5,180,151	94,264	5,013,903
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.12	2,807,422	149,326,785	3,115,660	165,721,974	3,070,522	163,321,077
		007-9	1.12	1,689,214	89,849,277	1,874,679	99,714,190	1,847,520	98,269,581
		010-0	0.39	395,144	21,017,686	500,041	26,597,184	484,679	25,780,091
		011-5	0.96	301,316	16,027,015	384,874	20,471,443	372,637	19,820,572
	San Fco Tlacilalcalpan	041-5	1.24	26,085	1,387,452	28,941	1,539,346	28,522	1,517,103
San Juan de las Huertas	005-A	0.61	99,908	5,314,118	125,576	6,679,392	121,815	6,479,314	
<b>TOTAL</b>				<b>5,395,136</b>	<b>286,967,273</b>	<b>6,127,161</b>	<b>325,903,680</b>	<b>6,019,959</b>	<b>320,201,640</b>
<b>50</b>	Calixtlahuaca	175-2	1.53	92,589	4,924,812	118,594	6,308,041	114,786	6,105,472
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.17	2,849,493	151,564,528	3,161,955	168,184,378	3,116,198	165,750,584
		007-9	1.17	1,714,527	91,195,717	1,902,534	101,195,808	1,875,003	99,731,405
		010-0	0.42	417,663	22,215,488	529,116	28,143,684	512,794	27,275,524
		011-5	0.99	317,219	16,872,876	405,273	21,556,446	392,377	20,870,553
	San Fco Tlacilalcalpan	014-5	1.29	39,917	2,123,198	44,283	2,355,389	43,643	2,321,388
San Juan de las Huertas	005-A	0.65	223,872	11,907,760	281,422	14,968,830	272,986	14,520,103	
<b>TOTAL</b>				<b>5,655,281</b>	<b>300,804,378</b>	<b>6,443,177</b>	<b>342,712,576</b>	<b>6,327,788</b>	<b>336,575,029</b>
<b>100</b>	Calixtlahuaca	175-2	1.57	105,133	5,592,001	134,677	7,163,446	130,350	6,933,313
	San Miguel Zinacantepec	008-3	1.20	2,873,881	152,861,715	3,188,791	169,611,798	3,142,676	167,158,935
		007-9	1.20	1,729,202	91,976,229	1,918,682	102,054,681	1,890,934	100,578,803
		010-0	0.44	429,938	22,868,387	545,017	28,989,474	528,164	28,093,066
		011-5	1.04	322,745	17,166,833	412,469	21,939,249	399,330	21,240,345
	San Fco Tlacilalcalpan	014-5	1.34	53,605	2,851,232	59,461	3,162,726	58,603	3,117,112
San Juan de las Huertas	005-A	0.65	317,612	16,893,760	399,286	21,237,997	387,311	20,601,061	
<b>TOTAL</b>				<b>5,832,114</b>	<b>310,210,156</b>	<b>6,658,383</b>	<b>354,159,371</b>	<b>6,537,369</b>	<b>347,722,635</b>

Para la estimación de los daños indirectos de acuerdo con Kates (1965), se considero un incremento del 15% con respecto a los directos. Los resultados se presentan en la tabla 5.36. Los daños indirectos mas probables variaron entre 883 573 S.M. (49 997 248 pesos) para un caudal con un período de retorno de 10 años, y 980 605 S.M. (52 158 380 pesos) para un caudal con un período de retorno de 100 años.

Tabla 5.36. Daños totales económicos potenciales indirectos en zonas habitacionales para los diferentes períodos de retorno (S.M. salarios mínimos)

T (años)	COSTO MÍNIMO		COSTO MÁXIMO		COSTO MÁS PROBABLE	
	DIHmin (No. S.M.)	DIHmin (pesos)	DIHmax (No. S.M.)	DIHmax (pesos)	DIHmp (No. S.M.)	DIHmp (pesos)
10	791 965	42 124 618	899 291	47 833 288	883 573	46 997 248
20	809 270	43 045 071	919 074	48 885 546	902 994	48 030 251
50	848 292	45 120 651	966 477	51 406 912	949 168	50 486 246
100	874 817	46 531 516	998 757	53 123 885	980 605	52 158 380

#### 5.4.4. Daños tangibles en zonas agrícolas

Las zonas agrícolas se localizan en la parte baja de la cuenca, por lo tanto cuando se produce una inundación, una gran superficie de éstas es afectada. Lo anterior se puede apreciar en las figuras 5.23, 5.24, 5.25 y 5.26, donde se presentan la localización de las zonas agrícolas inundadas, para los caudales correspondientes a los diferentes períodos de retorno.

Un alto porcentaje de las zonas agrícolas afectadas corresponde a la agricultura bajo riego, la cual se ubica en las zonas de menor pendiente de la cuenca, ya que del total de la superficie inundada representa, aproximadamente, el 62%, mientras que la agricultura de temporal representa un porcentaje del 28% (Tablas 5.27, 5.28, 5.29 y 5.30).

En estas zonas agrícolas por la fecha de ocurrencia de valores de caudales extremos, se consideró que el cultivo, en este caso maíz de grano bajo riego y temporal, tendría una altura de más de 0.30 cm, y que la inundación tendría una duración de 3 días. Para este caso, las ecuaciones de las curvas de daños potenciales directos por inundación aplicadas fueron las siguientes:

$$\text{Maíz grano temporal } DDAmgt = 117.31 \text{ Ln}(t) - 61.201$$

$$\text{Maíz grano bajo riego } DDAmgr = 148.99 \text{ Ln}(t) - 77.73$$

Donde  $DDAmgt$ , representa los daños directos para el cultivo de maíz de grano en temporal, y  $DDAmgr$ , los daños directos potenciales para el mismo cultivo pero bajo riego. El parámetro  $t$  representa la duración de la inundación.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.37. Se obtiene que los daños en zonas agrícolas tienen un valor que varía entre 85.9 S.M./ha en zonas bajo riego y 67.7 S.M./ha en zonas de temporal.

Si estos daños económicos por hectárea, se multiplican por el número de hectáreas afectadas, se obtienen los daños totales directos en zonas agrícolas. Estos daños serían de 392,540 SM, o lo que es lo mismo 20'879,202 pesos, para un caudal con un período de retorno de 10 años, y de 429,162 SM, o su equivalente en pesos 22'827,127, para un caudal con un período de retorno de 100 años (Tabla 5.38).

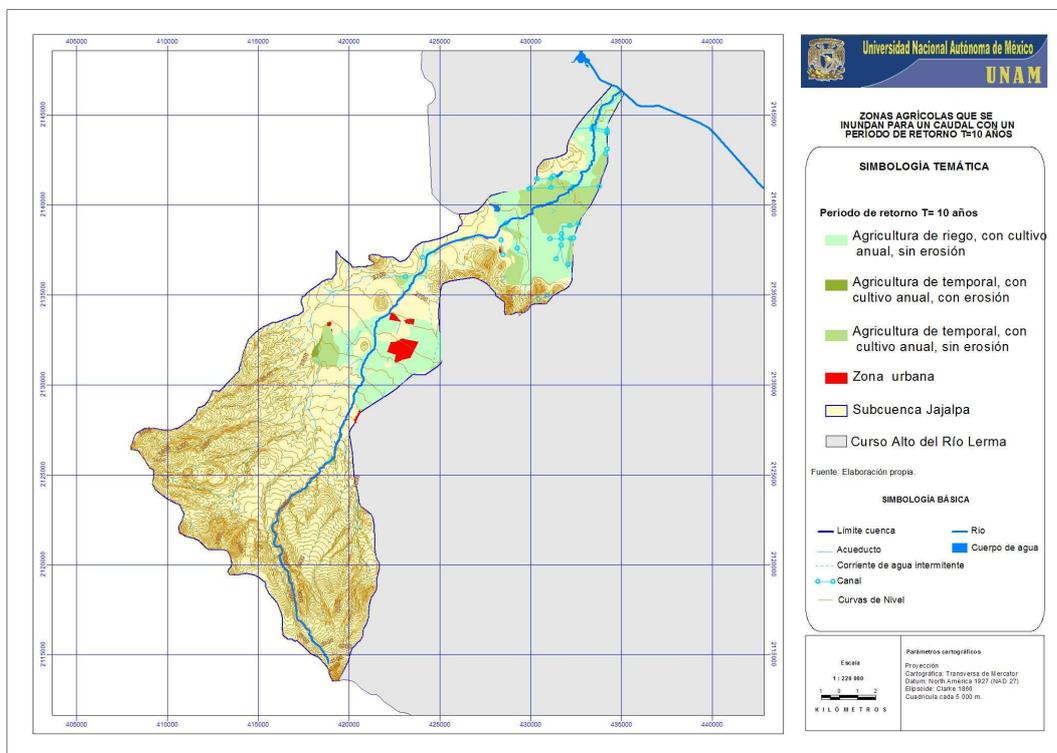


Figura 5.23. Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=10 años

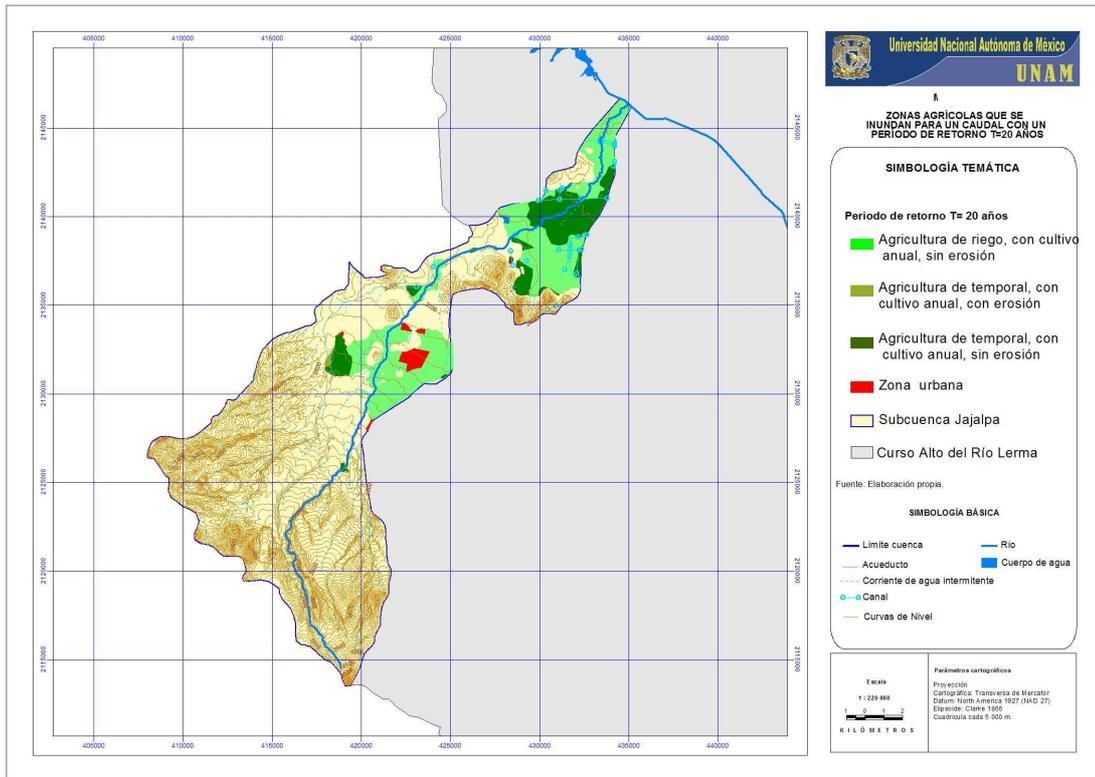


Figura 5.24. Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=20 años

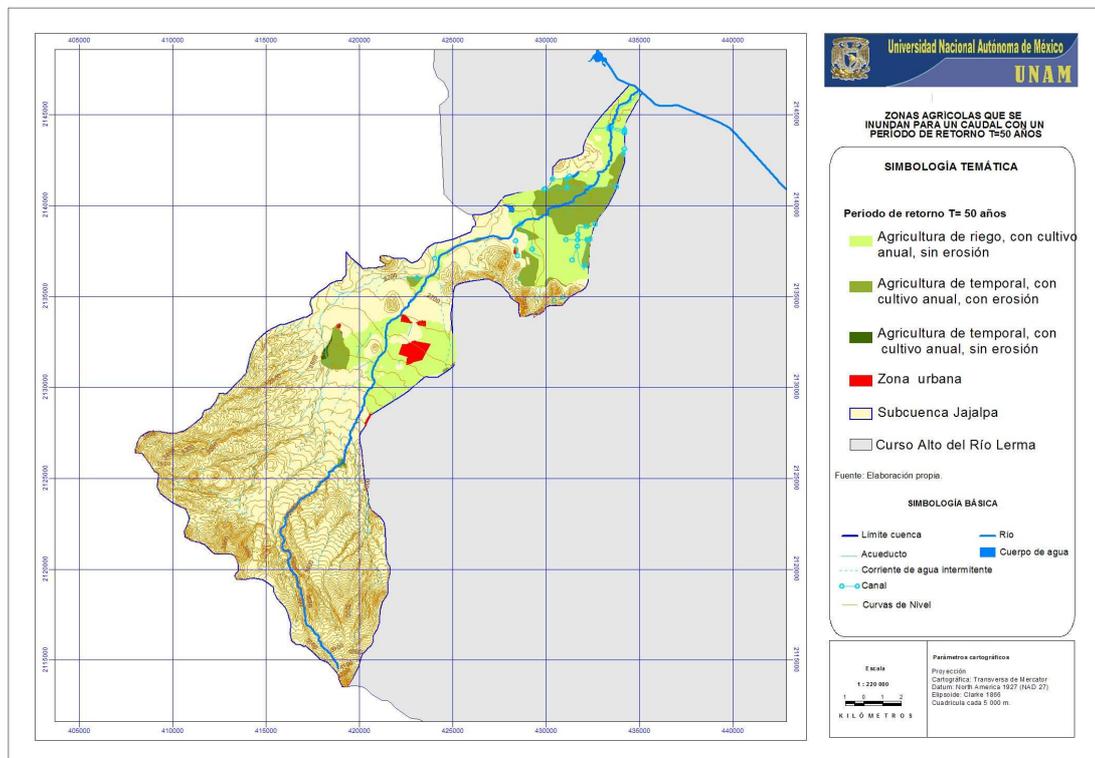


Figura 5.25. Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=50 años

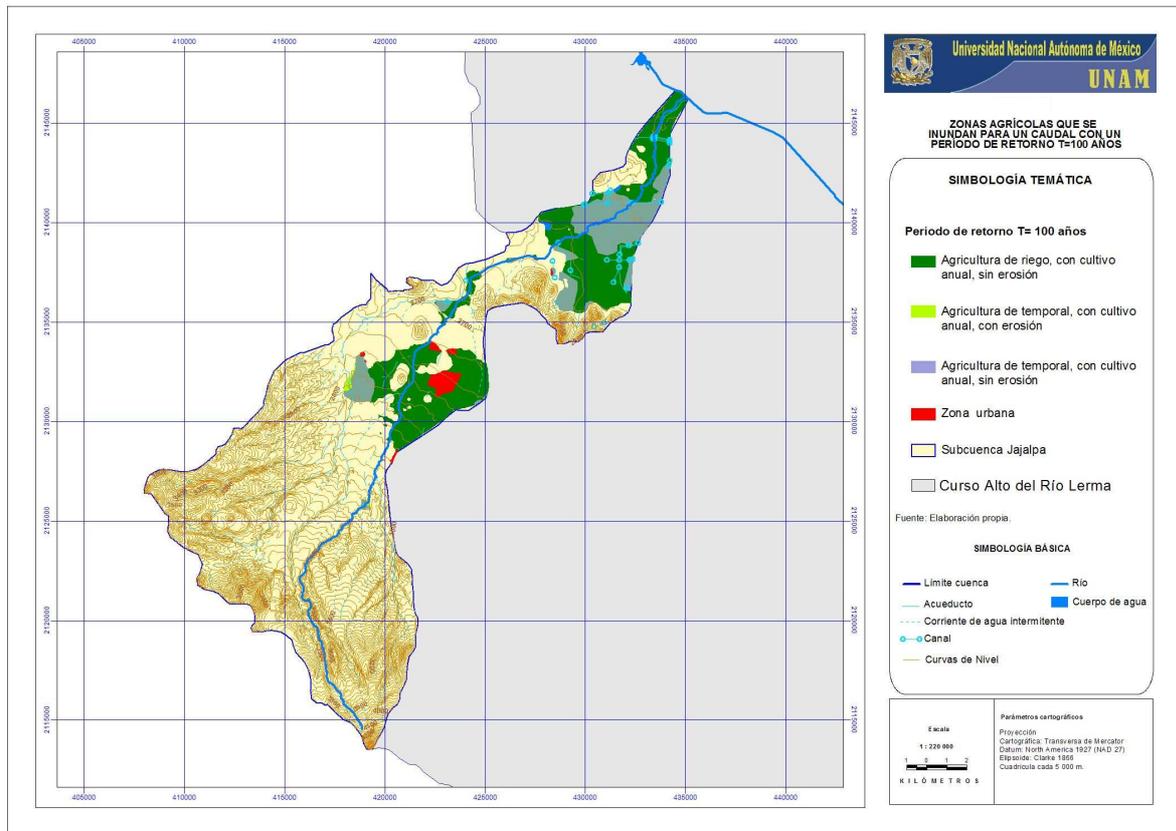


Figura 5.26. Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=100 años

Tabla 5.37. Daños económicos potenciales directos en zonas agrícolas por hectárea (S.M. salarios mínimos, DDA daños directos en zonas agrícolas)

USO DE SUELO	DURACIÓN (días)	DDA (No. S.M. /ha)	DDA (Pesos /ha)
Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3	85.9	4 569
Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	3	67.7	3 600
Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	3	67.7	3 600

Tabla 5.38. Daños totales económicos potenciales directos en zonas agrícolas (S.M. salarios mínimos)

T (años)	USO DE SUELO	SUPERFICIE INUNDADA (ha)	DAÑOS DIRECTOS TOTALES (No S.M.)	DAÑOS DIRECTOS TOTALES (pesos)
<b>10</b>	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3 371.4	289 779	15 413 345
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	16.7	1 130	60 105
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1 501.7	101 631	5 405 753
	<b>TOTAL</b>	<b>4 889.8</b>	<b>392 540</b>	<b>20 879 203</b>
<b>20</b>	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3 540.7	304 331	16 187 366
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	26.8	1 814	96 487
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1 644.6	111,302	5 920 153
	<b>TOTAL</b>	<b>5 212.1</b>	<b>417 447</b>	<b>22 204,006</b>
<b>50</b>	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3 590.3	308 594	16 414 115
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	41.4	2 802	149 038
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1 698.2	114 929	6 113 074
	<b>TOTAL</b>	<b>5 329.9</b>	<b>426 326</b>	<b>22 676 280</b>
<b>100</b>	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3 595.9	309 076	16 439 752
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	55.2	3 736	198 718
	Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1 719.2	116 351	6 188 710
	<b>TOTAL</b>	<b>5 370.3</b>	<b>429 162</b>	<b>22 827 127</b>

Para el caso de los daños económicos potenciales indirectos de acuerdo con Kates (1965), se considera un incremento del 10% sobre el valor de los directos (Tabla 5.39). Los resultados manifiestan que estos daños indirectos oscilan entre 39 254 S.M. y 42 916 S.M. para caudales con períodos de retorno de 10 y 100 años, respectivamente.

Tabla 5.39. Daños totales económicos potenciales indirectos en zonas agrícolas para los diferentes períodos de retorno (S.M. salarios mínimos)

T (años)	DAÑOS INDIRECTOS TOTALES (No. S.M.)	DAÑOS INDIRECTOS TOTALES (en pesos)
10	39 254	208 792
20	41 745	222 040
50	42 633	226 763
100	42 916	228 271

#### 5.4.5. Daños totales

En la tabla 5.40, se presentan los daños económicos potenciales directos e indirectos para los diferentes usos del suelo. Con estos valores, se efectúa la suma total, de forma que se pueden cifrar los daños totales tangibles para la Subcuenca del río Tejalpa, varían entre los 3 544 586 S.M. para un período de retorno de 10 años y un costo máximo y los 4 070 540 S.M. en el caso particular de una inundación correspondiente a un período de retorno de 100 años y un costo máximo. En la figura 5.27 se comparan el costo total mínimo, máximo y más probable para cada periodo de retorno.

En la tabla 5.41, así como en la figura 5.28 (para el caso de la estimación del costo más probable), se presenta la distribución de estos costos entre zonas agrícolas y zonas habitacionales. Se aprecia claramente como la mayor cuantía de los daños corresponde a zonas habitacionales, a pesar de que la extensión de la superficie inundada es mucho menor que en el caso de las zonas agrícolas. Sin embargo, hay que tener presente que el valor de los cultivos es muy bajo por lo que los daños son necesariamente menores.

Si estas cifras se presentan en porcentajes (Tabla 5.41), se observa que cerca del 94% de los daños corresponderían a zonas habitacionales y tan sólo un 6% a zonas agrícolas.

Tabla 5.40. Daños totales para las zonas inundables de la Subcuenca del río Tejalpa para caudales con diferentes períodos de retorno (SM salarios mínimos, DDH daños directos en zonas habitacionales, DIH daños indirectos en zonas habitacionales, DDA daños directos en zonas agrícolas, DIA daños indirectos en zonas agrícolas)

<b>COSTO MÁXIMO (No. S.M.)</b>					
<b>T (años)</b>	<b>DDHmax</b>	<b>DIHmax</b>	<b>DDA</b>	<b>DIA</b>	<b>TOTAL max</b>
<b>10</b>	5 995 270	899 291	392 540	39 254	7 326 355
<b>20</b>	6 127 161	919 074	417 447	41 745	7 505 426
<b>50</b>	6 443 177	966 477	426 326	42 633	7 878 612
<b>100</b>	6 658 383	998 757	429 162	42 916	8 129 218
<b>COSTO MÍNIMO (No. S.M.)</b>					
<b>T (años)</b>	<b>DDHmin</b>	<b>DIHmin</b>	<b>DDA</b>	<b>DIA</b>	<b>TOTAL min</b>
<b>10</b>	5 279 766	791 965	392 540	39 254	6 503 526
<b>20</b>	5 395 136	809 270	417 447	41 745	6 663 598
<b>50</b>	5 655 281	848 292	426 326	42 633	6 972 531
<b>100</b>	5 832 114	874 817	429 162	42 916	7 179 010
<b>COSTO MÁS PROBABLE (No. S.M.)</b>					
<b>T (años)</b>	<b>DDHmp</b>	<b>DIHmp</b>	<b>DDA</b>	<b>DIA</b>	<b>TOTAL mp</b>
<b>10</b>	5 890 489	883 573	392 540	39 254	7 205 857
<b>20</b>	6 019 959	902 994	417 447	41 745	7 382 145
<b>50</b>	6 327 788	949 168	426 326	42 633	7 745 914
<b>100</b>	6 537 369	980 605	429 162	42 916	7 990 052

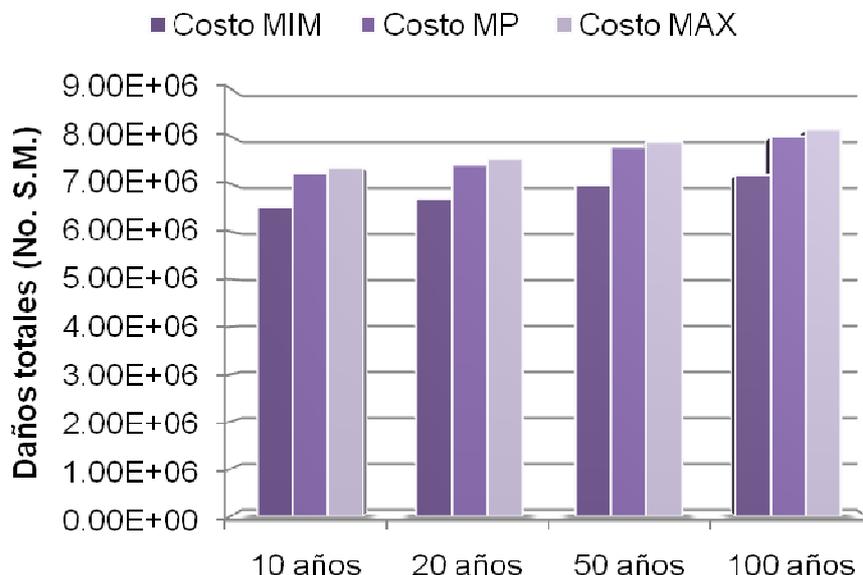


Figura 5.27. Comparación entre costo total máximo, mínimo y más probable de los daños económicos potenciales en zonas habitacionales y agrícolas para caudales con diferentes períodos de retorno. Caso de la Subcuenca del río Tejalpa

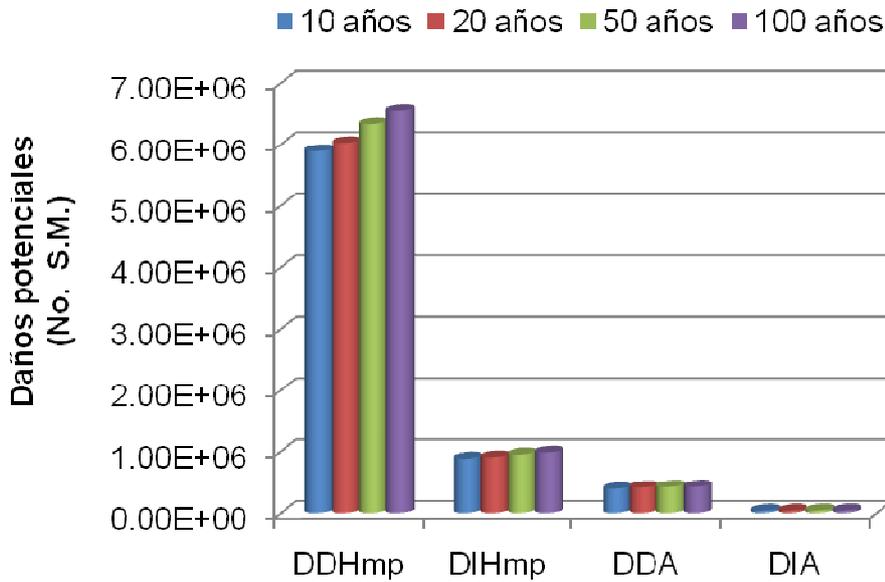


Figura 5.28. Costo más probable de los daños económicos potenciales en zonas habitacionales y agrícolas para caudales con diferentes períodos de retorno. Caso de la Subcuenca del río Tejalpa (DDH daños directos en zonas habitacionales, DIH daños indirectos en zonas habitacionales, DDA daños directos en zonas agrícolas, DIA daños indirectos en zonas agrícolas)

Tabla 5.41. Porcentajes de daños totales para las zonas inundables de la Subcuenca del río Tejalpa para caudales con diferentes períodos de retorno (DH: daños en zonas habitacionales, DA: daños en zonas agrícolas)

T (años)	DHmax	DAMax	DHmin	DAMin	DHmp	DAMP
10	94.1	5.9	93.4	6.6	94.0	6.0
20	93.9	6.1	93.1	6.9	93.8	6.2
50	94.0	6.0	93.3	6.7	93.9	6.1
100	94.2	5.8	93.4	6.6	94.1	5.9

En la figura 5.29 se puede apreciar como a medida que se incrementa la superficie inundada, se produce un aumento en los daños económicos potenciales como consecuencia de que el número de casas afectadas se eleva, así como la superficie agrícola inundada. También hay que tener presente que esta mayor superficie inundada cuenta, además, con un incremento en la altura de lámina de agua.

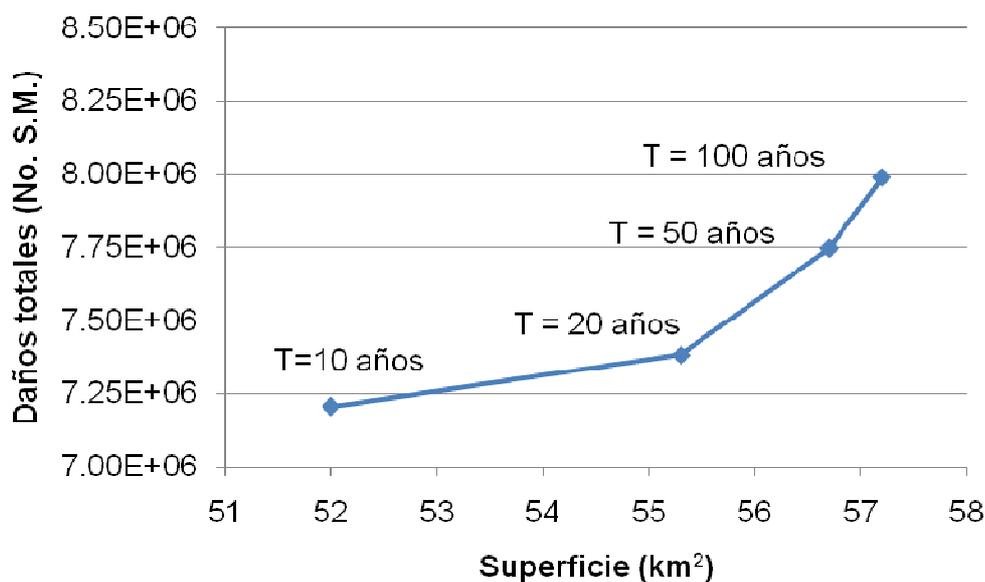


Figura 5.29. Relación entre área inundada y daños económicos potenciales (costo más probable)

Esta misma Subcuenca del río Tejalpa también fue estudiada por Baró et al. (2007a, b) con el objetivo de efectuar una estimación de los daños tangibles, directos e indirectos, provocados por una inundación en las zonas habitacionales y agrícolas. En este estudio para llevar a cabo la cuantificación de los daños tangibles directos en zonas habitacionales se realizaron los ajustes de las curvas de daños económicos con base en información y caracterización estatal, para cada clase de vivienda: precaria, económica, de interés social, regular y buena - muy buena- lujo.

En la Figura 5.30, se presenta una comparación entre los valores obtenidos en el estudio de Baró et al. (2007a, b) y los obtenidos en la presente investigación con base en variables explicativas de carácter global y disponibles a nivel nacional. Se puede observar como los costos de los daños directos en una vivienda estimados por dichos autores son ligeramente más elevados. En el caso de San Juan de las Huertas este valor es mucho mayor, lo cual puede ser debido al hecho de que en dicho estudio la vivienda ubicada en esta localidad fue considerada económica, mientras que en la presente investigación se identificó que la vivienda estaba ubicada en una AGEB con un IM alto, por lo que en el trabajo de Baró et al. (2007a, b) hubiese sido más acertado considerarla como una vivienda precaria.

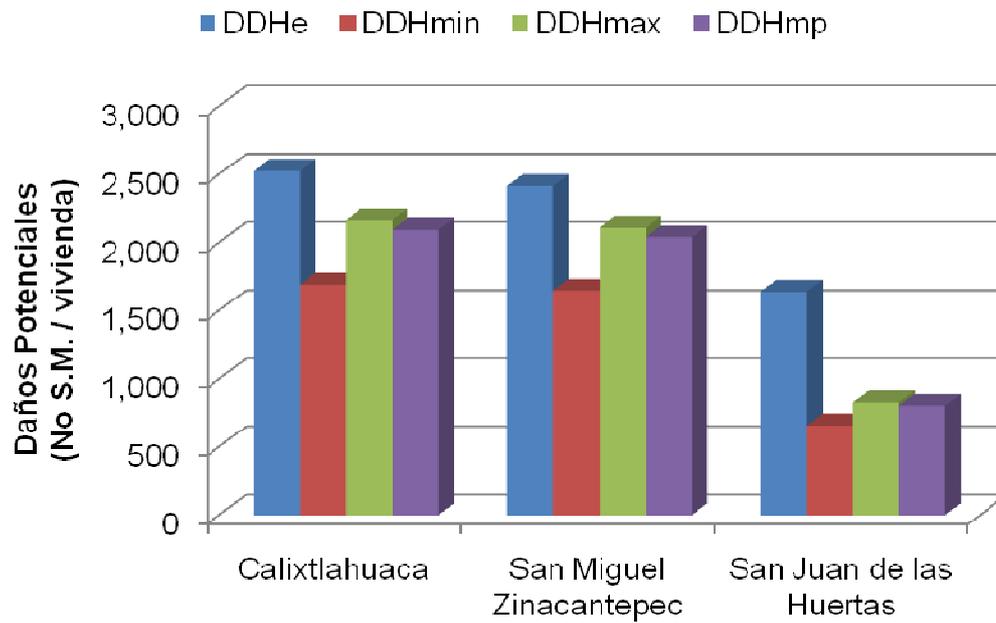


Figura 5.30. Comparación entre los resultados obtenidos según el método establecido por Baró et al. (2007a, b) con base en el tipo de vivienda y el propuesto en este trabajo con base en el IM de las AGEBS. (DDHe : daños directos en zonas habitacionales según Baró et al. (2007a, b) DDH: daños directos en zonas habitacionales)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. El presente trabajo describe un método de evaluación directa de los costos económicos de una inundación en zonas habitacionales y agrícolas mediante el uso de curvas altura de inundación-daños para el caso de zonas habitacionales y de curvas duración de la inundación-daños para el caso de las zonas agrícolas, el cual puede ser empleado en toda la República Mexicana ya que se toma como base información un conjunto de datos disponibles para todo el país y que pueden obtenerse a través de dependencias federales, estatales y municipales.
2. El diseño e implementación de una base de datos sobre las AGEBs y su índice de marginación, así como sobre los bienes contenidos en las viviendas, tanto los que son inventariados por el INEGI como los que se incluyeron de forma particular en este estudio, han ayudado a cuantificar, para cada vivienda según el IM de la AGEB, el tipo de bienes, su número y su valor, aspecto importante para posteriormente estimar los daños económicos ocasionados por una inundación.
3. La definición de la familia de curvas de daños tangibles directos potenciales provocados por una inundación en zonas habitacionales ha permitido establecer, por medio de modelos matemáticos de tipo regresivo, cuál es el costo máximo y mínimo ocasionado por una inundación para una altura de lámina de agua alcanzada en una vivienda. Adicionalmente, se propone un modelo matemático de tipo probabilístico con base en una función beta para estimar el valor del costo de inundación más probable para cada tipo de AGEB.
4. Los modelos de estimación de daños por inundación han sido construidos en función del número de salarios mínimos con la finalidad de que dichos modelos puedan ser utilizados tanto para el estudio de inundaciones pasadas como las que podrían suceder en un futuro.
5. La evaluación de las condiciones socioeconómicas en el área de estudio indica que la población que habita en estas zonas inundables es de bajos recursos. Por lo tanto sus viviendas y bienes son de calidad discreta y las afectaciones por una

inundación son muy importantes desde el punto de vista social, aunque los daños económicos aparentemente no resultan ser tan elevados, pero altamente significativos para los propietarios.

6. Las curvas de daños tangibles directos potenciales provocados por una inundación en zonas habitacionales permitió establecer, por medio de modelos matemáticos de tipo regresivo, cuáles son los daños ocasionados por una inundación de X altura de lámina de agua para cada una de los tipos de AGEBs según su índice de marginación. Según el modelo regresivo aplicado se obtuvieron tres curvas, la de daño máximo, el más probable y el mínimo.
7. En el caso de las zonas agrícolas, el cultivo que puede ser más afectado es el de maíz (grano y forrajero). Las curvas de daños tangibles directos potenciales para el maíz se estimaron en función de la duración de la crecida, considerando que la planta de maíz tenga una altura superior a 30 cm. Si la altura es menor se definió una pérdida total del cultivo, sea cual sea la duración de la crecida.
8. La aplicación de esta metodología en el caso de la Subcuenca del río Tejalpa ha permitido cuantificar que los daños en zonas habitacionales representan el 94% mientras que las zonas agrícolas sólo representan el 6%, por lo que las medidas estructurales y no estructurales deberían estar enfocadas en términos de costo/beneficio en prevenir los daños en estas zonas habitacionales.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los tomadores de decisiones e investigadores, la aplicación de esta metodología, con base en la estimación de curvas de daños económicos potenciales, en las zonas inundables de las diferentes cuencas y subcuencas de México, con objeto de obtener una validación más amplia.
2. La estimación de pérdidas económicas con estas curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales y agrícolas, debe ser completada con otras curvas que permitan el cálculo de daños en zonas industriales, comerciales y/o de servicios con el objetivo de obtener una cuantificación más precisa de las afectaciones.

3. Es necesario que estas curvas de daños potenciales por inundación versus altura de lámina de agua, se complementen con otras donde se incluya el cálculo del factor duración de la inundación.
4. Sería posible utilizar esta metodología para la estimación de los daños potenciales provocados por inundaciones cuando se proyectan diferentes medidas de control de estas inundaciones; para esta forma medir la efectividad en cuanto operatividad y eficiencia en términos económicos de las medidas que se plantean ya que se contará con una evaluación económica de los daños que se evitarían en zonas agrícolas y habitacionales. Estos cálculos deberán de realizarlos los equipos tomadores de decisiones para hacer un análisis de costo – beneficio.
5. La metodología puede ayudar a la formulación de recomendaciones que orienten el diseño de medidas preventivas de tipo ingenieril, orientadas a la mitigación o abatimiento de los picos de crecidas, y/o de tipo social, destinadas, por ejemplo, a reubicar la población bajo riesgo con objeto de reducir los daños a la integridad física de las personas y sus bienes.
6. Se sugiere fuertemente incorporar, de forma sistemática, el concepto de riesgo potencial por inundación en los instrumentos de planificación urbanística.
7. Establecer sistemas de previsión y de alerta para que la población se ponga a salvo, como una primera medida de carácter no estructural y económicamente viable (en comparación con los costos de las medidas estructurales), eficaz y de rápida aplicación por el soporte técnico que lleva para su instalación y su fácil adquisición en el mercado.
8. Se recomienda la utilización de esta metodología como un instrumento adecuado en los análisis de los apoyos económicos que destina el Fondo de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN).
9. El uso de la presente metodología contribuirá a disminuir los costos y los plazos de las misiones de evaluación de daños por inundación en zonas habitacionales y agrícolas.

10. Además su aplicación permitiría establecer de antemano los daños potenciales por inundación en zonas habitacionales inundables, lo que facilitaría la asignación inmediata de los recursos anuales que libera el Fondo Nacional de Desastre, para las etapas de emergencia, rehabilitación y reconstrucción.
11. Por su carácter preventivo, la propuesta que se presenta contribuirá a orientar los planes de gestión de riesgo y las inversiones que se ejecuten en prevención y mitigación a largo plazo como parte de una estrategia de desarrollo económico y social nacional.
12. La presente propuesta de evaluación de daños permitiría de forma previsoramente aumentar la capacidad local de actuación de las autoridades ante la amenaza de inundación, aumentando la resiliencia del entorno geográfico inundable y disminuyendo la vulnerabilidad tanto física, como socioeconómica.
13. En el caso de las evaluaciones de daños en la agricultura se recomienda realizar estudios sobre las afectaciones por inundaciones que pueden sufrir algunos cultivos que ocupan grandes extensiones en la Cuenca Lerma-Chapala tales como el sorgo, la fresa y el trigo, ya que en la actualidad no se cuenta con información suficiente sobre este tema.
14. La metodología respaldaría con análisis de costo-beneficio, futuros reglamentos constructivos en zonas inundables.

## Bibliografía

- Aparicio, J. (2001) Hydrology of the Lerma Chapala watershed. In Hansen A.M., van Afferden M (Editores) The Lerma Chapala watershed: Evaluation and management. Kluwer Academic N.Y. Chapter 1 pp: 3-30
- Aparicio, J., Lobato, R. (2006) Clima. In: Cotler, H., Mazari, M., de Anda, J. (Editores) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Instituto de Ecología. México. pp 14-15
- Aparicio, J., Martínez-Austría, P.F., Güitron, A., Ramirez A.I. (2009) Floods in Tabasco, Mexico: a diagnosis and proposal for courses of action. *Journal of Flood Risk Management*. Vol. 2, 2009, pp. 132-138.
- Ayala, L., Ayala, J.C., Cisneros, R. (1986) Metodología para el estudio y evaluación económica de proyectos de defensa fluvial. Aplicación al río Cachaporal entre Rancagua y Doñihue. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Baró, J.E., Díaz-Delgado, C., Esteller, M.V., Calderón, G. (2007a) Curvas de daños provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México, Parte I. Propuesta metodológica. *Ingeniería Hidráulica en México*. XXII (1): 91-103.
- Baró, J.E., Díaz-Delgado, C., Esteller, M.V., Calderón, G. (2007b) Curvas de daños provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México, Parte II. Caso de estudio en la Cuenca Alta del río Lerma. *Ingeniería Hidráulica en México*. XXII (3):71-85.
- Bitrán, D. Metodologías para la evaluación del impacto socioeconómico de los desastres. Serie "Estudios y perspectivas". Naciones Unidas – CEPAL, México. 2009, 39 pp.
- Blong, R. (2004) Residential building damage and natural perils: Australian examples and issues. *Boulding Research and Information DOI*; 10.1080/0961321042000221007
- Boyle, S.J., Tsanis, I.K., Kanaroglou, P.S. (1998) Developing Geographic Information Systems for land use impact assessment in flooding conditions. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 124: 89-98.
- Bremer, M.H. y Lara C.A. (2001) Proyecto de Atlas de Riesgo de Inundación de la Ciudad de Monterrey. Reporte ITESM Campus Monterrey. México 6 pp.
- Brimicombe A.J., Bartlett, J.M. (1996) Linking geographical information systems with hydraulic simulation modelling for flood risk assessment: the Hong-Kong approach. *GIS and Environmental Modelling* M.F. Goodchild, ed Oxford University Press New York 165-168.
- Cardona, N. (2006a) Dinámica de la población. In: Cotler, H., Mazari, M., de Anda, J. (Editores) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Instituto de Ecología. México. pp 39-45
- Cardona, N. (2006b) Dinámica económica. In: Cotler, H., Mazari, M., de Anda, J. (Editores) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Instituto de Ecología. México. pp 61-64
- Cardona, N. (2006c) Actividad industrial. In: Cotler, H., Mazari, M., de Anda, J. (Editores) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Instituto de Ecología. México. pp 65-68
- CCRECRL Comisión Coordinadora para la Recuperación del Río Lerma (1993) Atlas Ecológico del río Lerma Tomo I Cartografía. Gobierno del Estado de México. México.
- CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2004) Características e impactos socioeconómicos de los principales desastres en la República Mexicana en el año 2003. Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México SEGOB-CENAPRED.

- CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2009a) Características e impactos socioeconómicos de los principales desastres en la República Mexicana en el año 2007. Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México SEGOB-CENAPRED.
- CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2009b) Características e impactos socioeconómicos de los principales desastres en la República Mexicana en el año 2008. Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México SEGOB-CENAPRED.
- CEPAL Comisión Económica para América Latina y El Caribe (2003) Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres Tomo I, Tomo II, Tomo III y Tomo IV. CEPAL – Banco Mundial
- CICESE Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (2003) El CICESE en el estudio de El Fenómeno de El Niño. México, [Citado el 12 de febrero de 2002]. Disponible para World Wide Web <http://elnino.cicese.mx>
- CNA Comisión Nacional del Agua (2001) Fichas temáticas sobre el sector hidráulico: obras de protección contra inundaciones. Prevención de emergencias. Comisión Nacional de Agua. México D.F.
- CNSM Comisión Nacional de Salarios Mínimos. *Salarios mínimos y zonas geográficas*. [en línea] Comisión Nacional de Salarios Mínimos. México. [Citado el 12 de febrero de 2009]. Disponible para World Wide Web: <http://www.csnm.org.mx>
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua. (2005) Programa Hidráulico Regional 2002-2006 Lerma Santiago Pacífico Región VIII SEMARNAT - Comisión Nacional del Agua México D.F.
- CONAPO Consejo Nacional de Población (2002) Índice de marginación urbana 2000. CONAPO, México.
- CONAPO Consejo Nacional de Población (2007) Índice de marginación urbana 2005. CONAPO, México.
- Cotler, H. Fregoso, A. (2006) Sistemas de producción agropecuaria. In: Cotler, H., Mazari, M., de Anda, J. (Editores) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Instituto de Ecología. México. pp 69-72
- Cotler, H., Mazari, M., de Anda, J. (Edis) (2006) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Instituto de Ecología. México.
- CRED, Centro de Investigaciones sobre Epidemiología de Catástrofes, (2002) Desastres Naturales: calculando los costos, contando las víctimas. CRED Escuela de Salud Pública de la Universidad de Lovaina La Nueva, Bruselas, Bélgica. [Citado el 12 de febrero de 2002]. Disponible para World Wide Web [www.eird.org](http://www.eird.org)
- Cruickshank, V.C. (1974) Modelos para el tránsito de avenidas en cauces con llanuras de inundación. Plan Nacional Hidráulico. Gobierno de la Federación. México.
- Díaz-Delgado, C y Vega, G (2001) Análisis de gran visión de las inundaciones en la Cuenca Alta del Río Lerma: caso de la Subcuenca del Río Tejalpa, Estado de México, México. *Ingeniería Hidráulica en México XVI*(1)73-86.
- Díaz-Delgado, C. (1988). *La fonction bêta appliquée à l'analyse statistique d'événements extrêmes en hydrologie*. Québec, Canada. Mémoire de maîtrise, Département de Génie Civil, Faculté des Sciences et de Génie, Université Laval, 204 p.
- Díaz-Delgado, C.; Bâ, K.M.; Esteller, M.V. y García-Aragón,, J.A. (1998). Sistema de Información geográfica para el análisis Geográfico-Hidrológico del Curso Alto del Río Lerma, SIGCARL. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://www.uaem.mx/ceninv/cira> Fecha de consulta: 2/febrero/2005.
- Dutta, D., Herath, S., Musiaka, K. (2003) A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology* 277: 24-49.
- ECGL Engineering Computer Graphics Laboratory (1997) Watershed Modeling System 5.0. User's Manual. USA.

- EM-DAT Emergency Events Database. *The international disaster database*. [En línea] Université Catholique de Louvain, Brussels. Centre for research on the epidemiology of disaster (CRED) [citado el 18 de marzo de 2009]. Disponible para World Wide Web: [www.emdat.be](http://www.emdat.be)
- Escolero, O., Domínguez E., Martínez S. (2006) El ciclo hidrológico. In: Cotler, H., Mazari, M., de Anda, J. (Editores) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Instituto de Ecología. México. pp 16-21
- ESRI Environmental Systems Research Institute, Inc (1996) ArcView GIS Manual USA.
- Esteller M.V. Díaz-Delgado C. (2002). Environmental effects of aquifer overexploitation: a case study in the Highlands of Mexico. *Environmental Management* 29, 266-278.
- Estrada, F. (1996) Análisis económico del control de Crecidas. Apuntes del Curso de Planificación Hidrológica y Medio Ambiente. CEDEX. Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente. Madrid.
- Estrela, T. (1996) Inundaciones: Impactos y estrategias de respuesta. Apuntes del Curso de Planificación Hidrológica y Medio Ambiente. CEDEX. Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente. Madrid.
- García, E. (1964) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. FOCET Larios. México
- García, F., García, N.M., Cambranis, R.M. (2004) Análisis de las inundaciones en México: caso particular, la inundación del 2003 sobre el río Lerma en el estado de Michoacán. *Tlaloc-AMH*, 30:10-24
- GEG, Gobierno del Estado de Guanajuato. *Atlas del Agua del Estado de Guanajuato, Edición 2001* [en línea] Guanajuato, México [citado el 20 de mayo de 2009]. Disponible para World Wide Web: <http://seia.guanajuato.gob.mx/atlas/index.htm>.
- GEJ, Gobierno del Estado de Jalisco. *Sistema de Información Territorial Estatal de Jalisco* [en línea] Zapopan, Jalisco, México [citado el 20 de diciembre de 2008]. Disponible para World Wide Web: <http://iit.jalisco.gob.mx/>.
- GEM, Gobierno del Estado de México (2009). Atlas de Inundaciones XV. Edición 2009. Toluca, México. Gobierno del Estado de México – Secretaria del Agua y Obra Pública – Comisión del Agua del Estado de México. En C.D.
- GEMICHOACAN Gobierno del Estado de Michoacán (2008) *Atlas Estatal de Riesgo del Estado de Michoacán, 2008* [en línea] Morelia, Michoacán, México [citado el 20 de diciembre de 2008]. Disponible para World Wide Web: <http://pcivil.michoacan.gob.mx/index.php?menu=InfInst&opc=AtlasRiesgos>.
- GIEC Groupe D'Experts Intergubernamental sur les Changements Climatiques (2006), Bilan des changements climatiques: conséquences, adaptations et vulnérabilité. Contribution du Groupe de Travail II. Québec, Canadá.
- Herrerías, R. (1988) Modelos probabilísticos alternativos para el método PERT. Aplicación al análisis de inversiones. II Reunión Anual de ASEPELT-ESPAÑA, Universidad de Valladolid, Publicado en las Actas de Estudios de economía Aplicada, 89-112 pp, Servicio de publicaciones de la Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Hirabayasi, Y., Kanae, S. (2007) First estimate of the future global population at risk of flooding, *Hydrological Research Letters* 3: 6-9
- IFRC Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna (1999) Inundaciones en México Informe Especial. [Citado el 30 de junio de 2003]. Disponible para World Wide Web [www.guate.net/ifrc/boletinesinfo.htm](http://www.guate.net/ifrc/boletinesinfo.htm)
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2002a). XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000. INEGI. México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2002b). SCINCE Sistema para la consulta de Información Censal 2000 En CD. INEGI. México.

- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2003) Mapa de usos de suelo y vegetación. *In press*.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2007a). II Censo de Población y Vivienda del año 2005. INEGI. México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2007b). IRIS-SCINCE II Sistema para la consulta de Información Censal 2005. En CD. INEGI. México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2008) Anuario estadístico. Guanajuato. Tomo II. INEGI-Gobierno del Estado de Guanajuato. México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2009) ENIGH 2008 Nueva construcción. Ingresos y gastos de los hogares. INEGI. Gobierno de México [citado el 14 de febrero de 2009]. Disponible para World Wide Web: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).
- IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2001) Tercer informe del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático. [citado el 20 de mayo de 2008]. Disponible para World Wide Web: <http://www.ipcc.ch/>
- James, L.D., Lee, R.R. (1971) *Economics of Water Resources Planning*. McGraw-Hill. New York.
- Jonkman, S.N., Bockarjova, M., Kok, M., Bernardini, P. (2009) Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in The Netherlands. *Ecological Economics* Vol. 66, 2008, 77-90.
- Kates, R.W. (1965) *Industrial Flood Losses: Damage estimation in the Lehigh Valley*. University of Chicago, Department of Geography Research Paper No. 98 The University of Chicago Press, Chicago.
- Kobiyama, M., Fabris-Goerls, R. (2007) Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. *Hydrological Research Letters* 1, 11-14
- Lekuthai, A., Vongvisessomajai, S. (2001) Intangible flood damage quantification. *Water Resources Management* 15:343-362.
- Lopardo R.A., Seoane R. (2000) Algunas reflexiones sobre crecidas e inundaciones. *Ingeniería del Agua* 7(1)11-21
- López, S. (2002) Las crecidas torrenciales como factor de riesgo: propuesta metodológica de evaluación para la Ciudad de San Cristóbal, Venezuela. Memorias del I Seminario Taller Binacional sobre control y manejo de inundaciones. San Cristóbal (Edo Tachira, Venezuela) 8pp.
- Luino, F., Cirio, C.G., Biddoccu, M., Agangi, A., Giulieto, W., Godoque, F., Nigrelli, G. (2009) Application of a model to the evaluation of flood damage *Geoinformatica*. 13(3): 339-353.
- Llamas, J., Garrido, R., Cedraz, M., Peixoto, H. (2001) Informações matemáticas aplicadas à gestão de Recursos Hídricos, SRH/BA – SRH/MMA – UFBA, Salvador – Bahía Brasil. 139-184 pp.
- Maderey, L.E., Jiménez, A. (2001) Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, 45:24-38
- Matías-Ramírez, L-G., Oropeza-Orozco, O., Lugo Hubp. J. y Jáuregui Ostos, E. (2007) Análisis de las precipitaciones causa de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas*, 64: 7-25.
- McGuffie, K., Henderson-Sellers A.. (2005) *A Climate Modelling Primer*. 3th edition. John Wiley & Sons Chichester, England
- Medina, G.G., Ruiz C.J.A. Martínez, P.R.A. (1998) Los climas en México. INIFAP. Libro técnico No. 1.
- Milly, P. C. D., Wetherald, R. T., Dunne, K. A., Delworth, T. L. (2002) Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415, 514–517.
- Nascimento, N., Machado M.L., Baptista, M., De Paula E Silva, A. (2007) The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context. *Urban Water Journal*, 483: 195-210.
- Olsen, J.R., Beling, P.A., Lambert, J.H., Haimes, Y.C. (1998) Input-Output economic evaluation of system of levees. *Journal of Water Resources Planning and Management* 124(5)237-245

- ONU Organización de las Naciones Unidas (1999) Guatemala: el rostro del desarrollo humano Capítulo 7 Las implicaciones del Mitch para el desarrollo rural. Informe anual ONU. Guatemala.
- Palmer, T. N., Räisänen, J. (2002) Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature* 415, 512–514.
- Paoli, C. y Calvo, L.M. (1988) Determinación de daños y las relaciones hidrológicas en inundaciones urbanas. Caso de la Ciudad de Buenos Aires. XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México. 535-544
- Penning-Rowsell, E.C., Chatterton, J.B. (1977) The benefits of flood alleviation. A manual of assessment techniques. U.K. Belhaven Technical Press,
- Renyi, L., Nan, L. (2002) Flood area and damage estimation in Zhejiang, China. *Journal of Environmental Management*. 66: 1-8.
- Rodriguez, J., Vos, F., Bellow R., Guha-Sapir, D. (2009) Annual Disaster Statistical Review 2008 The numbers and trends. Melin. Belgium. CRED (Centre for Research of the Epidemiology of Disasters). Université Catholique de Lovaine. 33 pp.
- Santillán, O.D., Torregrosa, M.L., Ramírez, A.I., Dehays, J., Aparicio, J. (1998) Determinación de zonas de riesgo hidrológico, de acuerdo con el impacto social y la severidad de las inundaciones. Memorias del XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México. 425-433.
- Sarmiento, C. (2007) The impact of flood hazards on local employment. *Applied Economics Letters* 14:1123-1126
- SEMARNAP, INEGI, Instituto de Geografía (2000) Inventario Nacional Forestal 2000 – 2001. SEMARNAP, INEGI, Instituto de Geografía, México.
- USACE US Army Corps of Engineers (1998) Hec Ras User's manual. Versión 2.1. Hidrologic Engineering Center. USA.
- Vega, G. (1999) Evaluación del riesgo de inundación en la Cuenca Alta del Río Lerma: Caso de la Subcuenca del Río Tejalpa. Estado de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. México.

**Anexo B**  
**Metodología para la estimación del índice**  
**de marginación urbana**



## Metodología para la estimación del índice de marginación urbana

En este apartado se presenta la forma en que se construyó el índice de marginación urbana. En primer lugar, se especifican los criterios para la selección de las Áreas Geoestadísticas Básicas urbanas (AGEB) con las cuáles se estimó el índice. Luego, se describe la manera en que se construyó cada uno de los once indicadores que componen el índice. Por último, se dan a conocer los resultados principales de la estimación del índice, por medio de la técnica de componentes principales. En este último punto se enfatiza el hecho de que, dados los resultados de la aplicación de esta técnica, entre los que destacan la varianza explicada por la primera componente, el índice resultante representa una medida útil, sencilla y sintética que permite diferenciar las AGEB urbanas del país según el impacto global de las carencias que comprometen la calidad de vida de la población.

### Definición de las áreas geoestadísticas básicas incluidas en la estimación del índice de marginación urbana

De acuerdo con la definición del INEGI, el AGEB “constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional. Sus límites están dados

por detalles geográficos, de infraestructura permanente, o bien límites prediales identificables en el terreno”. Las AGEB pueden ser de dos tipos: rurales o urbanas. El AGEB urbana “es el área geográfica que se encuentra dentro de una localidad de 2 500 o más (incluye todas las cabeceras municipales aunque no alcancen esa población). Se integra por un conjunto de manzanas edificadas y perfectamente delimitadas por calles y avenidas. El uso del suelo es habitacional y/o industrial, comercial, recreativo o de otro uso no agropecuario ni forestal”.

Es precisamente con base en los indicadores censales referentes a las características de la población y de las viviendas a escala de las AGEB urbanas proporcionada por INEGI, que se construyó el índice de marginación urbana que se presenta en este documento. En el levantamiento del XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000 se definieron un total de 39 145 AGEB urbanas. No obstante, para fines de estimación del índice, se decidió excluir a las AGEB urbanas con menos de 100 habitantes. La razón para la exclusión de estas AGEB es que el reducido tamaño de la población que reside en ellas, así como del número de viviendas que las componen, compromete la precisión y confiabilidad de los indicadores seleccionados para la estimación del índice. Asimismo, se excluyeron otras 16 AGEB que presentaban información incompleta al menos en uno de los indicadores, lo que impedía la estimación del índice para las

mismas. Una vez excluidas las AGEB mencionadas, el número final de AGEB urbanas para las cuales se estimó el índice fue 34 061.

Otro elemento que se consideró en la estimación del índice fue hasta qué punto ciertas AGEB urbanas, y en particular aquellas ubicadas en localidades con menos de 15 000 habitantes, deberían ser incluidas en el ejercicio. En realidad, muchas de estas AGEB pertenecen a localidades donde todavía predominan las actividades económicas primarias o que podrían ser consideradas “en transición” a la vida urbana, por lo que es probable que sus características sociales y demográficas reflejen la marginación de las áreas rurales y no las condiciones de vida de las áreas urbanas. Por otro lado, la exclusión de estas AGEB le restaría utilidad al índice como instrumento para la planeación de programas sociales y políticas públicas, pues en ellas reside un número considerable de la población en AGEB urbanas (12.17 millones de personas, o 16.5% de la población nacional en AGEB urbanas), además de que concentran a la población con más alta marginación dentro del universo de las AGEB urbanas. En atención a estas dos circunstancias, se tomaron las siguientes decisiones:

- a) En primer lugar, se estableció una distinción entre las AGEB urbanas ubicadas en localidades o conurbaciones con 15 000 habitantes o más, que se denominan como “consolidadas”,<sup>8</sup> y las AGEB urbanas integradas a localidades de 2 500 a menos de 15 000 habitantes, que se denominan “mixtas”.
- b) En segundo lugar, se decidió incluir a todas las AGEB urbanas, tanto mixtas como consolidadas, en la estimación del índice por medio de la técnica de componentes principales, con la excepción, ya señalada de las AGEB urbanas con menos de 100 habitantes o con información incompleta.

- c) Por último, debido a que el objetivo principal del índice es establecer criterios de marginación a escala urbana, se decidió que una vez estimado el índice se determinarían los diferentes grados, atendiendo exclusivamente a la distribución del índice en las AGEB consolidadas.

En este sentido, los grados de marginación urbana se ajustan al estándar aplicado a las localidades y conurbaciones con 15 000 habitantes o más, aunque se cuenta con valores tanto del índice, como del grado de marginación para todas las AGEB urbanas del país con cien o más habitantes.

## Cálculo de los indicadores del índice de marginación urbana

Como se señaló, para la estimación del índice de marginación urbana se consideró como fuente de información el censo de población de 2000, debido a que cuenta con la cobertura, grado de desagregación y actualidad de los datos necesarios para la construcción del índice a escala de las AGEB urbanas.

En el primer capítulo se describieron los indicadores seleccionados para la construcción del índice. A continuación se especifica el procedimiento que se siguió para la obtención de cada uno de estos indicadores.

1. Porcentaje de población sin derechohabiencia a los servicios de salud ( $I_{1i}$ )

<sup>8</sup> Las AGEB urbanas que forman parte de una conurbación de 15 000 habitantes o más son consideradas como “consolidadas”, aún cuando algunas de estas AGEB pertenezcan a localidades censales con una población menor.

El cálculo de este indicador consistió en dividir la población sin derechohabencia a los servicios de salud entre la población total del AGEB  $i$ -ésima:

$$I_{i1} = \frac{P_i^{\text{sin } d}}{P_i^{\text{total}}} * 100$$

donde:

$P_i^{\text{sin } d}$ : es la población sin derechohabencia a los servicios de salud en el AGEB  $i$ , y

$P_i^{\text{total}}$ : es la población total en el AGEB  $i$ .

2. Porcentaje de hijos fallecidos para las mujeres entre 15 y 49 años de edad ( $I_{i2}$ )

Este indicador se obtiene al dividir el número de hijos fallecidos de las mujeres entre 15 y 49 años de edad entre el número total de hijos de las mujeres en este mismo grupo:

$$I_{i2} = \frac{H_i^f}{H_i^{nv}} * 100$$

donde:

$H_i^f$ : es el número de hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años en el AGEB  $i$ , y

$H_i^{nv}$ : es el número de hijos nacidos vivos de las mujeres de 15 a 49 años en el AGEB  $i$ .

3. Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela ( $I_{i3}$ )

Para obtener este indicador, se obtuvo en primer lugar el porcentaje de la población de 6 a 14 años que asiste a la escuela, y después se usó el complemento para obtener el porcentaje de no asistentes:

$$I_{i3} = 100 - \left[ \frac{P_i^{6-14a}}{P_i^{6-14t}} * 100 \right]$$

donde:

$P_i^{6-14a}$ : es la población de 6 a 14 años de edad que asiste a la escuela, y

$P_i^{6-14t}$ : es la población total de 6 a 14 años de edad.

4. Porcentaje de la población de 15 años y más sin instrucción postprimaria ( $I_{i4}$ )

El cálculo de este indicador se realizó al dividir la población de 15 años y más sin instrucción postprimaria entre la población total de 15 años y más:

$$I_{i4} = \frac{P_i^{15-s}}{P_i^{15-t}} * 100$$

donde:

$P_i^{15-s}$ : es la población de 15 años y más sin educación postprimaria, y

$P_i^{15-t}$ : es la población total de 15 años y más.

5. Porcentaje de viviendas particulares sin drenaje ( $I_{i5}$ )

A diferencia de los indicadores anteriores, que se refieren a la población residente en las AGEB, los indicadores de vivienda se refieren al universo de viviendas que integran el AGEB. Este indicador se obtuvo al dividir el número de viviendas particulares habitadas sin drenaje entre el número total de viviendas particulares habitadas:

$$I_{i5} = \frac{V_i^{sd}}{V_i^t} * 100$$

donde:

$V_i^{sd}$ : es el número de viviendas particulares habitadas sin drenaje, y

$V_i^t$ : es el número total de viviendas particulares habitadas.

6. Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda ( $I_{i6}$ )

El cálculo de este indicador consistió en dividir el número de viviendas con agua entubada dentro de la vivienda entre el número total de viviendas, y después obtener el complemento de este cociente:

$$I_{i6} = 100 - \left[ \frac{V_i^{ca}}{V_i^t} * 100 \right]$$

donde:

$V_i^{ca}$ : es el número de viviendas particulares habitadas con agua entubada, y

$V_i^t$ : es el número total de viviendas particulares habitadas.

7. Porcentaje de viviendas particulares con techos de materiales ligeros, naturales o precarios ( $I_{i7}$ )

Para obtener este indicador, se dividió el número de viviendas particulares habitadas con techos de materiales ligeros, naturales o precarios entre el número total de viviendas habitadas:

$$I_{i7} = \frac{V_i^{lp}}{V_i^t} * 100$$

donde:

$V_i^{lp}$ : es el número de viviendas particulares habitadas con techos de materiales ligeros, naturales, o precarios, y

$V_i^t$ : es el número total de viviendas particulares habitadas.

8. Porcentaje de viviendas sin refrigerador ( $I_{i8}$ )

Para construir este indicador, en primer lugar se obtuvo el porcentaje de viviendas particulares habitadas con refrigerador, y después se obtuvo el complemento de este cociente:

$$I_{i8} = 100 - \left[ \frac{V_i^{cr}}{V_i^t} * 100 \right]$$

donde:

$V_i^{cr}$ : es el número de viviendas particulares habitadas con refrigerador, y

$V_i^t$ : es el número total de viviendas particulares habitadas.

9. Porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento ( $I_{i9}$ )

Este indicador se obtuvo al dividir el número de viviendas particulares habitadas con 3 o más residentes por cuarto (sin considerar la cocina exclusiva), entre el número total de viviendas particulares habitadas:

$$I_{i9} = \frac{V_i^{mp}}{V_i^t} * 100$$

$V_i^{mp}$ : es el número de viviendas particulares habitadas con tres o más residentes por cuarto (sin incluir la cocina exclusiva), y

$V_i^t$ : es el número total de viviendas particulares habitadas.

10. Porcentaje de la población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos ( $I_{i10}$ )

Este indicador es un cociente que considera en el numerador la suma de la población ocupada que no recibe ingresos más aquellos que perciben hasta dos salarios mínimos y en el denominador el total de la población ocupada:

$$I_{i10} = \frac{P_i^{1sm \leq 2}}{P_i^o} * 100$$

donde:

$P_i^{1sm \leq 2}$ : es la población ocupada que no recibe ingresos por trabajo o que sólo percibe hasta dos salarios mínimos, y

$P_i^o$ : representa el total de la población ocupada.

11. Porcentaje de mujeres entre 12 y 17 años de edad que han tenido al menos un hijo nacido vivo ( $I_{i11}$ )

Para el cálculo de este indicador, se dividió el número de mujeres entre 12 y 17 años de edad que han tenido al menos un hijo nacido vivo entre el número total de mujeres entre 12 y 17 años de edad:

$$I_{i11} = \frac{P_{f12-17i}^{hmv}}{P_{f12-17i}} * 100$$

donde:

$P_{f12-17i}^{hmv}$ : es la población femenina entre 12 y 17 años de edad con al menos un hijo nacido vivo, y

$P_{f12-17i}$ : es la población total femenina entre 12 y 17 años de edad.

## Construcción del índice de marginación urbana

Una vez que fueron calculados los once indicadores socioeconómicos correspondientes a las cinco dimensiones del rezago social consideradas, se procedió a construir una medida resumen que sintetizara esta información. Idealmente, esta medida resumen tendría que cumplir con los siguientes tres requisitos:

- reducir a una sola dimensión la mayor cantidad posible de información de los once indicadores originales,

- b) permitir el ordenamiento de las AGEB urbanas de acuerdo con su nivel de marginación, y
- c) estar basado en una metodología sólida y reconocida por los potenciales usuarios del índice.

La técnica que cumplía plenamente con los tres requisitos es el Análisis de Componentes Principales. Este es un método estadístico que permite simplificar la información proporcionada por un número determinado de variables en un número menor de variables o “componentes”. Naturalmente, para que el método opere como una herramienta útil de simplificación, se requiere que las variables originales presenten cierto nivel de correlación entre ellas, lo cual es evidente en el caso de los indicadores utilizados en este estudio. En esta sección se exponen de manera concisa los conceptos básicos y el desarrollo del método utilizado. Posteriormente se presentan los resultados principales.

Antes de explicar el método, es necesario advertir que para el cálculo de los componentes principales se puede utilizar la matriz de covarianzas o la matriz de correlaciones. La primera se emplea cuando las variables originales tienen aproximadamente la misma varianza, de forma que el cálculo de las componentes se hace en términos de las variables originales. La segunda se emplea cuando las escalas de medición de las variables difieren o sus varianzas son notablemente distintas. En este último caso, las componentes principales se obtienen de las variables originales una vez estandarizadas. Esta segunda opción es la que se siguió para obtener los índices de marginación urbana.

La estandarización de los indicadores se realizó de la siguiente manera:

$$Z_{ij} = \frac{I_{ij} - \bar{I}_j}{ds_j}, \quad (1)$$

donde:

$Z_{ij}$ : es el indicador estandarizado  $j$  ( $j = 1, \dots, 11$ ), de la unidad de observación  $i$  ( $i = 1, \dots, 34061$ , que es el número de AGEB urbanas).

$I_{ij}$ : es el indicador  $j$ , de la unidad de análisis  $i$ ,

$\bar{I}_j$ : es el promedio aritmético de los valores del indicador  $j$ , y

$ds_j$ : es la desviación estándar insesgada del indicador socioeconómico  $j$ .

Si se denotan las nuevas variables estandarizadas como vectores de 34 061 entradas,  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}$  y  $Z_{11}$ , la técnica de componentes principales consiste en transformar el espacio de los vectores  $Z$  en uno nuevo, es decir, encontrar  $Y_k$  ( $k = 1, \dots, m$ ; con  $m \leq 11$ ), tales que sean combinaciones lineales de las variables estandarizadas:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a_{11}Z_1 + a_{12}Z_2 + \dots + a_{1,11}Z_{11} \\ Y_2 &= a_{21}Z_1 + a_{22}Z_2 + \dots + a_{2,11}Z_{11} \\ &\dots \\ Y_{11} &= a_{111}Z_1 + a_{112}Z_2 + \dots + a_{11,11}Z_{11} \end{aligned} \quad (2)$$

En términos matriciales este sistema se puede expresar como:

$$Y = ZA$$

En este caso  $Y$  es una matriz de  $n = 34\ 061$  renglones y 11 columnas y representa las nuevas variables transformadas, las cuales se conocen como componentes principales;  $Z$  es la matriz de datos estandarizados ( $n \times 11$ ), y  $A$  la matriz de coeficientes que transforman el espacio defini-

do por los valores  $\mathbf{Z}$  en uno ortonormal, el de los componentes principales.

Adicionalmente las nuevas variables  $\mathbf{Y}_k$  deben:

- 1) No estar correlacionadas, es decir:  $\text{cov}(\mathbf{Y}_r, \mathbf{Y}_k) = 0$ , para  $r \neq k$ ;
- 2) Se ordenan de tal manera que  $\mathbf{Y}_1$  tenga la mayor varianza;  $\mathbf{Y}_2$  deberá reflejar la mayor varianza restante; y así sucesivamente:

$$\text{Var}(\mathbf{Y}_1) \geq \text{Var}(\mathbf{Y}_2) \geq \dots \geq \text{Var}(\mathbf{Y}_m)$$

- 3) Se eligen los coeficientes de tal manera que cada vector  $\mathbf{a}_k$  esté normalizado:

$$\|\mathbf{a}_k\| = 1 = \sum_{i=1}^{11} a_{ik}^2 = \mathbf{a}_k' \mathbf{a}_k$$

Ahora bien, para encontrar cada componente principal es necesario resolver cada una de las ecuaciones citadas en el sistema (2), lo que equivale a encontrar los valores propios, y los vectores asociados a los mismos, a partir de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{V}\mathbf{a}_k = \mathbf{I}_k \mathbf{a}_k; \text{ o de forma análoga:}$$

$$\mathbf{V}\mathbf{a}_k - \mathbf{I}_k \mathbf{a}_k = (\mathbf{V} - \mathbf{I}_k \mathbf{I}) \mathbf{a}_k = 0$$

Donde  $\mathbf{V}$  es la matriz de covarianzas de los datos estandarizados ( $z_{ij}$ );  $\mathbf{I}$  es la matriz identidad;  $\mathbf{I}_k$  es uno de los valores propios asociados a la matriz  $\mathbf{V}$ ; y  $\mathbf{a}_k$  es el vector propio asociado a  $\mathbf{I}_k$ .<sup>9</sup> Pueden existir hasta once valores de  $\mathbf{I}_k$  que satisfacen tal ecuación; estos diferentes valores

se pueden ordenar de tal manera que:  $\mathbf{I}_1 \geq \mathbf{I}_2 \geq \dots \geq \mathbf{I}_{11}$ . Para determinar de manera unívoca los vectores de coeficientes (o vectores propios)  $\mathbf{a}_k$  asociados a cada valor propio  $\mathbf{I}_k$  se deben imponer condiciones de ortonormalidad a estos vectores, es decir:

$$\text{i) } \mathbf{a}_k' \mathbf{a}_r = \sum_{i=1}^{11} a_{ik} a_{ir} = 1, \text{ si } k = r; \text{ y}$$

$$\text{ii) } \mathbf{a}_k' \mathbf{a}_r = \sum_{i=1}^{11} a_{ik} a_{ir} = 0, \text{ si } k \neq r, \text{ para todo } k, r = 1, 2, \dots, 11.$$

Al resolver el sistema con las restricciones impuestas se encuentran los vectores  $\mathbf{Y}_k$  (o componentes principales), los cuales tienen las siguientes propiedades:

$$\text{a) } E(\mathbf{Y}_k) = 0$$

$$\text{b) } \text{Var}(\mathbf{Y}_k) = \mathbf{I}_k$$

$$\text{c) } \text{Cov}(\mathbf{Y}_k, \mathbf{Y}_r) = 0 \text{ para } k \neq r$$

$$\text{d) } \text{Var}(\mathbf{Y}_1) \geq \text{Var}(\mathbf{Y}_2) \geq \dots \geq \text{Var}(\mathbf{Y}_{11}) \geq 0$$

e) La varianza total es:<sup>10</sup>

$$\text{Traza}(\mathbf{V}) = \sum_{k=1}^{11} \text{Var}(\mathbf{Y}_k) = \sum_{k=1}^{11} \mathbf{I}_k = 11$$

Este planteamiento se puede resolver al utilizar alguno de los paquetes estadísticos disponibles en el mercado. En este caso se utilizó el paquete STATA versión 6. Como parte de los resultados, este programa proporciona los componentes principales estandarizados, con me-

<sup>9</sup> Estimar estos valores a partir de la matriz de covarianzas de datos estandarizados es equivalente a estimarlos desde la matriz de correlaciones de los valores originales.

<sup>10</sup> La traza de una matriz cuadrada, de  $m$  renglones por  $m$  columnas, es la suma de los elementos de la diagonal principal.

dia cero y desviación estándar uno. Para ello, se estiman nuevamente los coeficientes de ponderación:

$$C_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{I_i}}$$

De esta manera, el índice de marginación urbana corresponde a la primera componente estandarizada de la aplicación del método de componentes principales, la cual es una combinación lineal de las once variables originales estandarizadas, esto es:

$$Y_{i1} = \sum_{j=1}^{11} c_j Z_{ij} = c_1 Z_{i1} + c_2 Z_{i2} + \dots + c_{11} Z_{i11} = IMU_i$$

donde:

$Y_{i1}$ : es el valor en el AGEB urbano  $i$ , de la primera componente principal estandarizada,

$c_j$ : es el ponderador del indicador  $j$  para determinar la primera componente principal estandarizada,

$Z_{ij}$ : es el indicador estandarizado  $j$  del AGEB urbano  $i$  y, finalmente,

$IMU_i$ : es el valor del índice de marginación del AGEB urbano  $i$ .

Las estadísticas iniciales del análisis de componentes principales se presentan en el cuadro B.1. Este cuadro presenta la varianza atribuible a cada componente en la columna de valor propio y su importancia relativa en el porcentaje de varianza explicada.

Al aplicar el modelo de análisis factorial, un criterio para determinar el número de componentes es considerar el porcentaje de varianza

**Cuadro B.1. Estadísticas principales del análisis de componentes principales**

Componente	Valor propio	% de varianza explicada	% acumulado
1	6.748	61.3	61.3
2	1.011	9.2	70.5
3	0.764	7.0	77.5
4	0.542	4.9	82.4
5	0.488	4.4	86.8
6	0.462	4.2	91.0
7	0.295	2.7	93.7
8	0.218	2.0	95.7
9	0.183	1.7	97.4
10	0.180	1.6	99.0
11	0.111	1.0	100.0

Fuente: estimaciones de CONAPO con base en el XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.

explicada por cada componente. En este caso se extrajo solamente un componente, pues este explica el 61.3 por ciento del total de la varianza. En el cuadro B.2 se muestran los coeficientes de correlación de cada uno de los indicadores con la componente uno, a la que de aquí en adelante denominamos índice de marginación urbana. Puede notarse que todos los indicadores muestran un alto coeficiente de correlación con el índice. En nueve de los once componentes, el coeficiente de correlación supera el valor de 0.70. Los dos indicadores que muestran menor correlación con el índice de

marginación urbana son el porcentaje de mujeres entre 12 y 17 años de edad que han tenido al menos un hijo nacido vivo (0.29), y el porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (0.68).

Por último, el cuadro B.3 muestra los coeficientes derivados del análisis factorial para la construcción del índice de marginación urbana. Con estos coeficientes se obtiene el índice de marginación urbana, al sustituirlos en la siguiente ecuación:

**Cuadro B.2. Coeficientes de correlación entre el índice de marginación urbana y los once indicadores utilizados en su construcción**

Dimensiones	Indicadores	Coeficiente
Salud	Porcentaje de población sin derechohabencia a los servicios de salud (a)	0.8173
	Porcentaje de hijos fallecidos para las mujeres entre 15 y 49 años de edad (b)	0.7204
Educación	Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (c)	0.6816
	Porcentaje de la población de 15 años y más sin instrucción postprimaria (d)	0.9028
Vivienda	Porcentaje de viviendas particulares sin drenaje (e)	0.7709
	Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda (f)	0.8517
	Porcentaje de viviendas particulares con techos de materiales ligeros, naturales o precarios (g)	0.7291
	Porcentaje de viviendas sin refrigerador (h)	0.9065
	Porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento (i)	0.8825
Ingresos	Porcentaje de la población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos (j)	0.8624
Género	Porcentaje de mujeres entre 12 y 17 años de edad que han tenido al menos un hijo nacido vivo (k)	0.2929

Fuente: estimaciones de CONAPO con base en el XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.

$$IMU_j = \sum C_i Z_{ij}$$

donde:

$IMU_j$ : es el índice de marginación urbana para el AGEB  $j$ ,

$C_i$ : es el valor del coeficiente para el indicador  $i$ , y

$Z_{ij}$ : es el valor del estandarizado del indicador  $i$  para el AGEB  $j$ , de acuerdo con el método de estandarización explicado en la ecuación (1).

**Cuadro B.3. Coeficientes del índice de marginación urbana**

Dimensiones	Indicadores	Coeficiente
Salud	Porcentaje de población sin derechohabencia a los servicios de salud (a)	0.3146
	Porcentaje de hijos fallecidos para las mujeres entre 15 y 49 años de edad (b)	0.2773
Educación	Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (c)	0.2624
	Porcentaje de la población de 15 años y más sin instrucción postprimaria (d)	0.3475
Vivienda	Porcentaje de viviendas particulares sin drenaje (e)	0.2968
	Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda (f)	0.3279
	Porcentaje de viviendas particulares con techos de materiales ligeros, naturales o precarios (g)	0.2807
	Porcentaje de viviendas sin refrigerador (h)	0.3490
	Porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento (i)	0.3397
Ingresos	Porcentaje de la población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos (j)	0.3320
Género	Porcentaje de mujeres entre 12 y 17 años de edad que han tenido al menos un hijo nacido vivo (k)	0.1127

Fuente: estimaciones de CONAPO con base en el XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.

## Obtención del grado de marginación urbana

Una vez estimado el índice de marginación urbana, se procedió a obtener el grado de marginación urbana. Para ello, se utilizó, al igual que con los varios índices de marginación a nivel estatal y municipal producidos por CONAPO a partir de 1990, la técnica de estratificación óptima desarrollada por Dalenius y Hodges. Tal como se explicó en la primera sección de este capítulo, el objetivo principal del índice es cuantificar los niveles de rezago en las áreas urbanas, por lo que se procedió a establecer los puntos de corte que a la postre definirían los niveles de marginación sólo con base en las AGEB “consolidadas”, esto es, aquellas AGEB urbanas integradas a localidades o conurbaciones con 15 mil habitantes o más.

La aplicación de este método estadístico llevó a dividir el recorrido del índice de rezago social urbano [-4.87911,11.01510] en cinco

subintervalos, mediante cuatro puntos de corte: -3.38267, -1.89282, -0.40290 y 1.08686. De esta manera, un AGEB urbano tendrá muy bajo, bajo, medio, alto, o muy alto grado de marginación, según el intervalo en que se ubique el valor de su índice, de acuerdo con los datos del Cuadro B.4. Así, luego de la aplicación de la técnica de estratificación, 13.0 por ciento de las AGEB consolidadas conforman el grupo de muy baja marginación; 24.3 por ciento el de bajo; 24.6 por ciento el de medio; 19.5 por ciento el de alto, y 18.6 por ciento el de muy alto. En contraste, sólo 0.5 por ciento de las AGEB mixtas se encuentran en el grupo de muy baja marginación, mientras que 61.9 por ciento se ubican en el grupo de muy alta marginación. En este sentido, los resultados del índice revelan claramente que si se establecen como parámetros las características sociodemográficas observadas en las localidades y conurbaciones con 15 mil habitantes o más, la mayoría de las AGEB urbanas en localidades más pequeñas se encuentran en una situación de alta y muy alta marginación.

**Cuadro B.4. Estratificación del índice de marginación urbana, 2000**

Grado de marginación	Límites de intervalo	AGEB consolidadas		AGEB mixtas		Total	
		AGEB consolidadas	%	AGEB mixtas	%	Total	%
Muy bajo	[-4.87911 , -3.38267]	3 089	13.0	50	0.5	3 139	9.2
Bajo	(-3.38267 , -1.89282]	5 785	24.3	233	2.3	6 018	17.7
Medio	(-1.89282 , -0.40298]	5 855	24.6	1 243	12.1	7 098	20.8
Alto	(-0.40298 , 1.08686]	4 628	19.5	2 387	23.2	7 015	20.6
Muy alto	(1.08686 , 11.01510]	4 427	18.6	6 364	61.9	10 791	31.7
Totales		23 784	100.0	10 277	100.0	34 061	100.0

Fuente: estimaciones de CONAPO con base en el XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.

