



Universidad Autónoma del Estado de México

Metodología

**para la valoración económica
de daños potenciales tangibles
directos por inundación**



**José Emilio Baró Suárez • Carlos Díaz Delgado • Georgina
Calderón Aragón • María Vicenta Esteller Alberich • Edel
Cadena Vargas • Roberto Franco Plata**

METODOLOGÍA
PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA
DE DAÑOS POTENCIALES TANGIBLES
DIRECTOS POR INUNDACIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Dr. en C. Eduardo Gasca Pliego
Rector

M.A.S.S. Felipe González Solano
Secretario de Docencia

Dr. Sergio Franco Maass
Secretario de Investigación y Estudios Avanzados

Dr. en C. Pol. Manuel Hernández Luna
Secretario de Rectoría

M. en A. E. Georgina María Arredondo Ayala
Secretaria de Difusión Cultural

M. en A. Ed. Yolanda E. Ballesteros Senties
Secretaria de Extensión y Vinculación

Dr. en C. Jaime Nicolás Jaramillo Paniagua
Secretario de Administración

Dr. en Ing. Roberto Franco Plata
Secretario de Planeación y Desarrollo Institucional

Dr. en D. Hiram Raúl Piña Libien
Abogado General

Lic. en Com. Juan Portilla Estrada
Director General de Comunicación Universitaria

C.P. Ignacio Gutiérrez Padilla
Contralor Universitario

METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE DAÑOS POTENCIALES TANGIBLES DIRECTOS POR INUNDACIÓN

José Emilio Baró Suárez
Carlos Díaz Delgado
Georgina Calderón Aragón
María Vicenta Esteller Alberich
Edel Cadena Vargas
Roberto Franco Plata
(Autores)



“2012, Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos”
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

*Este libro fue positivamente dictaminado conforme a
los lineamientos del Consejo General Editorial
vigentes a partir de 2002*

1ª edición 2012

© José Emilio Baró Suárez
© Carlos Díaz Delgado
© Georgina Calderón Aragón
© María Vicenta Esteller Alberich
© Edel Cadena Vargas
© Roberto Franco Plata
(Autores)

*Metodología para la valoración económica
de daños potenciales tangibles directos por inundación*

© Derechos reservados
Universidad Autónoma del Estado de México
Av. Instituto Literario 100 Ote.
Toluca, Estado de México
C. P. 50000, México
<http://www.uaemex.mx/>

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra
–incluyendo el diseño tipográfico y de portada– sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico,
sin el consentimiento por escrito de la Universidad Autónoma del Estado de México

ISBN: 978-607-422-369-9

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

INTRODUCCIÓN

Los eventos climáticos extremos representan hoy en día un problema de gran magnitud en el mundo. En efecto, las estadísticas donde se relacionan eventos climáticos con las pérdidas humanas y económicas son alarmantes (EM-DAT, 2009). Sin embargo, es importante distinguir que parte de este aumento de pérdidas relacionado con el incremento del número de eventos extremos, se debe al aumento de la vulnerabilidad social 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?, ¿de eventos donde las consecuencias son extremas en los planos financiero y humano? o ¿de eventos extremos sobre el plano de la intensidad o de la distribución espacial?

Las inundaciones frecuentemente se producen en zonas llanas, donde suelen existir importantes asentamientos humanos en 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 2008 los fenómenos hidrológicos afectaron a nivel mundial a 44.9 millones de personas, con 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 los cuales, cuatro o cinco suelen penetrar y causar graves daños:

- Tehuantepec, en octubre de 1999.
- Tabasco en 2007
- Tabasco y Chihuahua en 2008

Estos análisis económicos de daños resultan de gran importancia en la administración de riesgos, por ejemplo para aseguradoras, que pueden categorizar las zonas de mayor susceptibilidad y con ello establecer el monto de las primas; 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.

Las principales hipótesis del presente trabajo son:

- 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, particularmente para México;
- Es posible contribuir de forma original en el diseño de la nueva metodología de estimación considerando al fenómeno “costo de inundación” como variable aleatoria que presenta dos límites y modelándole probabilísticamente con una función de distribución tipo beta; y
- 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.

El objetivo general es 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:

- 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.
- Validar la metodología propuesta en un estudio de caso a través de:
 - La construcción de base de datos con información disponible sobre las características físicas, hidrológicas y socioeconómicas de las áreas inundables de la zona de estudio.
 - La evaluación de las condiciones socioeconómicas de las áreas inundables.
 - La definición de pasos para elaborar y evaluar 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 justificación es con base en la revisión de literatura llevada a cabo para el sustento del desarrollo de este trabajo de investigación, en el marco del cual se considera el cumplimiento del objetivo que 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.

Los autores agradecen el apoyo brindado por Semarnat-Conacyt para la realización de esta investigación (Proyecto: La valoración económica de la vulnerabilidad socioeconómica y demográfica ante inundaciones en la República Mexicana, Claves: Conacyt 23478; UAEMEX 2753/2009C), así como por la beca de estudios de posgrado con la cual ha sido beneficiado el doctor José Emilio Baró Suárez.

2. ESTADO DEL ARTE

INUNDACIONES

Sobre el término inundación se pueden encontrar diversas definiciones (Kobiyama y Fabris-Goerl, 2007). Sin embargo, generalmente se indica que una inundación se produce cuando alguna zona terrestre queda momentáneamente cubierta por agua. Ello se debe, 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 aquella ligada a un río o cauce, señala que es el 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 duración de días, semanas o meses, siendo un fenómeno que se produce en zonas planas aluviales (López, 2002).

Las inundaciones se han producido a lo largo de la historia del hombre, pero se puede comprobar que la probabilidad de que acontezca se ha incrementado en las últimas décadas, debido fundamentalmente a la combinación de los siguientes factores (López, 2002):

- El acelerado crecimiento de la población, caracterizado por una concentración demográfica urbana que se ubica en terrenos inundables.
- El mal manejo de las cuencas altas de los ríos, manifestada con deforestación, 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.

- Los eventos de lluvias extremas, que 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).

Este fenómeno 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 el tiempo comprendido entre diciembre y marzo; 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 periodo 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).

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 concentra 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 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. Éstas 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 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 ha manifestado con mayor frecuencia el tipo de inundación de penetración marina en zonas costeras, asociado 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 define un índice cuantitativo para diferenciar una inundación (*flood*) de una inundación repentina (*flash flood*). Estos autores revisan las diversas definiciones y comprueban que cuando se aborda la definición de inundación, una consideración común es que cubre un área seca, denominada llanura de inundación, y que ésta 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 anticipación. Los daños que

provoca son muy elevados ya que la superficie inundada abarca una gran extensión. Por otro lado, ya que existe cierto tiempo para tomar medidas de previsión, las pérdidas humanas son mínimas en comparación con las inundaciones repentinas.

Cuando se define una inundación repentina éstas se presentan de forma inesperada y violenta y las áreas afectadas suelen ser poco extensas produciendo graves daños tanto en bienes materiales como no materiales. Éstos ocurren en las inmediaciones de los ríos, y aunque los daños totales no son muy elevados, a nivel individual, a estructuras o personas pueden ser considerables debido a la alta velocidad del agua. En varias de las definiciones se indica el tiempo que transcurre entre el momento de la precipitación y en el que se produce la inundación. Este tiempo se define, en algunos casos, de 6 y en otros de 12 horas.

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

$$OEI = \frac{T_c}{T_o}$$

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 hacerlo. Con este índice se diferencia una inundación de otra repentina como desastre y no como fenómeno natural.

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; señalan que los desastres debidos a inundaciones suponen, aproximadamente, un tercio de todas las catástrofes naturales que se

producen alrededor del mundo en cuanto a pérdidas económicas, y son la causa de al menos más de la mitad de las víctimas fatales. En el periodo 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 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 aprecia que en el período 1980 – 1999 las inundaciones y deslizamientos se encuentran en primer lugar.

La tabla 2.2 muestra los desastres naturales y sus impactos a nivel mundial para 2008 comparando con valores promedio para el período 2000–2007; se hace especial referencia a los daños económicos causados por dichos desastres (Rodríguez *et al.*, 2009), asimismo, se puede advertir 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		
	Eventos	Muertes	Afectados	Eventos	Muertes	Afectados
Inundaciones y deslizamientos	699	67,330	543,376	939	103,150	1,429,177
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
Total	2,242	802,980	1,454,627	2,744	793,001	1,960,863

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

Tabla 2.2
Desastres naturales y sus impactos a nivel mundial para 2008
y valores promedio para el periodo 2000 - 2007

Eventos naturales	2008	2000-2007	2008	2000-2007	2008	2000-2007
	Eventos		Afectados (millones)		Daños (miles de millones de US\$)	
Inundaciones y deslizamientos	178	196	44.9	105.9	19.5	19.9
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
Total	354	397	214.3	231.2	190.3	91.6

(*) Sequías, temperaturas extremas e incendios forestales

Existen 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 por año; en el futuro, en años de escasas inundaciones, 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.

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 como han sido las tradicionalmente utilizadas, y, por ello, mucho más conocidas, a continuación se hace una simple enumeración (Estrela, 1996):

- 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.
- 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.
- Medidas que reducen la duración de la inundación:
 - Obras de drenaje.

- 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 responden a las inundaciones basándose en mecanismos de prevención como 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).

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 mínimos, 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 resulta 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 suelen ser 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.

DAÑOS ECONÓMICOS POR INUNDACIONES

Una herramienta importante para la correcta formulación de lo planteado anteriormente lo constituye el análisis de los daños económicos potenciales causados por las inundaciones, lo cual establece 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; éstos 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:

- 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 propiedades, determinación del nivel de riesgo de recuperación, y eventualmente de las tasas de interés (hipotecas).

TIPOLOGÍA DE LOS DAÑOS

En el análisis de 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. Respecto a 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, pérdidas derivadas de la interrupción de servicios, los daños

en negocios, salarios, costos de limpieza después de la inundación, etc. También suelen incluir los incrementos de costes en tareas de previsión y alarma, evacuaciones y alojamientos temporales en zonas libres de peligro.

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

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 pérdidas altamente variables de unos años a otros y que, en ocasiones, pueden alcanzar proporciones catastróficas.

Otra clasificación de daños es la que presentan James y Lee (1971), quienes señalan que los *daños tangibles* pueden ser medidos con base en un valor monetario, mientras que los *daños intangibles* no; los primeros pueden ser divididos en dos subtipos: *daños directos*, producidos por contacto con el agua o sumersión, y *daños indirectos* que son causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas e incluyen, por ejemplo, la interrupción del transporte carretero, de servicios públicos, pérdidas en salarios y beneficios en los negocios, así como otras consecuencias 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 ejemplos de cada uno de éstos, tal y como se detalla en la siguiente tabla.

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

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

Asimismo, señalan que las diferencias entre daños tangibles e intangibles se relacionan con la dificultad de asignar los valores monetarios. Como ejemplo, los daños físicos causados por una inundación en cualquier construcción pueden ser estimados al evaluar el 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 primeros 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, costos de servicios de emergencia y de protección civil, aumento de costos de seguro, desempleo y reducción de salarios, entre otros.

Un ejemplo de la evaluación de los daños indirectos es el que presenta Sarmiento (2007), quien 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 3.4% (en promedio) y que este descenso no persiste más de un año; aunque se concentre la pérdida 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 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 producir incremento de la actividad económica en áreas no afectadas y 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).

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 primeros 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; perjudican la biodiversidad, nichos ecológicos, suelos y agua. Los impactos indirectos aparecen cuando los directos desaparecen y suelen provocar daños más severos; se pueden clasificar de la siguiente forma:

- 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.
- Pérdida de la capacidad y productividad de los ecosistemas naturales, especialmente de la producción forestal, hídrica, energética, medicinal y alimenticia.
- Limitación de la capacidad productiva agrícola de los suelos como consecuencia del aumento de la erosión y contaminación de los mismos por arrastres de residuos.
- 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.
- Desplazamiento de enfermedades y 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.
- Alteración de los hábitats de desarrollo de la biodiversidad.

- Degradación de las cuencas hidrográficas por destrucción de la cubierta vegetal, erosión de los suelos, cárcavas y azolvamiento, lo cual incrementa el desequilibrio provocado por actividades antropogénicas.

CATEGORÍA DE LOS DAÑOS

La observación 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 aquéllos.

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.

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: reduciendo la inundación o bien disminuyendo la propia susceptibilidad de los daños. Las medidas dirigidas a reducir la inundación pueden afectar las condiciones hidrológicas, hidráulicas y económicas de la zona, mientras que aquellas 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):

- *Análisis hidrológico de frecuencias.* Permite el pronóstico de caudales, eventos extremos y simulación de escorrentía, mediante el uso de modelos hidrológicos. También se pueden emplear registros históricos para establecer el intervalo de recurrencia de determinados caudales.
- *Análisis de peligros.* Se enfoca en los tipos de peligros relacionados con las inundaciones y, por consiguiente, de los daños que provoca (tangibles e 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.
- *Análisis de exposición a peligros.* Tiene como objetivo estimar la extensión y seriedad de los daños y la magnitud de las pérdidas que al deberse 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, su duración de 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).
- *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 aquellos 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):

- *Métodos conceptuales.* Se basa en 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. Su principal ventaja 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 son usados con más frecuencia en un contexto académico.

- *Análisis de vulnerabilidad.* Este procedimiento metodológico se enfoca en la asociación del riesgo de inundación con los daños potenciales y los medios disponibles para enfrentarlo. 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 está basado normalmente en el uso de indicadores.
- *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 y 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 los primeros.

Uno de los estudios más detallados empleando un método de evaluación directa es el de Penning-Rowsell 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 diversos daños a diferentes tipos de usos del suelo (Lekuthai y Vongvisessomajai, 2001).

Últimamente se ha incluido el factor duración de la inundación (Lekuthai y Vongvisessomajai, 2001); en este caso, ésta se divide en tres períodos: el primero se extiende desde el inicio de la inundación hasta el pico, el segundo abarca desde el pico hasta el final de la inundación, y el tercero comprende el posperíodo cuya permanencia varía en función de su duración. 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: 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 más habitual es el uso de una base de datos espacial que incluye información sobre usos del suelo, características hidráulicas y actividades humanas; ésta será el soporte

para determinar los tipos, severidad y localización de daños ocasionados por una inundación (Boyle *et al.*, 1998). La información sobre usos del suelo y actividades humanas debe incluir, por ejemplo, características demográficas, propiedad y valor del suelo, tipos de viviendas, tipos de cultivos, etcétera.

Para el caso de daños tangibles indirectos, éstos se suelen estimar como un porcentaje fijo de los daños directos. Los porcentajes 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. En la tabla 2.4 se presentan los...

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 considerable para que pueda justificarse su empleo en el 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 provocados por inundaciones anteriores. En el mismo sentido se refieren Nascimento *et al.* (2007), ya que en su trabajo señalan 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 éstas.

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 denominada daño por ansiedad, considerando que éste 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, por lo tanto similar a un daño tangible; aquél puede ser indirectamente medido en términos de descenso de la productividad que afecta el producto 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 están conectadas con las actividades que se llevan a cabo en otra igual y con áreas no afectadas por la inundación. Estos autores presentan un método basado en un modelo económico, aplicado a las inundaciones producidas por los ríos Missouri y 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 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:

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

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 de 50%, a los bienes materiales de 20% y a la conflictividad social de 30 por ciento.

El índice de impacto sobre las vidas (I.I.D.V.), incluye además de la muerte de personas, su desaparición o cuando éstas han resultado heridas (tabla 2.5).

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 e inmuebles, derrumbes de viviendas, suspensión de clases y brotes epidémicos; a nivel de los servicios públicos, daños a redes de agua y drenaje, problemas de abasto de agua y gas; 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 en relación con las demandas en torno al recurso agua. Este indicador

está integrado por: 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 y armadas en contra de su política, y fuerzas sin determinar).

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

Índice	Factores	Ponderación
Impacto sobre las vidas (I.I.D.V.)	• Decesos de personas • Desaparición de personas • Heridos • Vivienda ▪ Damificados ▪ Afectaciones a muebles ▪ Afectación a inmuebles ▪ Derrumbes ▪ Suspensión de clases ▪ Brote epidémicos	0.5
Impactos materiales (I.I.M.)	• Servicios públicos ▪ Daños en redes de drenaje ▪ Daños en redes de agua potable ▪ Problemas de abasto de agua y gas • Actividades productivas ▪ Pérdidas de cultivos ▪ Destrucción de establos ▪ Pérdidas de productos	0.2
Conflictividad social (I.C.S.)	• Eventos de peligro • Acciones en contra del régimen • Características de la vivienda ▪ Viviendas sin agua entubada ▪ Viviendas sin drenaje ni excusado ▪ Viviendas con piso de tierra ▪ Viviendas sin energía eléctrica ▪ Viviendas de tamaño inadecuado	0.3
Índice de marginalidad (n)	• Ingresos monetarios ▪ Hasta 2 salarios mínimos • Nivel de educación ▪ Población sin primaria completa ▪ Analfabetismo • Distribución de la población ▪ Localidades de < 5 000 habitantes	

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 (tabla 2.5).

En cuanto a las características de la vivienda se tienen en cuenta aspectos como viviendas sin agua entubada, sin drenaje ni excusado (letrina), viviendas con piso de tierra, sin energía eléctrica y 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. En relación con el nivel de educación, se tiene en cuenta la población sin primaria terminada o analfabeta. En cuanto a la distribución de la población, localidades con menos de 5 000 habitantes. Este índice está calculado para todos los municipios del país por el Consejo Nacional de Población (Conapo).

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: Distrito Federal (0.75), Oaxaca (0.73), Sinaloa (0.71), Guerrero (0.65), Veracruz (0.62) y Chiapas (0.54), por lo que estas entidades deben tener prioridad a la hora de establecer programas de prevención y lucha contra las inundaciones.

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 el promedio de daños por inundación.

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

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

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

	I. D.V. -0.5	I.I.M. -0.2	I.C.S. -0.3	Suma	I.M.	-n	I.I.S.F.	
DF	5.48	1.08	7.34	13.9	Muy baja	0.1	0.75	Prioridad
Aguascalientes	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	0.09	0.07	0.16	Baja	0.1	1.2	
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	0.8	
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	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	0.8	0.54	2.31	Alta	0.2	0.84	
Morelos	0.65	0.35	0.8	1.8	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	0.4	6.34	Muy baja	0.1	0.83	
Oaxaca	0.97	0.24	1.59	2.8	Muy alta	0.3	0.73	Prioridad
Puebla	1.29	0.24	0.67	2.2	Muy alta	0.3	0.79	
Querétaro	0	0.04	0.16	0.2	Alta	0.2	1.38	Prioridad
Quintana Roo	0	0.09	0.19	0.28	Media	0.2	1.29	
San Luis Potosí	0.67	0.39	0.3	1.66	Alta	0.2	0.9	
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	0.3	1.05	1.67	Alta	0.2	0.9	
Tamaulipas	0.65	0.61	0.39	1.65	Baja	0.1	0.95	
Tlaxcala	0	0.18	0.24	0.42	Media	0.2	1.19	
Veracruz	2.58	1.26	1.06	4.9	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	1.2	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

de la inundación (Fotografía 2.1, 2.2). Para inundaciones más importantes, los daños aumentan 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” que 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 pueden subir los bienes que se desean preservar sin necesidad de transporte, 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).



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



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

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.

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

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

Además del nivel de la inundación, existen otros aspectos que inciden de manera decisiva 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):

- Si el aviso de inundación se realiza con tiempo suficiente (entre 6 y 12 horas) los daños se pueden reducir en 4% en edificios de un solo piso y en 16% en el resto.
- Si la inundación se prolonga durante 24 horas, los daños se pueden incrementar 6 por ciento.
- 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 identificado el porcentaje de edificios que se encuentran en zonas inundables y se han elaborado curvas para valorar los daños en estas edificaciones, 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 cinco diferentes inundaciones.

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
Puertas	4.2		3.6	2.5	3.7
Ventanas	2.3				
Tejado	0.2	0			
Muros internos	14.4	22.5	4	50.5	2.9
Pintura	8.5				
Pisos	6.4	38.2	4.1	0.4	29.2
Baldosas, azulejos	12				
Alfombras, moqueta	1.5				
Carpintería, joyas, etc.	24.3	26	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				
Total	100	100	100	100	100

De esta tabla se puede concluir:

- El contenido de la vivienda (enseres domésticos, joyas) es lo más valorado económicamente (en algunos casos en segundo lugar) en todos los estudios.
- Los muros externos, puertas y ventanas suman menos de 10 por ciento.
- 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.
- Sólo dos edificaciones se consideraron como pérdida total desde el punto de vista constructivo.

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 ingresos inferiores a los esperados en condiciones normales. La diferencia entre ambos ingresos se adopta como valor de los daños que en esta categoría son particularmente sensibles a la



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

duración de la inundación; cuando aquélla es escasa (de 1 a 3 días) puede causar un retraso del desarrollo sin apenas afectar el rendimiento, mientras que si ésta se prolonga, (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) llegan a verse completamente cubiertas de sedimentos, lo cual daña a las plantas y produce asfixia.

HERRAMIENTAS APLICADAS AL ESTUDIO DE INUNDACIONES

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):

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.

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.

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 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*), 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, se sugirieron posibles esquemas de solución (construcción de bordos longitudinales y de un embalse como desvío temporal) para evitar mayores inundaciones.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Con la finalidad de obtener una visión integrada de los aspectos a investigar se han desarrollado diferentes herramientas, entre las cuales destacan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramienta de gran ayuda para el análisis espacial de 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 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 para evaluar los impactos de daños producidos por inundaciones; un ejemplo son los trabajos de Brimicombe y Bartlett (1996), Boyle *et al.* (1998) y Renyi y 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 su extensión y profundidad. En este caso, el SIG facilita la integración de los resultados de la modelación con otras capas de información, favoreciendo el proceso de toma de decisiones.

Un ejemplo de aplicación del SIG en relación con la modelación, son las investigaciones realizadas en el curso alto del río Lerma (Díaz-Delgado *et al.*, 1998). Asimismo, 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).

3. ZONA DE ESTUDIO

MARCO HIDROLÓGICO. LA CUENCA LERMA-CHAPALA-SANTIAGO

La cuenca Lerma-Chapala-Santiago es uno de los sistemas hidrológicos más importantes de México, con una superficie estimada de 137,144 km² (figura 3.1); abarca grandes extensiones de los estados de México, Michoacán, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Zacatecas, Durango y Nayarit. Por su gran extensión, está bajo la influencia de varios tipos de climas, desde templado hasta el tropical lluvioso (CCRECRL, 1993; Aparicio, 2001). Está drenada por los ríos Lerma y Grande Santiago, los cuales tienen una longitud total de 1180 km; 60% corresponde al primero y 40% restante al segundo, sin contar los 75 km de extensión del lago de Chapala, el cual funciona como un embalse natural e intermedio, y de cuya salida nace el río Grande Santiago, que 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 en 1994 por la Comisión Nacional del Agua.

La cuenca Lerma-Chapala-Santiago se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Superficie: 137,144 km².
- 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).

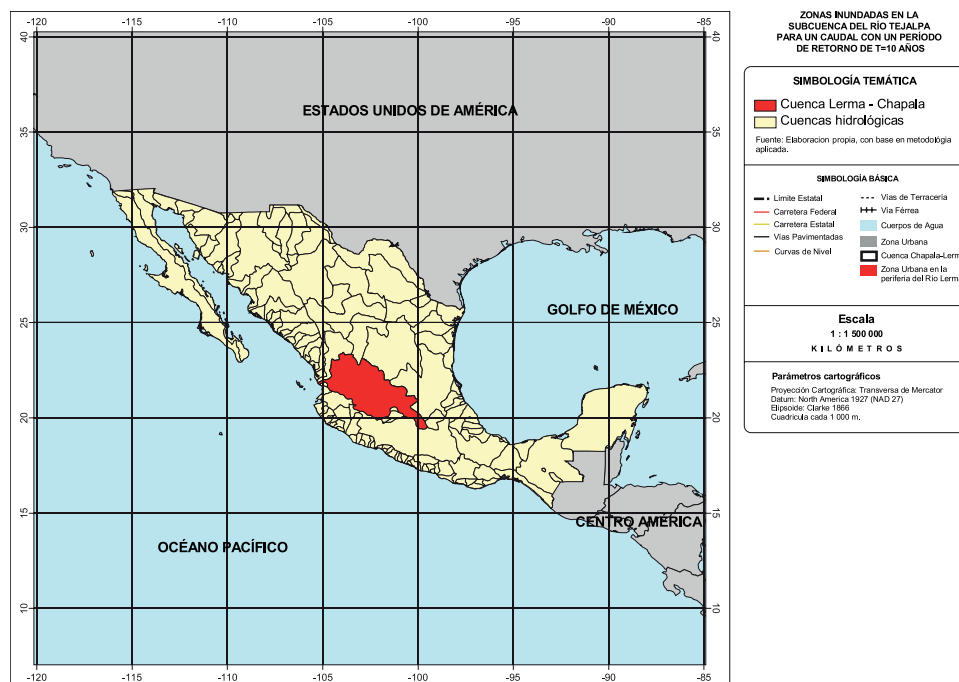


Figura 3.1 Mapa de ubicación de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago en la República Mexicana (Díaz-Delgado *et al.*, 1998)

LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Características generales

La cuenca Lerma-Chapala se localiza en la parte central de México ($19^{\circ}03'$ a $21^{\circ}34'N$ y $99^{\circ}16'$ a $103^{\circ}31'W$), 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) (figura 3.2); presenta una superficie de 53,591.3 km², 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 2.73% del territorio nacional. También se incluyen las cuencas endorreicas de los lagos Yuriria, Pátzcuaro y Cuitzeo, en el estado de Michoacán.

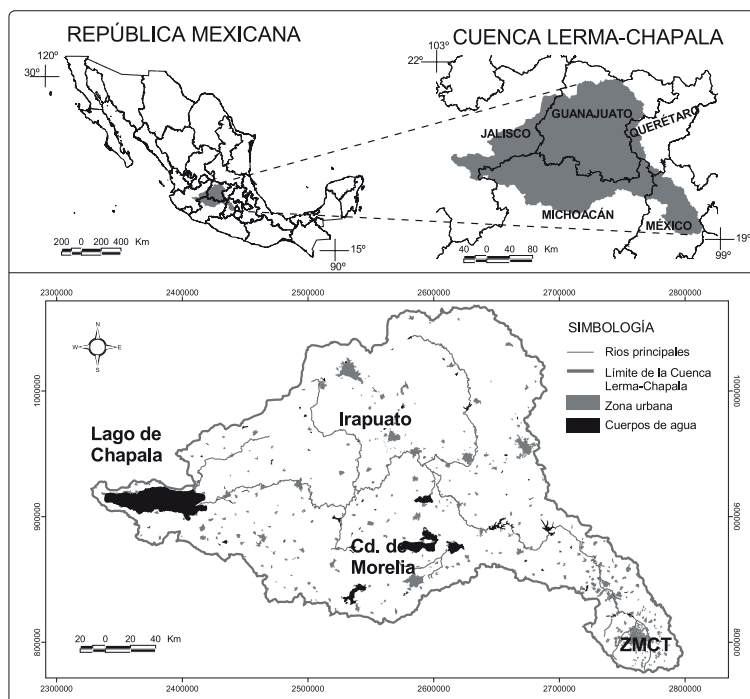


Figura 3.2 Localización de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago en la República Mexicana

El río Lerma tiene una longitud de 705 km y recibe aguas de diferentes afluentes, 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.

Esta cuenca ha sido subdividida 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 Páztcuaro 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).

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

Región	Subcuenca
Alto Lerma	Presa Solís
	Lago de Páztcuaro
	Lago de Cuitzeo
	Cuencas cerradas de San Luis de la Paz
	Lago Yuriria
Medio Lerma	Río Laja
	Río Turbio
	Río Angulo
	Río Huástaco
Bajo Lerma	Río Duero
	Río Azuayo
	Río Zula

Desde un punto de vista topográfico, la cuenca del río Lerma es relativamente llana. Casi 72% de su área presenta elevaciones que oscilan entre 1500 y 2100 msnm, incluyendo algunas regiones montañosas con elevaciones superiores a los 2 700 msnm, las cuales sólo representan 6% de la superficie total de la cuenca (figura 3.3).

Clima

El gran desnivel altitudinal (3 000 m) se refleja en amplias variaciones climáticas. Esta variabilidad 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:

- La región norte de la cuenca que comprende el estado de Guanajuato y una parte del estado de Querétaro, se encuentra bajo el régimen del grupo de los climas secos, definido como clima árido con lluvias en verano y 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.

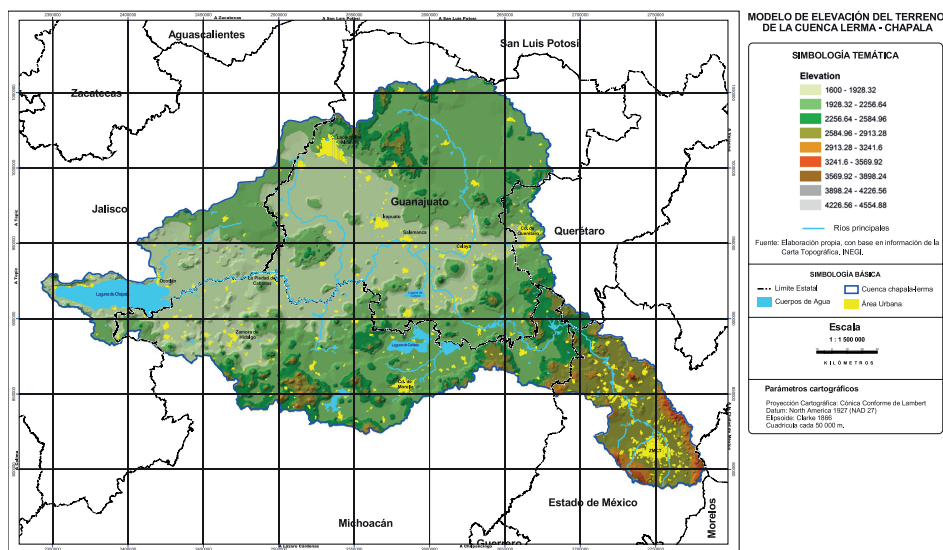


Figura 3.3 Modelo de elevación digital del terreno de la cuenca Lerma-Chapala

- 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.
- 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 suroeste, 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. La diferencia de humedad entre ambas subregiones se puede observar en los histogramas de precipitación, ya que en la zona suroeste se presentan registros de precipitación más altos, extendiéndose la temporada húmeda desde junio hasta octubre, lo cual confirma la influencia no sólo de 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. Respecto 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 realizada por Köppen, modificada por García (1964). El clima que domina en la cuenca Lerma-Chapala es subtropical, varía entre sub-húmedo a árido, y en 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):

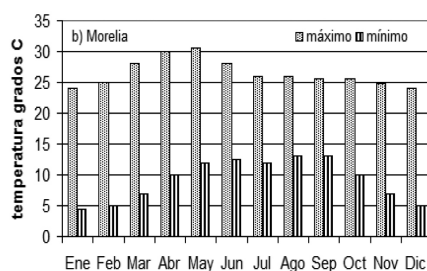
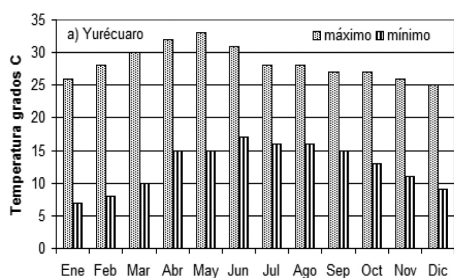
- Estado de México. El clima sub-tropical templado sub-húmedo prevalece en casi todo el estado circunscrito en la cuenca Lerma-Chapala. Solamente en la región que comprende la ciudad de Toluca, el clima es clasificado como templado frío sub-húmedo.
- Estado de Guanajuato. Un gran porcentaje de su superficie 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 semi-árido en la región 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.
- Estado de Michoacán. En esta área delimitada dentro de la cuenca se pueden identificar tres climas, 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 Pátzcuaro (incluido su lago), Morelia, Lago Cuitzeo y los límites con la cuenca del río Balsas.
- Estado de Jalisco. Se pueden identificar cuatro climas en su porción delimitada dentro de la cuenca en estudio: semi-árido, semi-cálido, sub-húmedo (en los alrededores de Atotonilco el Alto) y templado sub-húmedo en la región que se localiza en torno al lago de Chapala.

Temperatura

Las variaciones de la temperatura máxima y mínima en algunas estaciones climatológicas localizadas en la cuenca se muestran en la figura 3.4. Se puede señalar que la temperatura en la cuenca es relativamente uniforme, tanto en el espacio como en el tiempo; la máxima anual raramente excede los 32°C, siendo la más usual 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 3% del total de la precipitación de México (Aparicio, 2001). Hay una notable variación de los valores medios de precipitación: desde 300 a más de 1 000 mm. Existen zonas de la cuenca con precipitaciones que oscilan entre 600 y 1 300 mm, con un valor medio de 730 mm, y que corresponden a la mayor parte de la superficie de la cuenca,



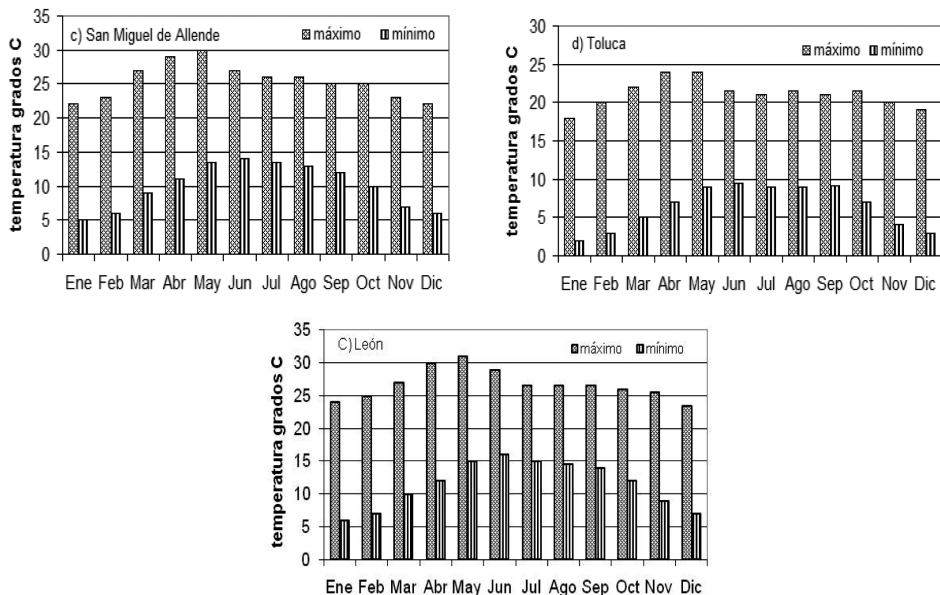


Figura 3.4. Variaciones de temperatura anual (máximo y mínimo) en las estaciones de Yurécuaro (a), Morelia (b), San Miguel Allende (c), Toluca (d) y León (e) (Aparicio, 2001)

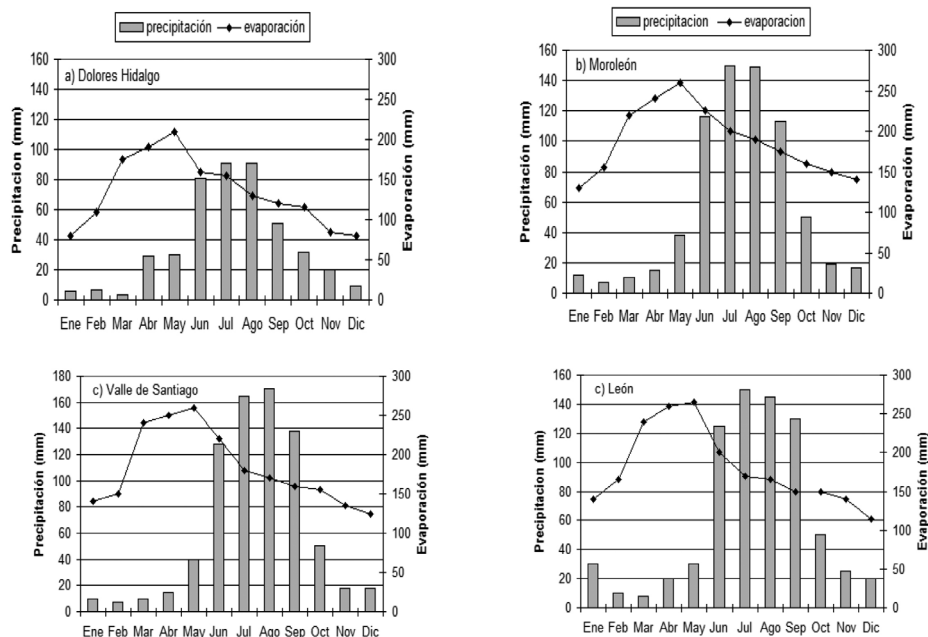
en torno a los 46 800 km² (89% de la superficie total). Otras áreas, áridas, con valores que oscilan de 300 a 500 mm, y que cubren 6% del total de la superficie de la cuenca, y finalmente áreas semi-húmedas con precipitaciones de más de 1 000 mm al año, y que representan 5% de la superficie total de la cuenca (Aparicio, 2001).

Valores de precipitación media anual de la cuenca por estado, y para toda la cuenca (tabla 3.2).

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

Zona en la cuenca en	Precipitación media anual (mm)
Guanajuato	650
Jalisco	800
Estado de México	880
Michoacán	800
Querétaro	600
Cuenca Lerma Chapala	730

La figura 3.5 expone los registros de precipitación en varias estaciones climatológicas de la cuenca, donde se puede apreciar cómo 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.



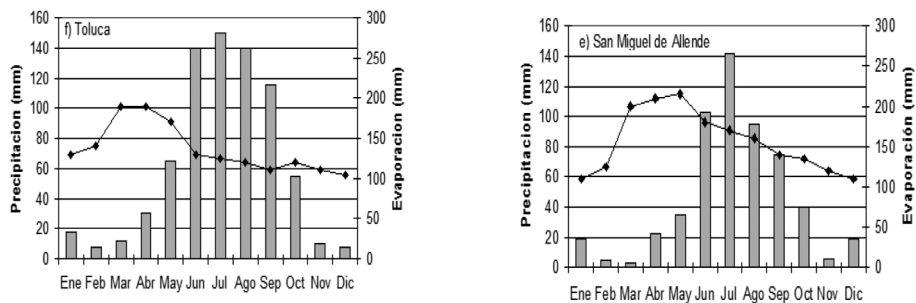


Figura 3.5. Precipitación y evaporación media mensual en las estaciones de Dolores Hidalgo (a), Moroleón (b), Valle de Santiago (c), León (d), San Miguel de Allende (e), Toluca (f), Morelia (g) y Yurécuaro (h) (Aparicio, 2001).

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.

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 se conectaba a otras dos: Lerma y San Bartolo, mismas que también lo estaban a través de varios canales, pero debido a la captación de los manantiales y a la explotación del acuífero de la región (Maderey 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 Otzolotepec, 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, La Gavia, Jaltepec, La Laja, Silao-Guanajuato, Turbio, Angulo y Duero.

El río Lerma desemboca en el lago de Chapala, que tiene una longitud de 77 km y un ancho de 23 km, aportando un caudal medio anual de 2 150 hm³/año (Escolero *et al.*, 2006), aunque también hay cifras que señalan unas aportaciones de 1 160 hm³/año (Aparicio, 2001). Este lago es el de mayor dimensión del país y el tercero en América Latina (Escolero *et al.*, 2006).

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

Aparicio (2001) estableció que sólo 4% de la precipitación 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.

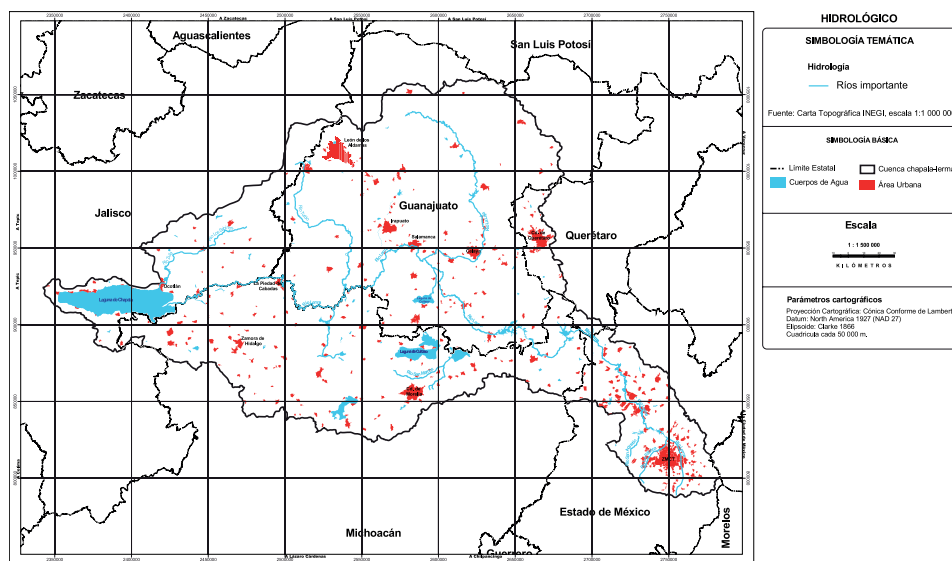


Figura 3.6 Principales ríos y cuerpos de agua localizados en la cuenca Lerma-Chapala

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 acuciente a medida que se avanza aguas abajo del río Lerma. La disponibilidad se ha calculado en 641 m^3 por habitante por año, siendo la disponibilidad superficial virgen de $158,414 \text{ m}^3/\text{km}^2$ y la disponibilidad virgen per cápita de $1\,627 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ (Conagua, 2005).

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

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 mientras que el área de influencia queda conformada por 309 municipios (Cardona, 2006a).

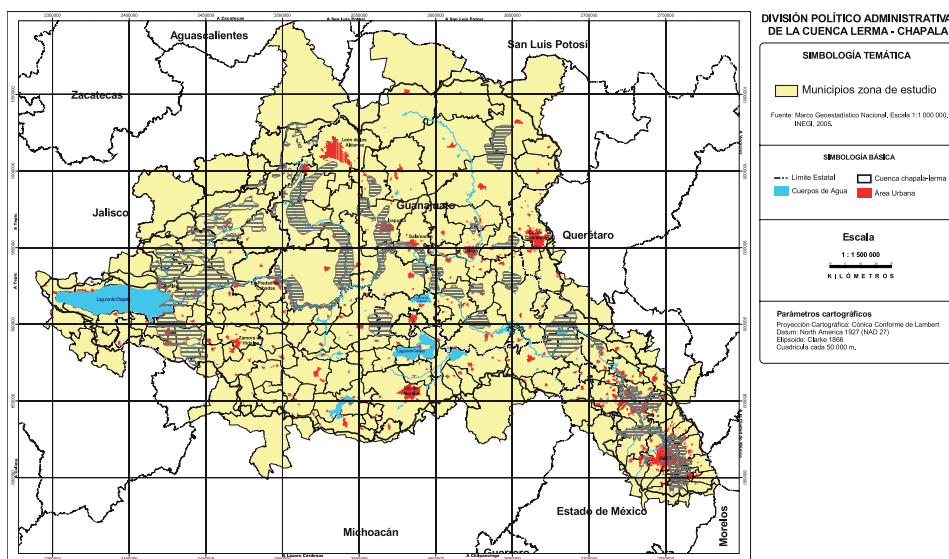


Figura 3.7 División política de la cuenca Lerma-Chapala

Hasta febrero de 2000, el Alto Lerma alojaba a 3.7 millones de personas, lo que representa una densidad de población de 252 hab/km²; el Medio Lerma, 5.7 millones de habitantes es decir, 172 hab/km²; y en el Bajo Lerma, el número de habitantes es inferior con 1.2 millones de habitantes y una densidad de población de 102 hab/km² (Conagua, 2005).

Dentro de la cuenca se localizan grandes ciudades con más de 5 0000 habitantes, (tabla 3.3). La única ciudad que sobrepasa el millón de pobladores es León, Gto. Del total de la población de la cuenca, 7.76 millones viven en zonas urbanas y 3.27 millones en zonas rurales (Conagua, 2005).

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	Acámbaro	101.7
		Metepec	206
		San Mateo Atenco	66.7
		Toluca	747.5
	México	Lerma	105.5
		Zinacantepec	136.2
		Ixtlahuaca	126.5
		Atlacomulco	77.8
	Michoacán	Morelia	645.3
Subtotal Alto Lerma			2,213.20
Medio Lerma	Guanajuato	San Miguel de Allende	139.3
		Celaya	415.9
		Dolores Hidalgo	134.6
		Cortazar	83.2
		Guanajuato	153.4
		Irapuato	463.1
	León	León	1,278.10
		Salamanca	233.6
		San Francisco del Rincón	103.2
		Silao	147.1
		Valle de Santiago	127.9
	Michoacán	La Piedad	90.1
		Querétaro	Querétaro
Subtotal Medio Lerma			4,068.80
Bajo Lerma	Jalisco	Ocotlán	89.3
		Ciudad Guzmán	96.1
	Michoacán	Sahuayo	61.1
		Zamora	165.3
Subtotal Bajo Lerma			411.8
Total			6,693.80

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 de 22% de la población ocupada. En cuanto a la especialización de la población ocupada, 31% de los municipios se especializa en actividades primarias y extractivas, la cuenca cuenta con sólo 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 están especializados en estos sectores. Los municipios con especialización en actividades terciarias conforman 5% del total; y aquellos donde se comparte la especialidad en sector terciario con otros sectores alcanza 16% (Cardona, 2006b).

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

Región	Total PEA	Ocupada	Desocupada
Alto Lerma	1,141.80	1,124.70	17.1
Medio Lerma	1,838.00	1,815.50	22.5
Bajo Lerma	398.5	394.4	4.5

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.

Según el estudio de Cardona (2006c), la industria manufacturera aporta el mayor valor agregado a la dinámica económica de la cuenca con cerca de 40%, esto resulta lógico al considerar la importancia nacional e internacional de los diferentes corredores industriales situados en diversas zonas de la cuenca. El promedio nacional del valor agregado, originado por el sector

industrial es de 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 km², equivalente a 43% de la superficie de la cuenca. Sólo siete cultivos (maíz, sorgo, avena, frijol, alfalfa, trigo, cebada) cubrieron 85% de la superficie agrícola neta de la región. Entre ellos, dos cultivos (maíz y sorgo) ocupan 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 km²), como en la de temporal (9,295.23 km²), 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 bovino y porcino fundamentalmente, y la presencia de este último está asociada 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 misma, 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 algunos 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 hm³/año y de agua subterránea de 4 398 hm³/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 corresponden a unidades de riego y 245 959 a distritos de riego. La demanda total es de 8 029 hm³/año, que se distribuye en 6 459 hm³/año para unidades de riego y en 1 569 hm³/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” desde agosto de 1991.

La oferta potencial de agua superficial en la cuenca es de 6 763 hm³/año, con una importación de 16 hm³/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 hm³/año, datos que indican el déficit que existe en la cuenca (Conagua, 2005).

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 se produjeron entre 1926 y 1958. A continuación se presenta una breve descripción aunque a la fecha siguen ocurriendo desde 1967 (Aparicio, 2001).

- *Inundaciones en 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 su caudal.
- *Inundaciones en 1971.* Se sufrieron graves daños en el Distrito de Riego No.11, el cual se localiza aguas abajo de la presa Solís. Esta inundación

se produjo por las descargas desde las presas Tepuxtepec, Solís e Ignacio Allende.

- *Inundaciones en 1973.* La presa Ignacio Allende liberó 400 m³/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 m³/s y de 1,500 m³/s, en la estación de la Barca.
- *Inundaciones en 1976.* Fueron provocadas por una onda tropical que permaneció 15 días sobre 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 m³/s en el río Santiago, que a su vez produjo también inundaciones.
- *Inundaciones en 1987.* Intensas precipitaciones se presentaron en áreas urbanas del Estado de México, (Toluca), y de Guanajuato, (León, Salamanca y Silao).
- *Inundaciones en 1998.* Se produjeron 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 de Allende, León y Comonfort.

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

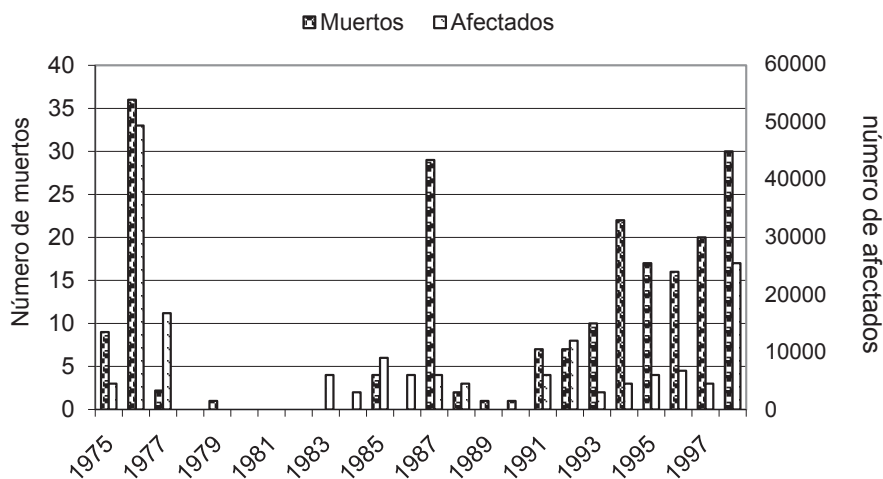


Figura 3.8. Muertes y población afectada debido a las inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, 2001)

Las inundaciones más recientes fueron registradas primero en septiembre de 2003, que afectaron los estados de Guanajuato y Michoacán. En el 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 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).

En el informe de la Conagua (2005) se señala 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, 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).

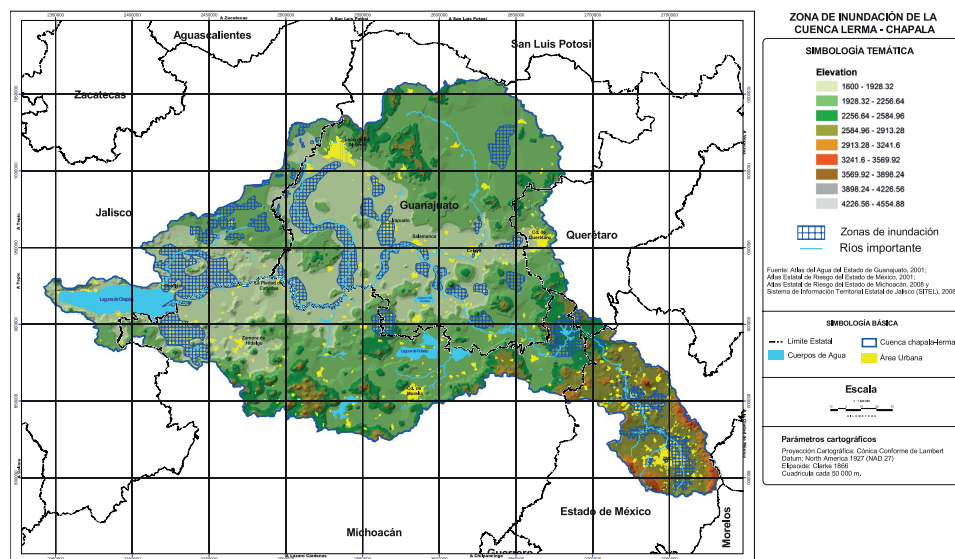


Figura 3.7 Localización de zonas que históricamente han sufrido inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala

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 útil en un análisis Ex-post a fin de establecer requerimientos de recursos para la mitigación, rehabilitación y compensaciones ante eventos de inundación. 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 contribuir en el marco de los trabajos que desarrolla el CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) para elaborar manuales sobre la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres (CEPAL, 2003).

Debemos resaltar que en el proceso de desarrollo del método propuesto se analizaron los diferentes tipos de inundación, así como la respuesta del socioecosistema en que podría presentarse y sus implicaciones correspondientes. Bajo este análisis se concluyó que a fin 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 bienes hasta la conocida “cota de mesa” (0.75 m) o bien hasta el segundo nivel de la construcción habitacional, entre otras. 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.

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 pérdidas derivadas de la interrupción de servicios y las pérdidas en negocios y salarios, costos de limpieza después de la inundación, incrementos de costes en tareas de previsión y alarma, evacuaciones, alojamientos temporales en zonas de libre peligro, etc., 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). 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. Asimismo, resalta audiencia de la información suficiente para aseverar otra situación.

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 y Water Resources Management*, entre otras; se llevaron a cabo búsquedas de información a través de Internet, empleando palabras clave como inundaciones, análisis de daños, etc. y se utilizaron diferentes bases de datos, para la búsqueda de publicaciones científicas sobre el tema de estudio.

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

TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo consistió, fundamentalmente, en recorridos por la cuenca Lerma-Chapala, que al inicio se centró en aspectos generales, donde se reconocieron 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 éstos se tuvieron en cuenta las características de las zonas agrícolas, realizándose un inventario de diferentes cultivos que se producen en el área a lo largo de un año, y de zonas habitacionales, prestando especial atención a las características

de las viviendas tanto en sus aspectos constructivos, como en los bienes existentes con objeto de clasificar las zonas habitacionales en función de estas características.

RECOPILACIÓN DE DATOS

La base de datos fue necesaria como soporte del análisis que se realizó para determinar tipos, severidad y localización de daños causados por la inundación.

Se recopiló información en organismos como:

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- Comisión Nacional del Agua (Conagua).
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred).
- Comisión Nacional de Población (Conapo).
- Gobiernos estatales (México, Querétaro, Michoacán, Guanajuato, Jalisco).
- Protección Civil.
- Ayuntamientos.

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 asienta en zonas inundables.
- Valor unitario de las construcciones.
- Información sobre los bienes existentes en las viviendas.

ZONAS INUNDABLES

Para delimitar las zonas inundables de una cuenca es necesario conocer sus características hidráulicas, 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 su valor 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 *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).

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): 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); asimismo, sobre el índice de marginación; el cual se calcula para una AGEB urbana, área geográfica que se encuentra dentro de una localidad de 2 500 o más habitantes e incluye todas las cabeceras municipales aunque no alcancen dicha cifra.

Esta información fue obtenida con base en el censo de 2000, cuyos resultados han sido publicados por el INEGI (2002a) y por el Conapo, (2002) con base en el XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000.

Además, se consultó la información resultante del II Censo de Población y Vivienda de 2005 (INEGI, 2007a) y el informe sobre índice de marginación urbana 2005 (Conapo, 2007).

Los indicadores socioeconómicos empleados por el Conapo (2002, 2007) son:

- 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
- Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares
- Viviendas particulares habitadas
- Con piso de tierra
- Sin agua entubada
- Sin drenaje
- Sin energía eléctrica
- 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.

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

INFORMACIÓN SOBRE BIENES

La información sobre bienes existentes en las viviendas se recopiló con ayuda del Sistema para la Consulta de Información Censal, SCINCE 2000 (INEGI,

2002b), el cual cuenta con los resultados definitivos del XII Censo General de Población y Vivienda 2000; es un sistema que permite relacionar los datos estadísticos con el espacio geográfico al que pertenecen; cuenta con información 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 Áreas Geoestadísticas Básicas.

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 para la Consulta de Información Censal 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 a las 32 entidades federativas y a las 4 028 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, está conformado por los indicadores antes mencionados.

En relación con el elemento informático, éste consta de la aplicación denominada SCINCE 2000, 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 aquélla.

Como ya se indicó, la información sobre viviendas, y en concreto sobre los bienes existentes en éstas 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
- Licuadora
- Refrigerador
- Lavadora
- Teléfono
- Calentador de agua
- Automóvil o camioneta propios
- Computadora

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

- Estufa
- Horno de 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 recolectando información en diferentes casas comerciales (Elektra, Salinas y Rocha, ISSSTE, Viana, Famsa, Bodegas Gigante, Aurrera, Mega Comercial Mexicana, Electrónica Guevara, Sears, Wall-Mart, Palacio de Hierro, Liverpool, Auchan, Carrefour, Chedraui, Hermanos Vázquez); así como a partir de la información proporcionada por la Procuraduría Federal del Consumidor (Profeco) para el periodo del 1 al 16 de abril de 2009.

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 en una zona agrícola se debe tener presente (Estrela, 1996):

- 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 ingresos inferiores a los esperados en condiciones normales. La diferencia entre ambos ingresos se adopta como valor de los daños.
- Se necesita 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.
-

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 nuevamente poner en producción los campos agrícolas.

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

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); posteriormente se llevaron a cabo varios recorridos de campo para identificar los cultivos.

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).

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).

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 diversos distritos de riego.

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; en la figura 4.2 para zonas agrícolas.

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, determinando los niveles máximos de agua, que 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.

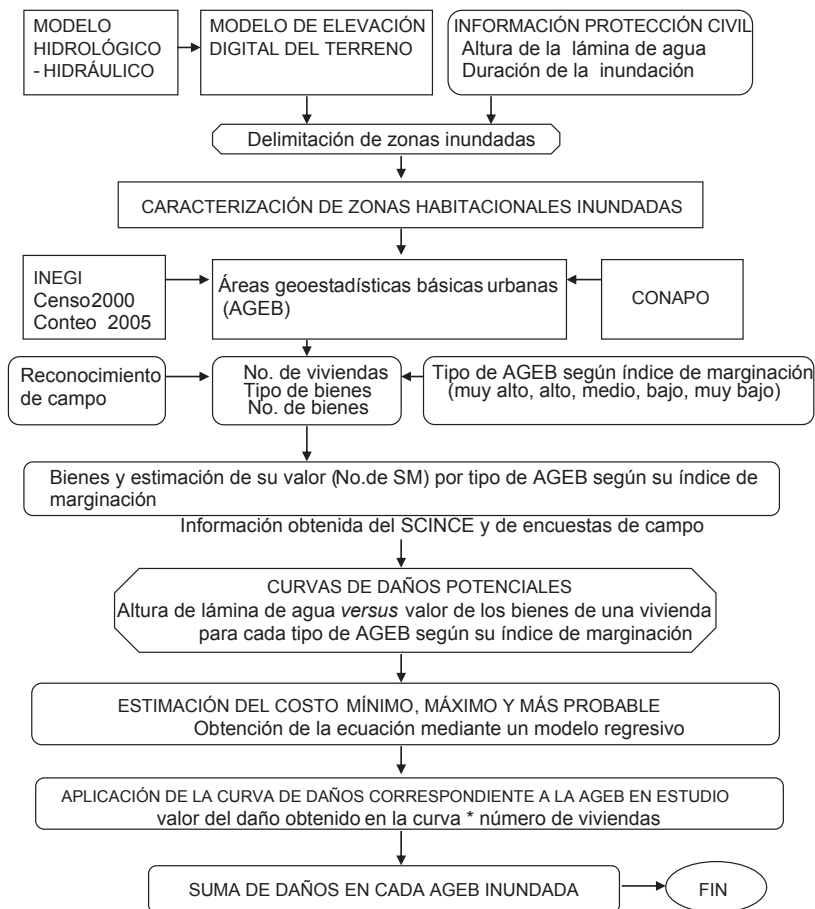


Figura 4.1. Desarrollo conceptual de un método para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas habitacionales. Daños directos.

INFORMACIÓN SOBRE ZONAS HABITACIONALES

Una vez definidas 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 y características de las viviendas, tipos y número de bienes, así como su índice de marginación (IM).

Teniendo en cuenta las características y los criterios del 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 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 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 podría 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.

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).

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 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 UAEM 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, obteniendo el total de daños tangibles directos en la agricultura.

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. En casi todos los estudios realizados se ha comprobado que una misma altura de inundación puede causar diferentes daños para diversos tipos de uso del suelo, y dentro de éstos 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 su definición para las zonas habitacionales y agrícolas. Dentro de las primeras 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 éstas; en el caso de las zonas agrícolas, se efectuó una subdivisión en función del tipo de cultivo.

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 se hizo corresponder unos bienes, cuyo valor fue cuantificado para posteriormente ver cuál fue el daño en cada uno, 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 se le hizo corresponder bienes cuyos valores fueron cuantificados, para posteriormente analizar cuál fue el porcentaje de afectación (daño) en función de la altura de la lámina de agua que al ser evaluadas. Corresponderían a las obtenidas en un modelo de simulación o bien a las recopiladas en eventos de inundación acaecidos, de forma tal que, a partir de la altura máxima 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; de costo máximo, costo mínimo y costo más probable. La primera representaría el valor del daño más elevado, y la segunda 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 y con base en la información de los censos poblacionales disponibles, se han determinado los

posibles costos directos mínimo y máximo generados por inundación para cada tipo de AGEB. Lo anterior facilita 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 factible generado por una inundación.

Cabe mencionar que la propuesta de esta metodología tiene como fundamento la 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, el primero es un desarrollo de la Armada de los Estados Unidos de América (1957), para controlar los tiempos de ejecución de las diversas actividades que integran 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), 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 fuera ejecutado en menos 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:

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

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 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 aun 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 .

4.2

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

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

4.3

$$E[x] = \frac{pb + qa}{p + q}$$

4.4

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

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 Cs. Sin embargo, teniendo en consideración que la ecuación (4.1) presenta la moda en el punto:

4.5

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

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

4.6

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

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

4.6 (2)

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

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

4.7

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

4.8

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

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:

4.9

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

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:

4.10

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

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, 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. Éstos 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 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.

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 cuenca alta del río Lerma, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- 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), 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.
- 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.

- 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).

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 cuáles 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 qué lámina de agua se aplicaría para una inundación dada. Esta lámina de agua se obtuvo de las secciones transversales del río localizadas en las AGEBS afectadas, o en sus inmediaciones, de acuerdo con los resultados obtenidos por Vega (1999).
- Con esta información se calcularon los daños directos tangibles en las zonas habitacionales afectadas por inundación.
-

Mapa de las zonas agrícolas afectadas por inundación

- A partir de éste 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, número de hectáreas cosechadas y producción de la cosecha, siendo en este caso de la subcuenca del río Tejalpa, el maíz de grano (se comprobó por recorrido de campo en zonas cultivables 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, para utilizarse el cálculo de daños directos. El siguiente paso fue la obtención de la lámina de agua que se aplicaría para una inundación dada. Ésta se obtuvo de las secciones transversales del río localizadas en las zonas agrícolas afectadas, o en sus inmediaciones, de acuerdo con los resultados obtenidos por Vega (1999).
- Con la información procesada, y 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.
- 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.

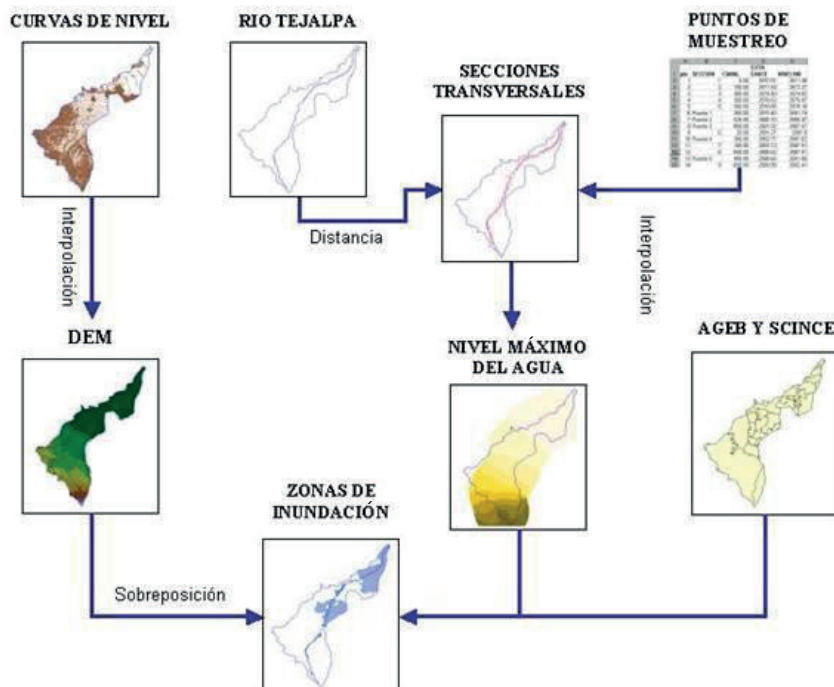


Figura 4.3. Diagrama de flujo establecido para el procesamiento de la información cartográfica para el caso de estudio de la subcuenca del río Tejalpa.

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 primeros son producidos por contacto con el agua o por sumersión, y los indirectos son aquellos causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas e incluyen, por ejemplo, la interrupción del tráfico, pérdidas de salarios y beneficios en los negocios, etcétera.

DAÑOS TANGIBLES DIRECTOS

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 reconocieron 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).

Tabla 5.1
Unidades geográficas, 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		
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

Con base en la información anterior, así como 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, número de viviendas habitadas, y de bienes existentes, concretamente de radios, radiograbadoras, televisiones, videos, licuadoras, refrigeradores, lavadoras, teléfonos, calentadores, automóviles y computadoras. Adicionalmente, se incorporaron otros bienes: mobiliario (cocina, comedor, sala y recámara), ropa y calzado, los cuales no se contemplan en la información del SCINCE (anexo III).

Una vez definidos los bienes existentes en una vivienda para un tipo de AGEB dado, así como su valor monetario, se determinó su porcentaje de afectación 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 por el 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, identificando el valor más alto y el valor más bajo obtenido.

Para la estimación de costo más probable es requerido el cálculo del coeficiente de asimetría, 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, de costo mínimo, de costo máximo y de costo más probable, siendo esta última la que se utilizó para realizar los cálculos de daños.

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

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 de sala, comedor y recámaras. También se consideró el rubro de ropa. A cada uno de éstos se le hizo corresponder un precio unitario teniendo en cuenta los ingresos y gastos de la familia que allí habita para finalmente obtener el costo total. (tabla 5.2).

El siguiente paso fue establecer los intervalos de altura de lámina de agua, para definir 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 por ciento.

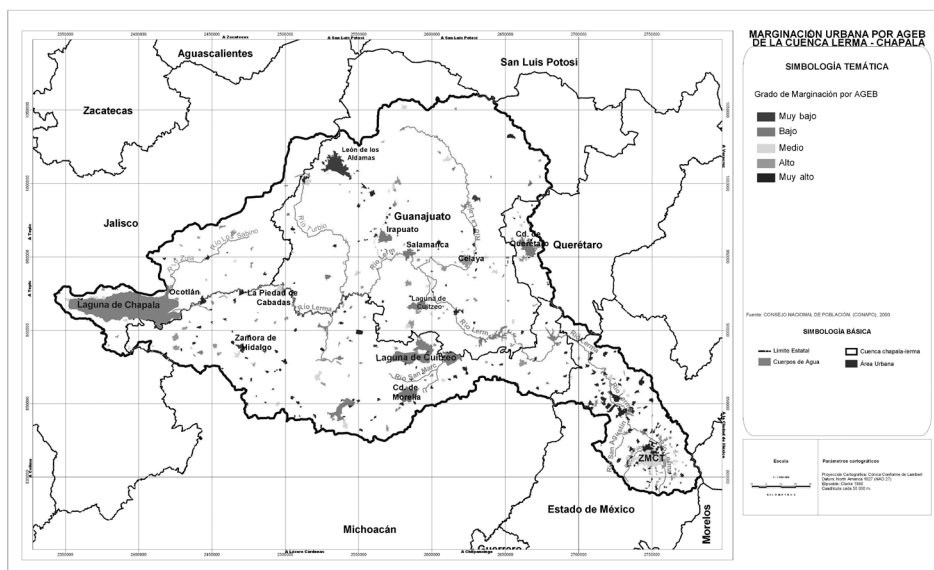


Figura 5.1 Índice de marginación de las AGEBS urbanas. Cuenca Lerma-Chapala

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, quedaría inutilizado en un 90% (tabla 5.2).

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

IM Muy alto	Altura lámina de agua (m)								
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radio o radiograbadora	3,000			90	100	100	100	100	100
TV	4,000			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	400			90	100	100	100	100	100
Licuadaora	700			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	4,000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	3,000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	100						100	100	100
Boiler	1,500					90	100	100	100
Auto	15,000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	6,,000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	1,500				90	100	100	100	100
Sala-Comedor (1)	2,000	10	30	50	80	100	100	100	100
Recámaras-colchón (4)	3,000			90	100	100	100	100	100
Ropa (1)	4,000			50	100	100	100	100	100

En el caso de la 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 si no tienen horno, se encuentran sobre alguna superficie, o si lo tiene su altura promedio es de medio metro; con respecto a la televisión, ésta siempre se encuentra sobre algún mueble, por lo cual se considera se produciría una afectación a partir de los 0.30 m de altura del nivel del agua. En cuanto 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 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.

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, etc., 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 cuál es el tipo de curva que mejor se ajusta.

El valor del coeficiente de determinación R^2 , 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.

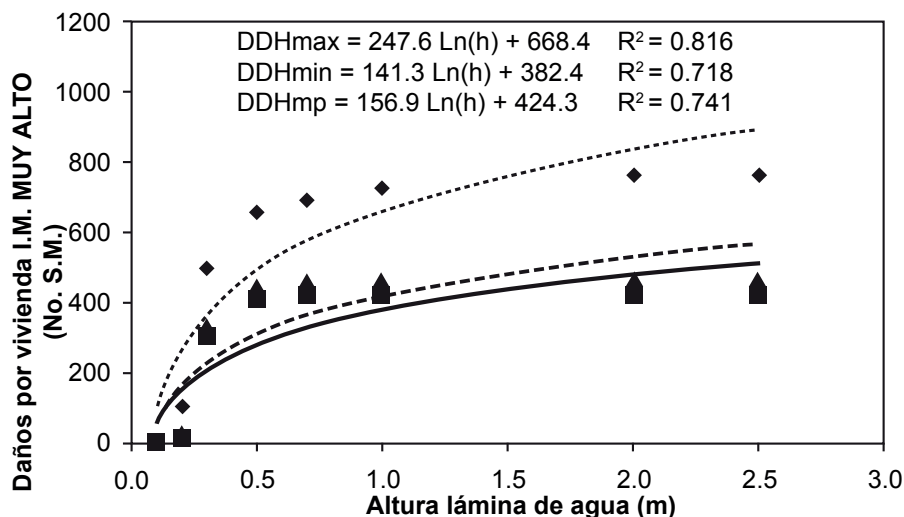
La ecuación del ajuste logarítmico permite calcular los daños potenciales directos, en número de salarios mínimos, para una altura de lámina dada. Por ejemplo, si la inundación producida en un sector determinado provoca una lámina de agua de 0.56 m de altura, sólo será necesario sustituir la x de la 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 para 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 lo da a conocer la Comisión Nacional de Salarios Mínimos (CONASAMI) cada año.

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	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
110110054	200	3,378	23,340	30,458	31,682	32,376	33,311	33,311
110110006	200	3,768	23,373	30,383	31,622	32,391	33,201	33,201
110180035	200	4,137	24,495	31,995	33,417	34,568	35,764	35,764
110180001	200	4,012	24,410	31,754	33,120	34,170	35,206	35,206
110190068	200	2,888	22,412	29,346	30,473	31,283	32,141	32,141
110230148	200	3,359	23,559	31,025	32,347	33,085	34,374	34,374
110270046	200	3,206	23,171	30,205	31,387	32,109	32,976	32,976
110270087	200	2,488	21,652	28,228	29,213	29,701	30,269	30,269
110270135	200	3,145	22,693	29,522	30,642	31,153	31,859	31,859
110270161	200	3,704	23,891	31,042	32,307	33,167	34,066	34,066
110270110	200	3,034	21,789	28,335	29,379	29,864	30,375	30,375
110280064	200	2,883	22,710	29,754	30,904	31,720	32,661	32,661
110380001	200	4,021	24,335	31,918	33,356	34,609	35,915	35,915
110420043	200	2,962	22,312	29,160	30,269	30,845	31,622	31,622
110420001	200	4,520	25,094	32,779	34,308	35,511	36,825	36,825
110420050	200	3,383	23,217	30,535	31,817	32,666	33,836	33,836
140160072	200	3,525	23,571	30,608	31,820	32,312	33,130	33,130
150050016	200	1,243	19,356	25,450	26,193	26,405	26,748	26,748
150060001	200	3,162	23,037	30,287	31,553	32,653	33,768	33,768
150140048	200	2,129	21,361	28,302	29,378	30,047	31,050	31,050
150420024	200	923	18,086	23,951	24,619	24,736	24,989	24,989
150420007	200	900	17,915	23,753	24,416	24,518	24,764	24,764
150420031	200	1,205	19,219	25,225	25,937	26,127	26,393	26,393
150420016	200	1,351	19,984	26,309	27,119	27,523	28,038	28,038
150420030	200	1,686	20,383	26,986	27,917	28,404	29,169	29,169
150420002	200	1,578	20,039	26,912	27,923	28,387	29,486	29,486
150420017	200	906	18,576	24,653	25,368	25,533	25,958	25,958
150420032	200	1,248	19,081	25,078	25,805	25,962	26,233	26,233
150420022	200	1,548	20,344	26,984	27,911	28,350	29,160	29,160
150420035	200	1,187	19,144	25,238	25,981	26,231	26,600	26,600
150420034	200	1,379	19,538	25,900	26,740	27,146	27,754	27,754
150480015	200	1,669	20,692	27,147	28,021	28,415	28,980	28,980
150670005	200	2,173	21,686	28,305	29,263	29,741	30,357	30,357
150850038	200	1,239	17,660	23,978	24,849	25,203	25,995	25,995
150850001	200	2,827	21,829	28,887	30,098	31,082	32,139	32,139
150850024	200	900	17,669	23,477	24,140	24,262	24,505	24,505
150850014	200	1,724	19,785	26,180	27,074	27,519	28,127	28,127
150870017	200	1,924	20,716	27,438	28,424	29,006	29,855	29,855
150870027	200	1,458	20,194	26,484	27,288	27,574	28,026	28,026
150870021	200	2,338	21,827	28,899	30,021	30,764	31,850	31,850
151010003	200	1,948	20,578	27,037	27,954	28,469	29,048	29,048
151010001	200	3,862	24,313	31,931	33,394	34,861	36,203	36,203
151010014	200	2,687	22,380	29,471	30,630	31,382	32,416	32,416
151060051	200	2,096	21,314	28,079	29,087	29,608	30,427	30,427
151060082	200	2,196	21,302	28,070	29,093	29,620	30,443	30,443
151060188	200	1,045	18,651	24,608	25,305	25,464	25,747	25,747
151060098	200	1,760	20,271	26,610	27,470	27,819	28,309	28,309
151060062	200	1,499	19,808	26,105	26,934	27,256	27,761	27,761

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



También es posible notar, en la figura 5.2, cómo, 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 100% (tabla 5.2). Hay que señalar que esta gráfica (así como las subsiguientes para los diferentes tipos de AGEBS), representa cómo los daños a la vivienda y sus bienes van aumentando de forma aproximadamente lineal con el nivel de las aguas, pero llega un punto en que se incrementan más lentamente hasta que se producen los

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 ²
Muy alto	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

R²: 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

daños estructurales en la vivienda, lo que implica una afectación del 100% Estrela (1996).

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 ya que al tener un mayor ingreso las familias que viven en estas 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 para 2009 y su equivalencia en número de salarios mínimos.

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)								
	Precio unitario	0	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radio o radiograbadora	3,500			90	100	100	100	100	100
TV	5,000			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	400			90	100	100	100	100	100
Licuada	700			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	4,000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	3,000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	100						100	100	100
Boiler	1,500					90	100	100	100
Auto	20,000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	6,000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	1,500				90	100	100	100	100
Comedor (1)	3,000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	3,000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	4,000			90	100	100	100	100	100
Ropa (1)	5,000			50	100	100	100	100	100

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

IM Alto Clave UG	Altura lámina de agua (m)							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
110020001	600	9,913	29,791	40,005	42,009	44,236	46,172	46,172
110020047	600	8,328	28,064	37,857	39,598	41,618	43,333	43,333
110160001	600	9,466	29,436	39,851	41,852	44,133	46,342	46,342
110180030	600	7,507	27,514	36,957	38,507	40,220	41,635	41,635
110230288	600	9,598	29,466	39,636	41,587	43,415	45,351	45,351
110270043	600	8,949	28,771	38,491	40,259	42,302	43,842	43,842
110280048	600	8,810	28,707	38,271	39,984	41,860	43,241	43,241
110280060	600	8,908	28,870	38,799	40,626	42,629	44,385	44,385
110280013	600	9,288	28,805	38,864	40,768	42,792	44,694	44,694
110280031	600	8,698	28,555	38,348	40,115	42,018	43,667	43,667
110280058	600	8,394	28,208	37,724	39,398	41,200	42,593	42,593
140160089	600	9,035	28,758	38,918	40,804	42,226	44,250	44,250
140330001	600	10,619	30,444	41,494	43,787	46,159	48,917	48,917
140470001	600	9,933	29,880	40,195	42,215	44,059	46,096	46,096
150120001	600	7,414	26,852	36,402	38,015	39,817	41,424	41,424
150140057	600	6,815	25,970	35,379	36,909	38,655	40,224	40,224
150270001	600	7,386	26,960	36,481	38,079	39,862	41,425	41,425
150420029	600	7,723	27,171	37,077	38,807	40,679	42,634	42,634
150480013	600	6,389	25,533	34,387	35,726	37,123	38,148	38,148
150510022	600	6,588	26,093	34,908	36,233	37,579	38,493	38,493
150510024	600	7,936	27,482	37,182	38,870	40,613	42,301	42,301
150510028	600	6,594	25,855	34,797	36,166	37,549	38,629	38,629
150540052	600	7,641	27,337	36,715	38,286	39,890	41,249	41,249
150540035	600	7,694	27,211	36,612	38,197	39,874	41,273	41,273
150670001	600	7,517	27,153	36,516	38,081	39,799	41,164	41,164
150760001	600	8,292	27,799	37,554	39,306	41,192	42,893	42,893
150980001	600	7,021	26,180	35,469	36,986	38,822	40,233	40,233
151060050	600	6,707	26,180	35,242	36,651	38,034	39,203	39,203
151060088	600	7,936	27,184	36,834	38,558	40,420	42,079	42,079
151150001	600	7,546	27,316	36,684	38,244	39,962	41,314	41,314
160040001	600	8,874	28,626	38,689	40,543	42,586	44,520	44,520
160110001	600	9,811	29,579	40,007	42,044	44,226	46,428	46,428
160600001	600	9,486	29,336	39,698	41,686	43,391	45,556	45,556
160670001	600	9,384	29,125	39,406	41,374	43,653	45,753	45,753
161050001	600	9,487	29,281	39,667	41,662	43,680	45,878	45,878
161060001	600	9,328	28,910	38,970	40,878	42,722	44,609	44,609
150550001	600	8,468	27,961	38,292	40,216	42,375	44,682	44,682
150620023	600	6,680	26,375	35,415	36,810	38,317	39,438	39,438
150190005	600	7,649	27,020	36,444	38,040	39,779	41,227	41,227
150900039	600	7,369	27,250	36,679	38,238	39,977	41,408	41,408
150900001	600	8,294	27,920	37,799	39,580	41,729	43,551	43,551
150730001	600	7,143	26,800	36,125	37,644	39,229	40,602	40,602
150720001	600	7,404	27,335	36,595	38,112	39,813	41,046	41,046

Con estos datos, se construyó la familia de curvas de daños potenciales por inundación para viviendas en AGEB con índice de marginación alto, curvas que se presentan 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).

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

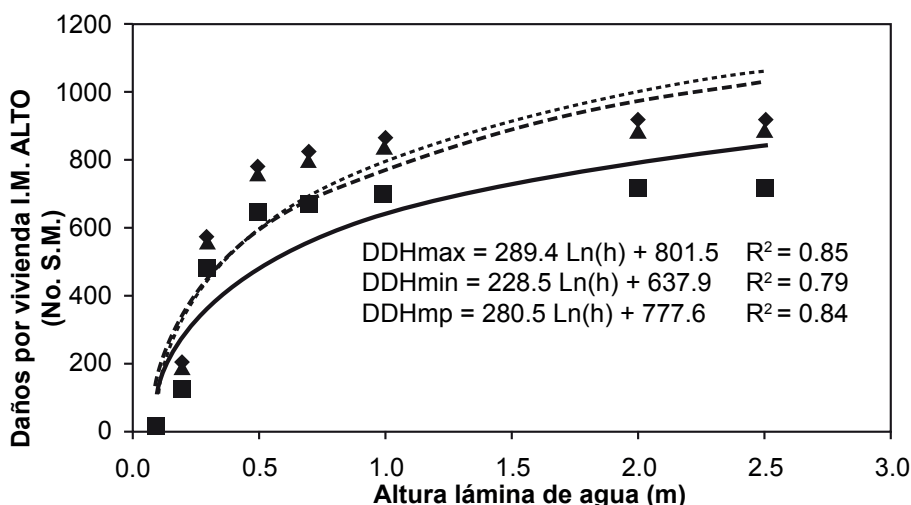


Tabla 5.7.
Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM alto

Índice de marginación	Ecuación	R ²
Alto	$DDH_{max} = 289.63 \ln(h) + 801.56$	0.85
	$DDH_{min} = 228.58 \ln(h) + 637.93$	0.8
	$DDH_{mp} = 280.51 \ln(h) + 777.60$	0.84

R²: 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

CASO DE VIVIENDA UBICADA EN UNA AGEB CON UN IM MEDIO

Para obtener la curva de daños potenciales para viviendas de la clase correspondiente a un índice de marginación medio 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 que en los anteriores casos (Anexo II), y que los 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 planta. Generalmente, en la planta baja se encuentran 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, precio unitario de cada uno de estos y porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda de una 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, 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)

IM Medio		Altura lámina de agua (m)								
1 Planta										
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5	
Radio o radiograbadora	6,700			90	100	100	100	100	100	
TV	12,500			90	100	100	100	100	100	
Videocasetera	950			90	100	100	100	100	100	
Licuadaora	1,100			90	100	100	100	100	100	
Refrigerador	6,000		70	80	90	100	100	100	100	
Lavadora	7,000		70	80	90	100	100	100	100	
Teléfono	300						100	100	100	
Boiler	2,500					90	100	100	100	
Auto	50,000		10	20	50	60	70	100	100	
Computadora	9,000		50	60	70	90	100	100	100	
Estufa (1)	3,000				90	100	100	100	100	
Cocina (1)	8,000		30	40	50	80	100	100	100	
Comedor (1)	6,500	20	30	50	80	100	100	100	100	
Sala (1)	6,500	20	30	50	80	90	100	100	100	
Recámaras-colchón (3)	8,000			90	100	100	100	100	100	
Librero (2)	2,000	20	30	50	80	90	100	100	100	
Ropa (1)	12,000			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)

IM Medio 1 Planta Clave UG	Altura lámina de agua (m)							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
110010001	6,600	21,331	65,660	90,146	98,284	102,741	107,554	107,554
110110001	6,600	22,337	67,393	91,517	100,073	104,392	108,579	108,579
110190001	6,600	21,699	66,180	91,324	100,313	105,045	110,507	110,507
110240001	6,600	24,551	69,476	95,544	105,351	110,373	116,396	116,396
110270001	6,600	25,798	70,832	97,788	107,827	113,178	119,972	119,972
110280001	6,600	22,294	67,069	91,265	100,059	104,458	108,765	108,765
140180001	6,600	23,687	68,379	94,019	103,340	108,224	113,925	113,925
150420001	6,600	21,928	65,935	91,475	100,899	105,910	111,820	111,820
150510020	6,600	18,811	62,884	85,767	93,740	97,746	101,186	101,186
150510001	6,600	23,165	67,352	92,678	102,196	107,087	112,567	112,567
150510020	6,600	18,811	62,884	85,767	93,740	97,746	101,186	101,186
150540043	6,600	19,249	63,483	86,396	94,175	98,143	101,538	101,538
151060084	6,600	19,621	63,468	87,175	95,417	99,749	104,002	104,002
151060072	6,600	21,782	65,918	91,101	100,348	105,220	110,741	110,741
150620001	6,600	19,138	63,080	86,199	94,333	98,456	102,119	102,119
150480001	6,600	21,131	64,720	89,367	98,426	103,125	108,220	108,220
150620014	6,600	19,475	63,126	86,804	94,986	99,279	103,544	103,544
160200001	6,600	16,145	58,598	80,281	87,031	90,663	93,355	93,355
140660001	6,600	23,288	68,148	93,445	102,614	107,356	112,721	112,721
140660011	6,600	24,345	69,010	94,943	104,343	109,288	115,222	115,222
140300002	6,600	26,514	70,343	98,015	108,620	114,353	121,965	121,965
140160001	6,600	22,619	67,137	92,222	101,170	105,835	111,105	111,105
140630001	6,600	25,113	70,022	96,407	106,055	111,190	117,475	117,475
110230001	6,600	21,185	65,370	89,499	97,547	101,918	106,377	106,377
MAX (\$)	6,600	26,514	70,832	98,015	108,620	114,353	121,965	121,965
MIN (\$)	6,600	16,145	58,598	80,281	87,031	90,663	93,355	93,355
MP (\$)	6,600	24,995	69,041	95,418	105,459	110,883	117,775	117,775
MAX (No. S.M.)	124	498	1,332	1,843	2,042	2,150	2,293	2,293
MIN (No. S.M.)	124	304	1,102	1,509	1,636	1,705	1,755	1,755
MP (No. S.M.)	124	470	1,298	1,794	1,983	2,085	2,214	2,214

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)

Con un im.medio: viviendas de dos plantas (número de unidades entre paréntesis)																
IM Medio	Altura lámina de agua (m)															
2 Plantas																
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.2	3.5	
Radio o radiograbadora	6,700				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
TV	12,500				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Videocasetera	950				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Licudadora	1,100				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Refrigerador	6,000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Lavadora	7,000		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	2,500					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Auto	50,000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100	
Computadora	9,000										50	60	70	90	100	
Estufa (1)	3,000				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Cocina (1)	8,000		30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Comedor (1)	6,500	20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Sala(1)	6,500	20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Recámaras-colchón (3)	8,000											90	100	100	100	
Librero (2)	2,000									20	30	50	80	90	100	
Ropa (1)	12,000											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	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1	2	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.2	3.5
110010001	2,600	20,302	32,577	50,627	58,273	62,284	67,097	67,097	67,897	68,526	96,971	106,617	107,108	107,554	
110110001	2,600	21,212	34,613	51,862	59,888	63,742	67,929	67,929	68,729	69,454	97,919	107,584	108,114	108,579	
110190001	2,600	20,700	32,699	51,845	60,355	64,646	70,109	70,109	70,909	71,508	99,948	109,588	110,068	110,507	
110240001	2,600	23,418	35,461	55,878	65,151	69,707	75,729	75,729	76,529	77,262	105,729	115,396	115,929	116,396	
110270001	2,600	24,347	35,921	57,677	67,055	71,875	78,670	78,670	79,470	80,521	109,051	118,782	119,442	119,972	
110280001	2,600	21,188	34,231	51,637	59,910	63,847	68,154	68,154	68,954	69,659	98,120	107,781	108,303	108,765	
140180001	2,600	22,538	34,560	54,330	63,112	67,526	73,227	73,227	74,027	74,776	103,246	112,916	113,455	113,925	
150420001	2,600	20,640	31,808	51,591	60,420	64,933	70,843	70,843	71,643	72,532	101,029	110,727	111,323	111,820	
150510020	2,600	17,846	30,793	46,336	53,843	57,416	60,856	60,856	61,656	62,221	90,654	100,287	100,753	101,186	
150510001	2,600	21,778	33,395	52,657	61,541	65,915	71,394	71,394	72,194	73,181	101,698	111,415	112,050	112,567	
150510020	2,600	17,846	30,793	46,336	53,843	57,416	60,856	60,856	61,656	62,221	90,654	100,287	100,753	101,186	
150540043	2,600	18,299	31,440	46,986	54,305	57,843	61,238	61,238	62,038	62,588	91,018	100,648	101,108	101,538	
151060084	2,600	18,595	30,761	47,658	55,409	59,296	63,549	63,549	64,349	64,976	93,421	103,066	103,557	104,002	
151060072	2,600	20,432	31,978	51,132	59,759	64,120	69,641	69,641	70,441	71,391	99,901	109,611	110,231	110,741	
150620001	2,600	18,053	30,695	46,600	54,220	57,886	61,550	61,550	62,350	63,035	91,492	101,149	101,663	102,119	
150480001	2,600	19,887	31,191	49,546	58,027	62,238	67,333	67,333	68,133	68,977	97,465	107,154	107,732	108,220	
150620014	2,600	18,447	30,409	47,286	54,976	58,824	63,089	63,089	63,889	64,517	92,962	102,608	103,099	103,544	
160200001	2,600	15,280	27,125	40,990	47,313	50,533	53,224	53,224	54,024	54,900	82,903	92,516	92,942	93,355	
140660001	2,600	22,234	34,666	53,889	62,557	66,848	72,214	72,214	73,014	73,668	102,118	111,769	112,271	112,721	
140660011	2,600	23,176	35,011	55,225	64,077	68,548	74,482	74,482	75,282	76,052	104,526	114,200	114,748	115,222	
140300002	2,600	24,758	34,521	57,477	67,300	72,441	80,054	80,054	80,854	82,210	110,801	120,592	121,374	121,965	
140160001	2,600	21,637	33,806	52,767	61,241	65,471	70,740	70,740	71,540	72,122	100,559	110,195	110,668	111,105	
140630001	2,600	23,782	35,596	56,465	65,501	70,130	76,415	76,415	77,215	78,145	106,651	116,357	116,969	117,475	
110230001	2,600	20,129	32,489	49,940	57,485	61,404	65,863	65,863	66,663	67,320	95,772	105,423	105,926	106,377	
MAX (\$)	2,600	24,758	35,921	57,677	67,300	72,441	80,054	80,054	80,854	82,210	110,801	120,592	121,374	121,965	
MIN (\$)	2,600	15,280	27,125	40,990	47,313	50,533	53,224	53,224	54,024	54,900	82,903	92,516	92,942	93,355	
MP (\$)	2,600	23,370	34,633	55,233	64,373	69,233	76,125	76,125	76,925	78,150	106,715	116,480	117,210	117,775	
MAX (No. S.M.)	49	465	675	1,084	1,265	1,362	1,505	1,505	1,520	1,546	2,083	2,267	2,282	2,293	
MIN (No. S.M.)	49	287	510	771	890	950	1,001	1,001	1,016	1,024	1,559	1,739	1,747	1,755	
MP (No. S.M.)	49	439	651	1,038	1,210	1,302	1,431	1,431	1,446	1,469	2,006	2,189	2,204	2,214	

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, las cuales se presentan en las figuras 5.4 y 5.5. Para el caso de la vivienda de una 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 se ajustó un modelo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0.87 para la curva de costo más probable (tabla 5.12).

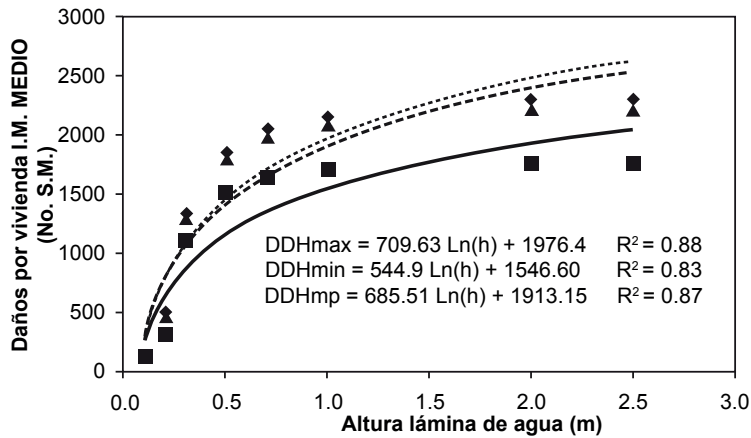


Figura 5.4 Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta

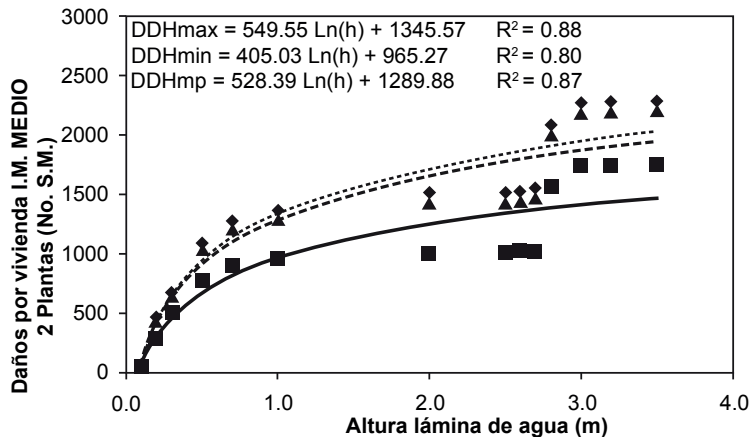


Figura 5.5 Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas

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

INDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R ²
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

R²: 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

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 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); lo cual está relacionado con el mayor ingreso de las familias que suelen habitarlas.

En las tablas 5.13 y 5.14 se presenta la relación de bienes, precio unitario de cada uno de éstos y 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 potenciales para vivienda de una 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 presentan 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 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 Bienes en la vivienda	Precio unitario	Altura lámina de agua (m)							
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radio o radiograbadora	7,000			90	100	100	100	100	100
TV	12,500			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	1,000			90	100	100	100	100	100
Licuadora	1,200			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	6,000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	9,000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	300						100	100	100
Boiler	3,250					90	100	100	100
Auto	60,000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	10,000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	3,300				90	100	100	100	100
Cocina (1)	12,000		30	40	50	80	100	100	100
Comedor (1)	7,000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	10,000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	12,000			90	100	100	100	100	100
Librero (2)	4,000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (1)	12,500			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 Clave UG	Altura lámina de agua (m)							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
150420001	5,800	27,781	84,408	115,778	128,235	135,252	142,344	142,344
140630001	5,800	38,699	89,112	121,471	134,165	141,322	148,864	148,864
110270001	5,800	39,546	90,085	123,131	136,309	143,724	151,877	151,877
110170001	5,800	37,323	87,671	118,572	130,689	137,358	143,503	143,503
110020001	5,800	36,232	86,538	116,981	129,026	135,559	141,368	141,368
110230001	5,800	34,142	83,785	113,468	124,195	130,441	135,792	135,792
MAX (\$)	5,800	39,546	90,085	123,131	136,309	143,724	151,877	151,877
MIN (\$)	5,800	27,781	83,785	113,468	124,195	130,441	135,792	135,792
MP (\$)	5,800	37,823	89,163	121,716	134,535	141,779	149,522	149,522
MAX (No. S.M.)	109	743	1,694	2,315	2,563	2,702	2,855	2,855
MIN (No. S.M.)	109	522	1,575	2,133	2,335	2,452	2,553	2,553
MP (No. S.M.)	109	711	1,676	2,288	2,529	2,666	2,811	2,811

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)

IM Medio		Altura lámina de agua (m)													
2 Plantas															
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.2	3.5
R a d i o o radiograbadora	7,000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TV	12,500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	1,000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Licua d o r a	1,200			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
R e f r i g e r a d o r	6,000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lavadora	9,000		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	3,250					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Auto	60,000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100
Computadora	10,000										50	60	70	90	100
Estufa (1)	3,300				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cocina (1)	12,000		30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Comedor (1)	7,000		20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sala(1)	10,000		20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	12,000											90	100	100	100
Librero (2)	4,000									20	30	50	80	90	100
Ropa (1)	12,500												50	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		0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1	2	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.2	3.5
150420001		3,400	25,638	36,379	60,118	71,558	77,666	84,758	86,358	87,701	128,059	140,418	141,435	142,344	
140630001		3,400	36,510	40,726	65,747	77,404	83,644	91,186	91,186	92,786	94,175	134,543	146,911	147,947	148,864
110270001		3,400	37,222	41,131	67,218	79,307	85,777	93,931	93,931	95,531	97,054	137,449	149,843	150,933	151,877
110170001		3,400	35,139	40,223	62,853	73,937	79,689	85,834	85,834	87,434	88,818	129,185	141,552	142,586	143,503
110020001		3,400	34,266	39,575	61,567	72,666	78,325	84,134	84,134	85,734	86,901	127,224	139,548	140,494	141,368
110230001		3,400	32,256	37,225	58,169	67,982	73,370	78,721	78,721	80,321	81,406	121,713	134,020	134,935	135,792
MAX (\$)		3,400	37,222	41,131	67,218	79,307	85,777	93,931	93,931	95,531	97,054	137,449	149,843	150,933	151,877
MIN (\$)		3,400	25,638	36,379	58,169	67,982	73,370	78,721	78,721	80,321	81,406	121,713	134,020	134,935	135,792
MP (\$)		3,400	27,335	37,075	59,494	69,640	75,187	80,948	80,948	82,548	83,698	124,018	136,338	137,278	138,147
MAX (No. S.M.)	64	700	773	1,264	1,491	1,613	1,766	1,766	1,796	1,825	2,584	2,817	2,838	2,855	
MIN (No. S.M.)	64	482	684	1,094	1,278	1,379	1,480	1,480	1,510	1,530	2,288	2,520	2,537	2,553	
MP (No. S.M.)	64	514	697	1,119	1,309	1,414	1,522	1,522	1,552	1,574	2,332	2,563	2,581	2,597	

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

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

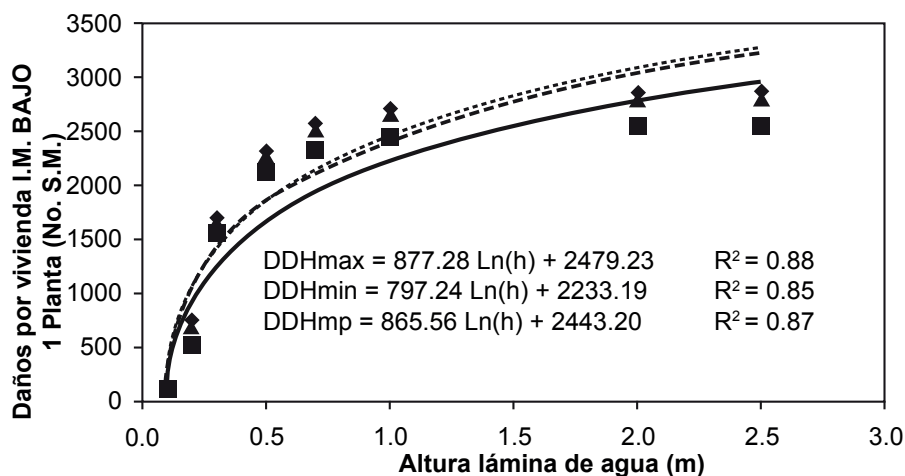


Figura 5.6 Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales.
AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta

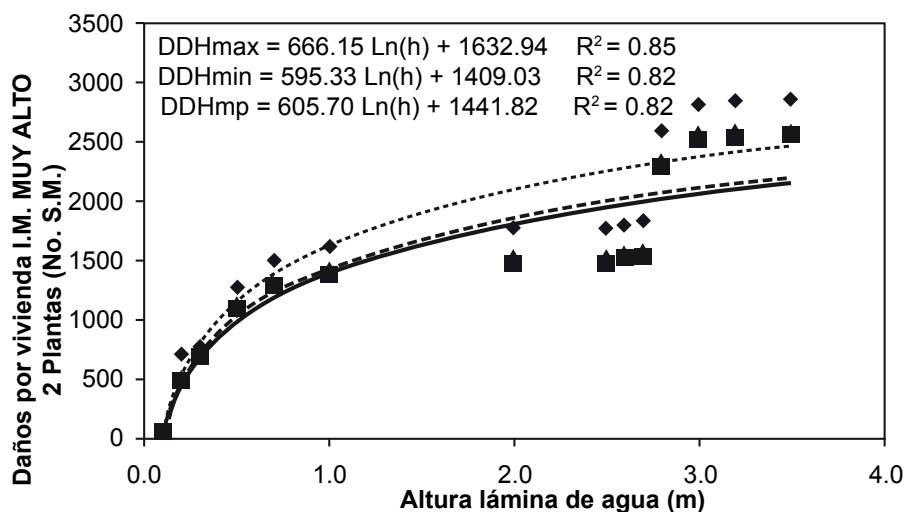


Figura 5.7 Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales.
AGEB con un bajo. Vivienda de dos plantas

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 ²
Bajo vivienda una planta	DDHmax = $877.28 \ln(h) + 2,479.23$	0.88
	DDHmin = $797.24 \ln(h) + 2,233.19$	0.85
	DDHmp = $865.56 \ln(h) + 2,443.20$	0.87
	DDHmax = $666.15 \ln(h) + 1,632.94$	0.85
Bajo vivienda dos planta	DDHmin = $595.33 \ln(h) + 1,409.03$	0.82
	DDHmp = $605.70 \ln(h) + 1,441.82$	0.82

R²: 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

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 cuyo costo es mayor (tabla 5.18); se presenta la relación de bienes, precio unitario de cada uno de éstos y 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 grafican 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 con 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		Altura lámina de agua (m)								
1 Planta										
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5	
Radio o radiograbadora	10,000			90	100	100	100	100	100	
TV	20,000			90	100	100	100	100	100	
Videocasetera	1,500			90	100	100	100	100	100	
Licuada	1,500			90	100	100	100	100	100	
Refrigerador	8,000		70	80	90	100	100	100	100	
Lavadora	15,000		70	80	90	100	100	100	100	
Teléfono	5,000						100	100	100	
Boiler	5,000					90	100	100	100	
Auto	100,000		10	20	50	60	70	100	100	
Computadora	12,000		50	60	70	90	100	100	100	
Estufa (1)	5,000				90	100	100	100	100	
Cocina (1)	16,000		30	40	50	80	100	100	100	
Comedor (1)	10,000	20	30	50	80	100	100	100	100	
Sala (1)	12,000	20	30	50	80	90	100	100	100	
Recámaras-colchón (3)	20,000			90	100	100	100	100	100	
Librero (2)	4,000	20	30	50	80	90	100	100	100	
Ropa (1)	20,000			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		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	2.0	2.5
161080001		6,800	125,423	125,423	164,296	181,819	193,569	204,601	204,601
110170359		6,800	137,931	137,931	190,419	214,744	233,137	257,130	257,130
150140001		6,800	123,228	123,228	164,287	183,150	195,908	209,584	209,584
MAX (\$)		6,800	137,931	137,931	190,419	214,744	233,137	257,130	257,130
MIN (\$)		6,800	123,228	123,228	164,287	181,819	193,569	204,601	204,601
MP (\$)		6,800	125,381	125,381	168,114	186,641	199,363	212,294	212,294
MAX (No. S.M.)		128	1,089	2,593	3,580	4,037	4,383	4,834	4,834
MIN (No. S.M.)		128	772	2,317	3,089	3,418	3,639	3,847	3,847
MP (No. S.M.)		128	818	2,357	3,161	3,509	3,748	3,991	3,991

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)

IM Muy bajo 2 Plantas		Altura lámina de agua (m)													
Bienes en la vivienda	Precio unitario	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.2	3.5
Radio o radiograbadora	10,000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TV	20,000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	1,500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Licuada	1,500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Refrigerador	8,000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lavadora	15,000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Teléfono	5,000						100	100	100	100	100	100	100	100	100
Boiler	5,000					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Auto	100,000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100
Computadora	12,000										50	60	70	90	100
Estufa (1)	5,000				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cocina (1)	16,000		30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Comedor (1)	10,000	20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sala(1)	12,000	20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	20,000											90	100	100	100
Librero (2)	4,000									20	30	50	80	90	100
Ropa (1)	20,000											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		0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1	2	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.2	3.5
161080001	4,400	39,289	57,299	92,999	109,465	120,286	131,318	131,318	132,918	134,360	192,088	202,616	203,673	204,601	
110170359	4,400	52,799	57,678	115,053	137,159	154,042	178,035	178,035	179,635	183,983	242,292	253,402	255,621	257,130	
150140001	4,400	38,462	52,926	92,505	110,173	121,933	135,609	135,609	137,209	138,997	196,794	207,391	208,586	209,584	
MAX (\$)	4,400	52,799	57,678	115,053	137,159	154,042	178,035	178,035	179,635	183,983	242,292	253,402	255,621	257,130	
MIN (\$)	4,400	38,462	52,926	92,505	109,465	120,286	131,318	131,318	132,918	134,360	192,088	202,616	203,673	204,601	
MP (\$)	4,400	50,699	56,982	111,751	133,103	149,098	171,194	171,194	172,794	176,716	234,940	245,964	248,013	249,438	
MAX (No. S.M.)	83	993	1,084	2,163	2,579	2,896	3,347	3,347	3,377	3,459	4,555	4,764	4,806	4,834	
MIN (No. S.M.)	83	723	995	1,739	2,058	2,261	2,469	2,469	2,499	2,526	3,611	3,809	3,829	3,847	
MP (No. S.M.)	83	953	1,071	2,101	2,502	2,803	3,219	3,219	3,249	3,322	4,417	4,624	4,663	4,690	

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

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

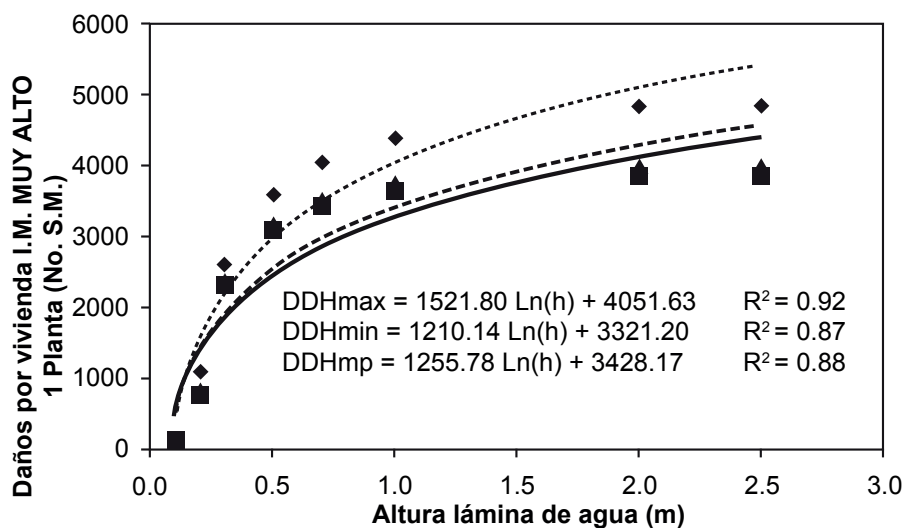


Figura 5.7.1 Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta

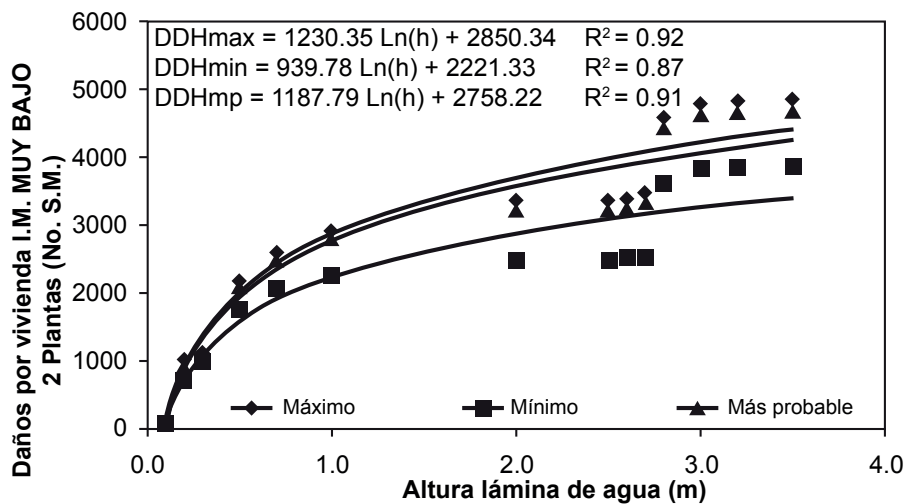


Figura 5.8 Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas

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 ²
Muy bajo Vivienda una planta	DDHmax = $1521.80\ln(h) + 4051.63$	0.92
	DDHmin = $1210.14\ln(h) + 3321.20$	0.87
	DDHmp = $1255.78\ln(h) + 3428.17$	0.88
Muy bajo Vivienda dos plantas	DDHmax = $1230.35\ln(h) + 2850.34$	0.92
	DDHmin = $939.78\ln(h) + 2221.33$	0.87
	DDHmp = $1187.79\ln(h) + 2758.22$	0.91

R²: 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 toma en cuenta un factor de corrección tal y como lo define Estrada (1996) si la inundación dura más de 24 horas se podrán incrementar los daños tangibles directos, obtenidos a partir de la aplicación de las curvas, en un 6 por ciento.

Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas agrícolas

Maíz

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

El 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 ésta; si 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 son considerables (pérdida total de la cosecha), que 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 contaminados por aguas residuales, entonces se acelera el deterioro de la planta.

Cuando la planta de maíz tiene una altura superior a 30 cm, 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 perjudicada por la corriente de agua, ya que su fuerza origina 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 grano y 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, se establecieron las curvas de daños potenciales para el caso de un cultivo de maíz de grano, tanto bajo riego como de temporal, (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.

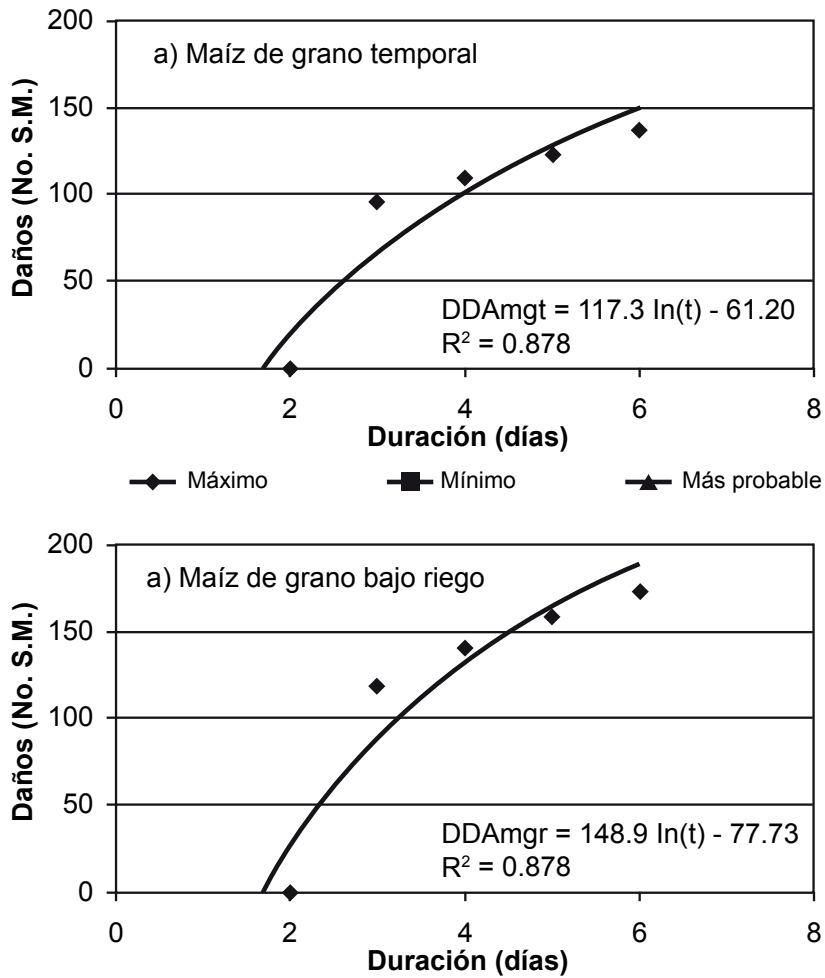


Figura 5.9 Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz de grano temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró et al., 2007a)

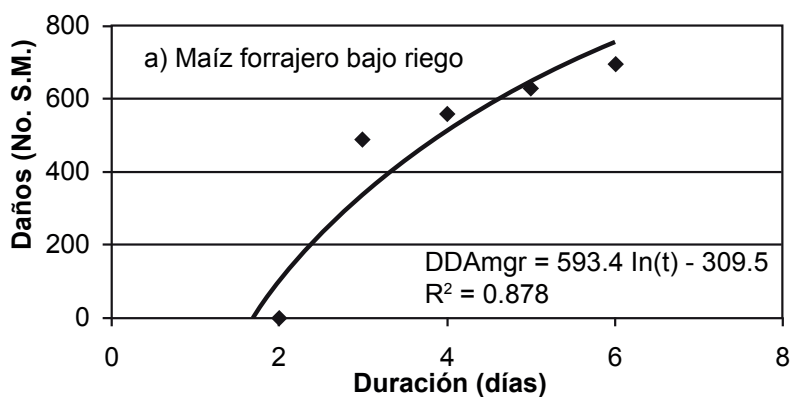
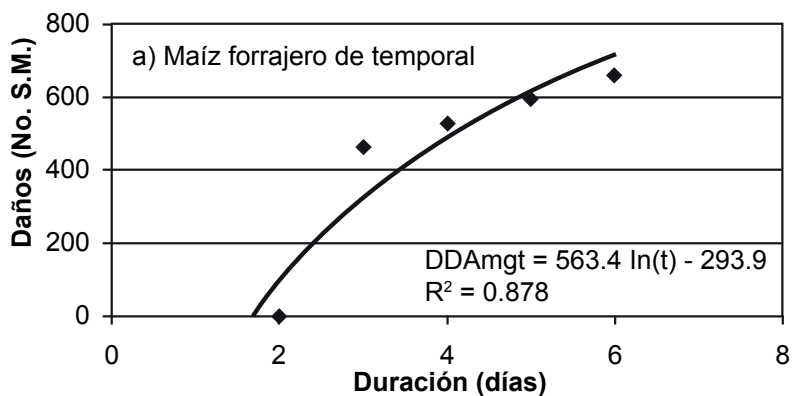


Figura 5.10 Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz forrajero de temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró *et al.*, 2007a)

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.

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

Tipo de cultivo	Ecuación	R ²
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; si fuese menor a esta altura no se aplicarían, y se supondría que se produce una afectación de 100% en los cultivos (pérdida total).

En caso 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.

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 el maíz de grano, sorgo grano, trigo grano, cebada de grano, frijol, brócoli y avena forrajera; y entre los cultivos perennes, destacan alfalfa verde, espárrago y 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 cultivos expuestos a los efectos de las inundaciones por la extensión de sus sembradíos.

Para el caso del sorgo grano resultaría interesante la realización a 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 estadios de crecimiento de las plantas, por cuanto los efectos pueden ser variados a lo largo del ciclo productivo (Cepal, 2003).

DAÑOS TANGIBLES INDIRECTOS EN ZONAS HABITACIONALES Y AGRÍCOLAS

Los daños tangibles indirectos son causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas en las zonas inundada; 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 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 propuestos por Kates (1965) son los que se emplean en este estudio. El valor de este porcentaje para el caso de zonas habitacionales es de 15% y para las zonas agrícolas de 10 %; es decir, a partir del valor de los daños potenciales directos en una zona habitacional determinada habrá que calcular 15% de ese valor para poder establecer la cuantía de los daños indirectos.

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 AGEBS, más los daños indirectos calculados con base en la cuantificación del 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, habría 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:

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

- DT: Daños tangibles totales por inundación (Núm. 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_j : 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 (Núm. de salarios mínimos). El factor duración de la inundación se incluirá si éste es de más de 24 horas (6%)
- NV_j : Número de viviendas ubicadas en la AGEB del tipo j.
- f_h : 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_i : 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 (Núm. de salarios mínimos)
- S_i : Área que ocupa el cultivo i (ha)
- f_a : Porcentaje aplicado para establecer los daños indirectos en zonas agrícolas (10%)
-

CASO DE ESTUDIO: SUBCUENCA DEL RÍO TEJALPA

Características generales

El método expuesto 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 (que se conforma por la confluencia de los arroyos La Ciervita, Buenavista y Paso de Vásquez), siguiendo el arroyo hasta San Francisco Tlalcilcalpan. 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 km² (figura 5.12).

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 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.

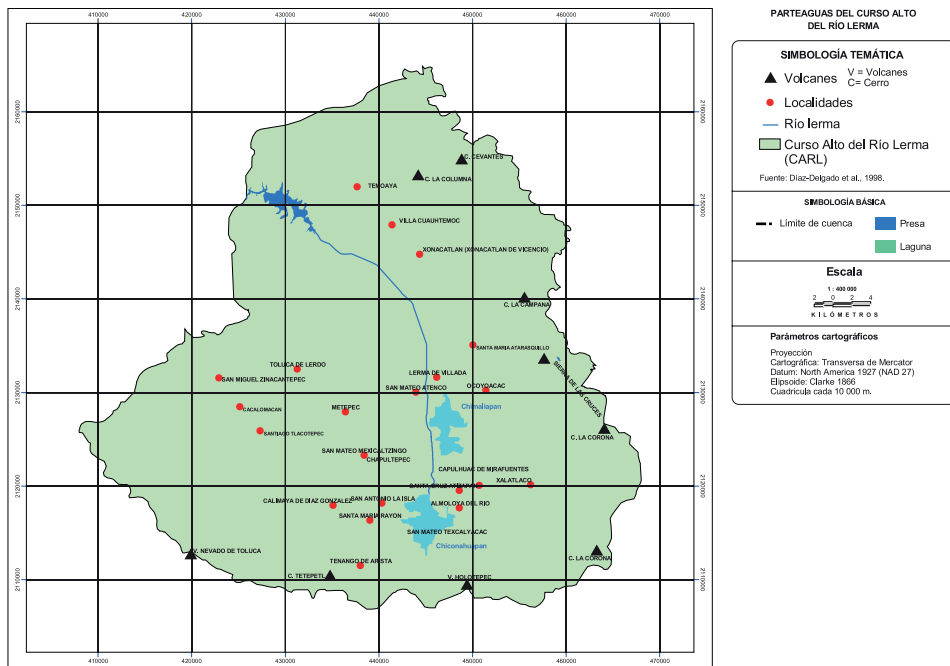


Figura 5.11 Localización de la subcuenca del río Tejalpa (curso alto del río Lerma) (Díaz-Delgado *et al.*, 1998)

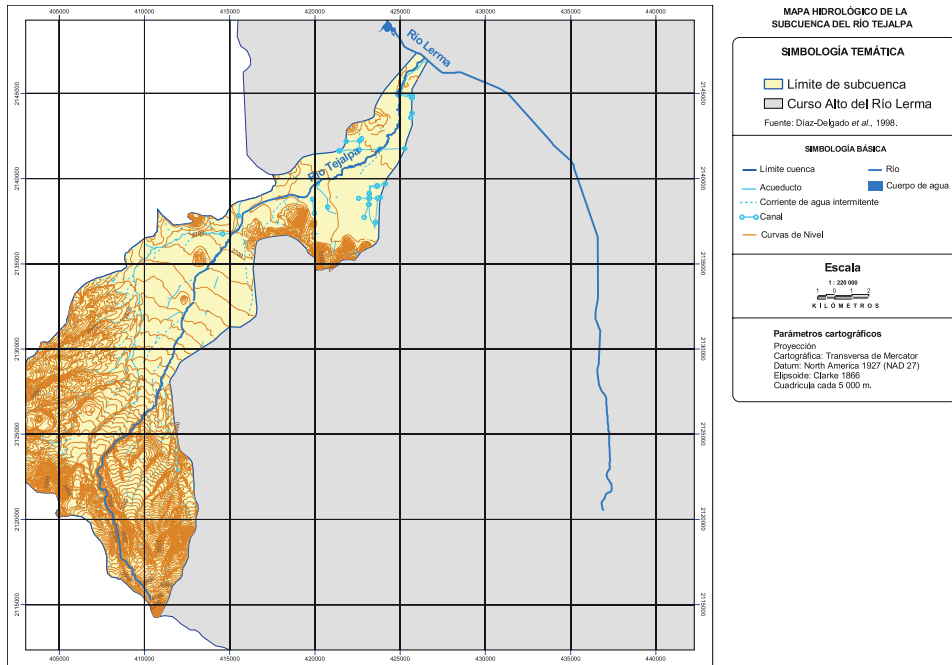


Figura 5.12 Mapa hidrológico de la subcuenca del río Tejalpa (Díaz-Delgado *et al.*, 1998)

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 ² Digitalización: 242.8 km ²	
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_{ci})	$R_{ci} = 2.13$	
Coefficiente de compacidad K_c	$K_c = 1.88$	Este valor indica que la cuenca tiende a ser un rectángulo
Factor de forma R_f	$R_f = 0.1822$	Este dato confirma la forma alargada de la cuenca
Coefficiente de forma K_f	$K_f = 0.355$	Representa la relación entre longitud media y longitud axial
Radio de elongación R_e	$R_e = 0.48155$	La cuenca tiene un relieve pronunciado
Radio de circularidad R_{ci}	$R_{ci} = 0.279$	Indica la forma alargada de la subcuenca
Relación hipsométrica R_h	$R_h = 4.5$	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_m	$I_m = 3.88 \%$	
Densidad de drenaje D	$D = 1.285 \text{ km/km}^2$	
Constante de estabilidad del río	$C = 0.7782$	
Densidad hidrográfica F	$F = 1.0296 \text{ km}^{-2}$	Existe 1 corriente por km ² de superficie
Pendiente longitudinal del río Tejalpa	$P_m = 3\%$	
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
Coefficiente sinuosidad topográfica S_T	$S_T = 0.8148$	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
Coefficiente sinuosidad hidráulica S_h	$S_h = 0.764$	

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

Municipio	Área del municipio (km ²)	Área en la subcuenca (km ²)	Habitantes 2000	Habitantes 2005
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
Total	1449.11	242.8	955,457	1,077,453

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y METEOROLÓGICAS

En el río Tejalpa existe una estación hidrométrica, Calixtlahuaca, localizada en este mismo poblado (municipio de Toluca), siendo sus coordenadas $99^{\circ}41'12''$ y $N 19^{\circ} 20'20''$. El área de la cuenca hasta este punto de aforo es 225 km^2 (SRH, 1970).

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

- Almoloya de Juárez
- Nevado de Toluca
- San Francisco Tlalcilalcalpan
- Santa María del Monte
- Toluca – Oficinas
- El Molino
- Loma Alta
- San Antonio Buenavista
- San José del Contadero
- San 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.

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 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 base, el mapa de uso del suelo elaborado por INEGI en 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 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)

Probabilidad de ocurrencia	Período de retorno (años)	Caudal máximo para toda la cuenca (m ³ /s)
0.9	10	91.41
0.95	20	105.26
0.98	50	114.46
0.99	100	121.67

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 62%, en segundo lugar, el de agricultura de temporal con, aproximadamente, 28%, y finalmente, el suelo urbano con 3.4%. El resto de usos del suelo no presenta grandes afectaciones ya que obtienen porcentajes inferiores al 1 por ciento.

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

Uso del suelo	Área (ha)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,371.40	33.7	62.8
Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	16.7	0.2	0.3
Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1,501.70	15	28
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
Zona urbana	178.9	1.8	3.4
Total	5,200.60	52	100

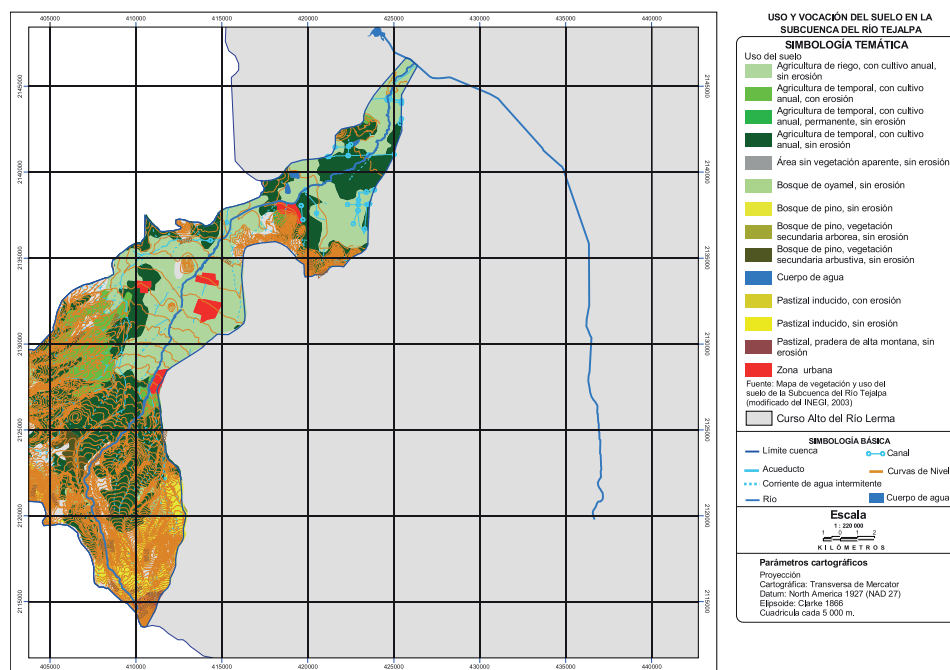


Figura 5.13 Mapa de vegetación y uso del suelo de la subcuenca del río Tejalpa (modificado del INEGI, 2003)

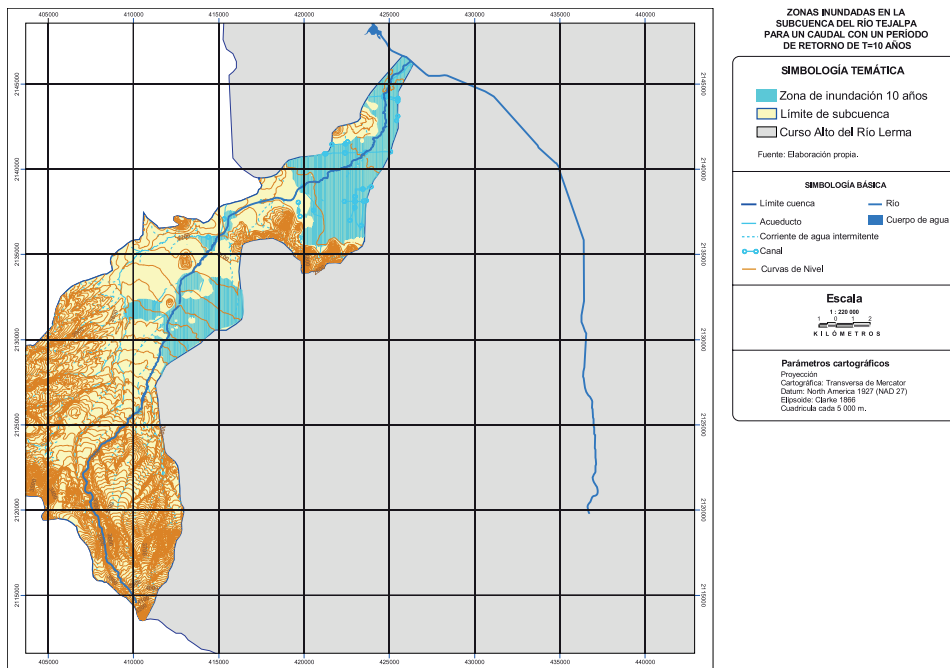


Figura 5.14 Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=10 años

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 cómo se localizan las zonas inundables 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 km², para T=50 años es de 56.7 km² y para T=100 años, es de 57.2 km². 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 5.28.
Superficie afectada según uso del suelo para un
caudal con un T= 20 años.

Uso del suelo	Área (ha)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,540.70	35.4	62.1
Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	26.8	0.3	0.5
Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1,644.60	16.4	28.8
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
Zona urbana	183.1	1.8	3.3
Total	5,530.00	55.3	100

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

Uso del suelo	Área (ha)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,590.30	35.9	61.4
Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	41.4	0.4	0.7
Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1,698.20	17	29.1
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
Pastizal inducido, con erosión	45.8	0.5	0.8
Zona urbana	197.9	2	3.5
Total	5,667.40	56.7	100

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

USO DEL SUELO	AREA (ha)	AREA (km ²)	PORCENTAJE (%)
Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,595.90	36	61.2
Agricultura de temporal, con cultivo anual, con erosión	55.2	0.6	0.9
Agricultura de temporal, con cultivo anual, sin erosión	1,719.20	17.2	29.2
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
Pastizal inducido, con erosión	46	0.5	0.8
Zona urbana	208.2	2.1	3.6
Total	5,720.00	57.2	100

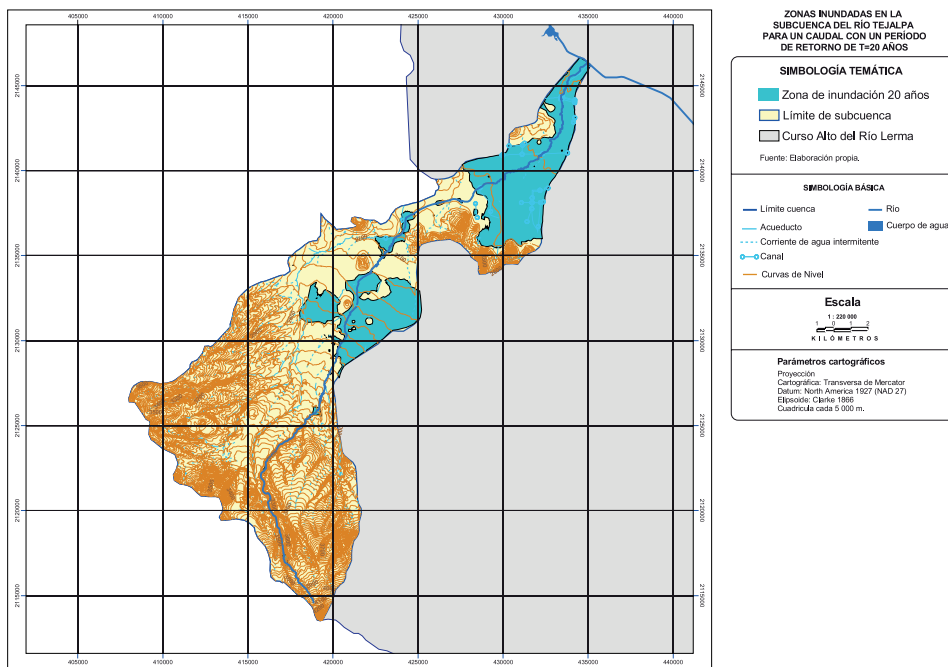
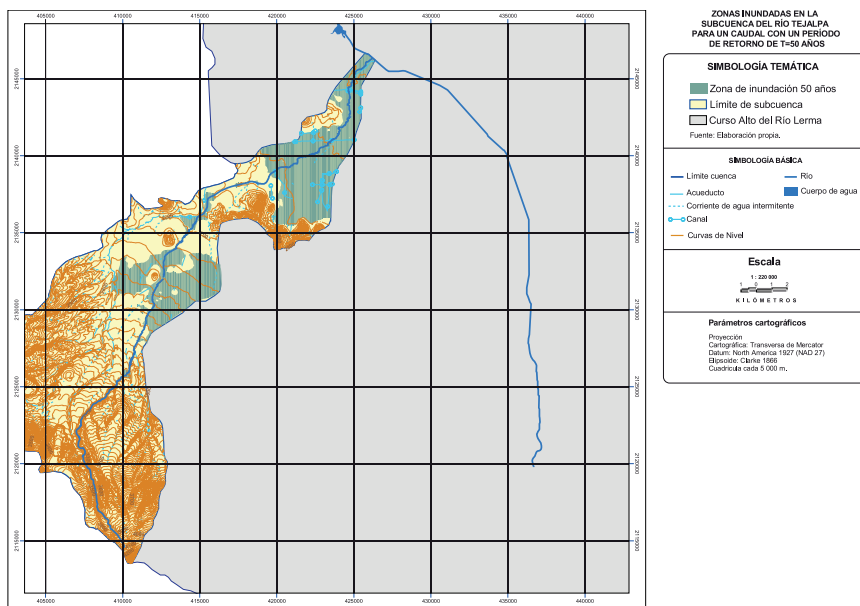
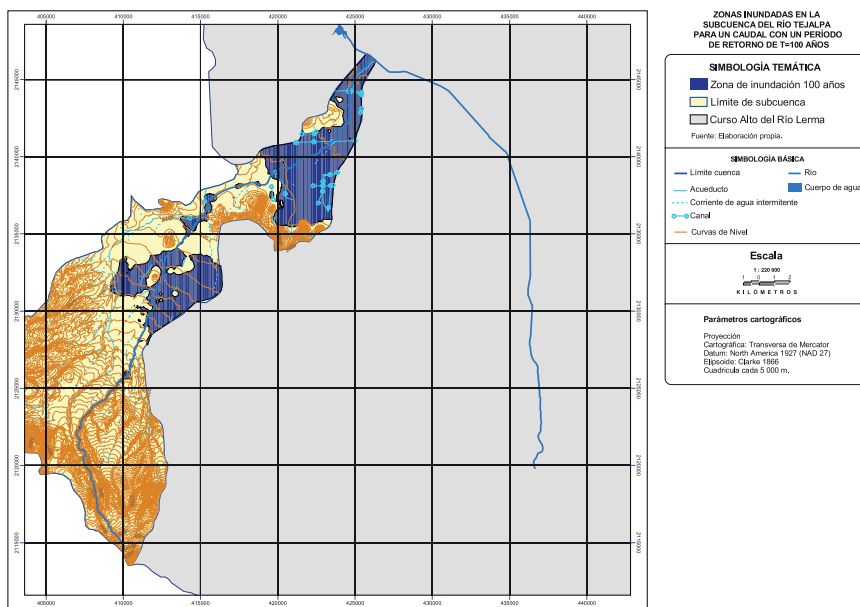


Figura 5.15 Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=20 años

Figura 5.16 Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un $T=50$ añosFigura 5.17 Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un $T=100$ años

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).

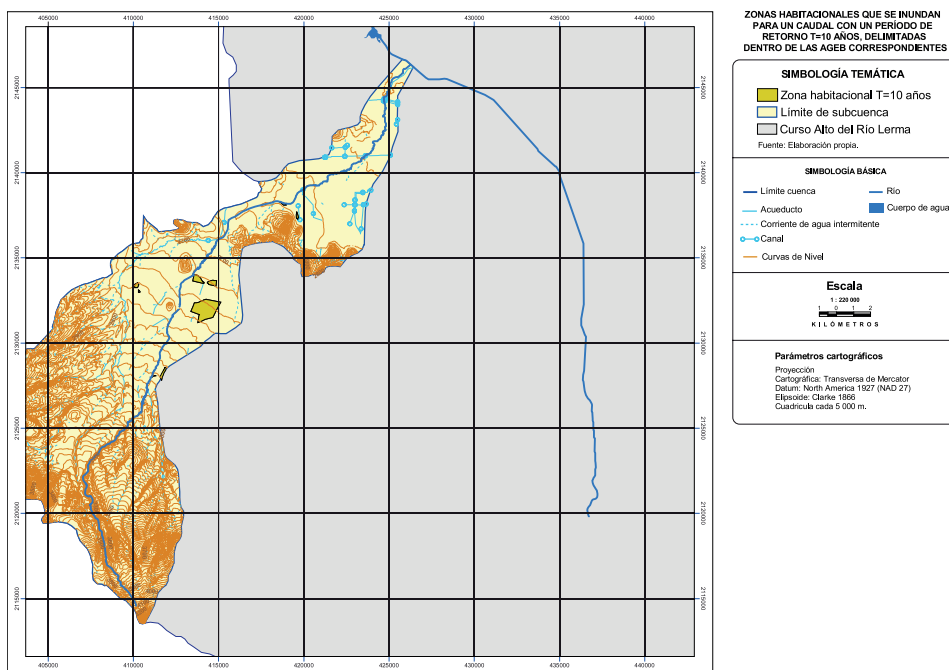


Figura 5.18 Zonas que se inundan para un caudal con un T=10 años

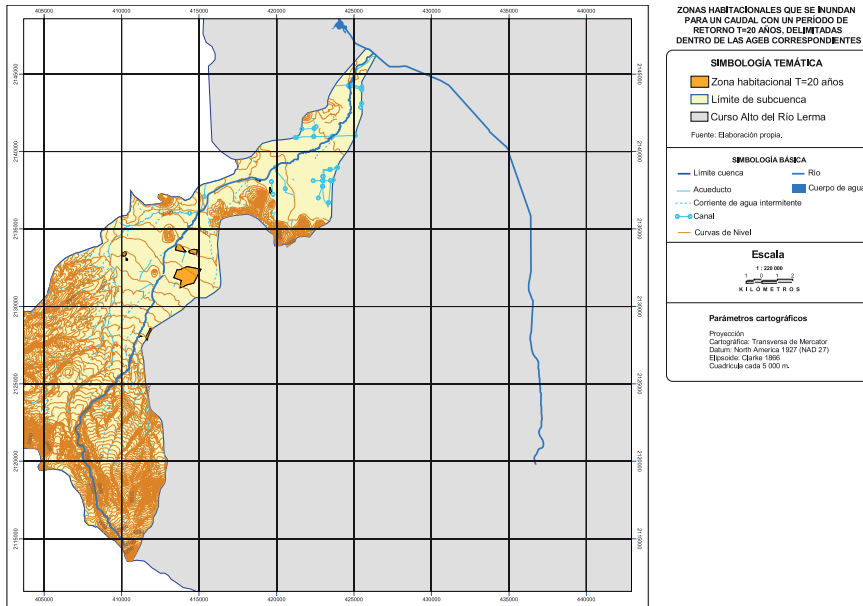


Figura 5.19 Zonas que se inundan para un caudal con un T=20 años

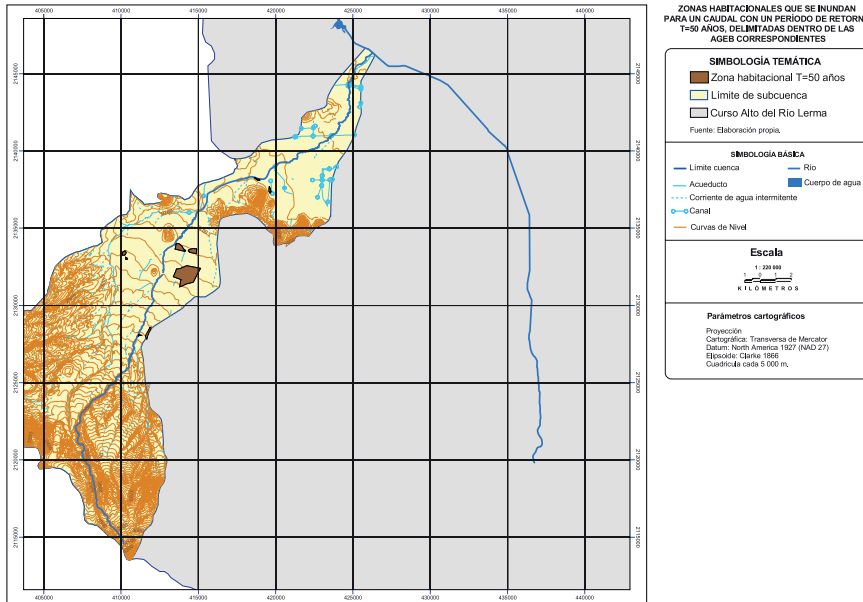


Figura 5.20 Zonas que se inundan para un caudal con un T=50 años

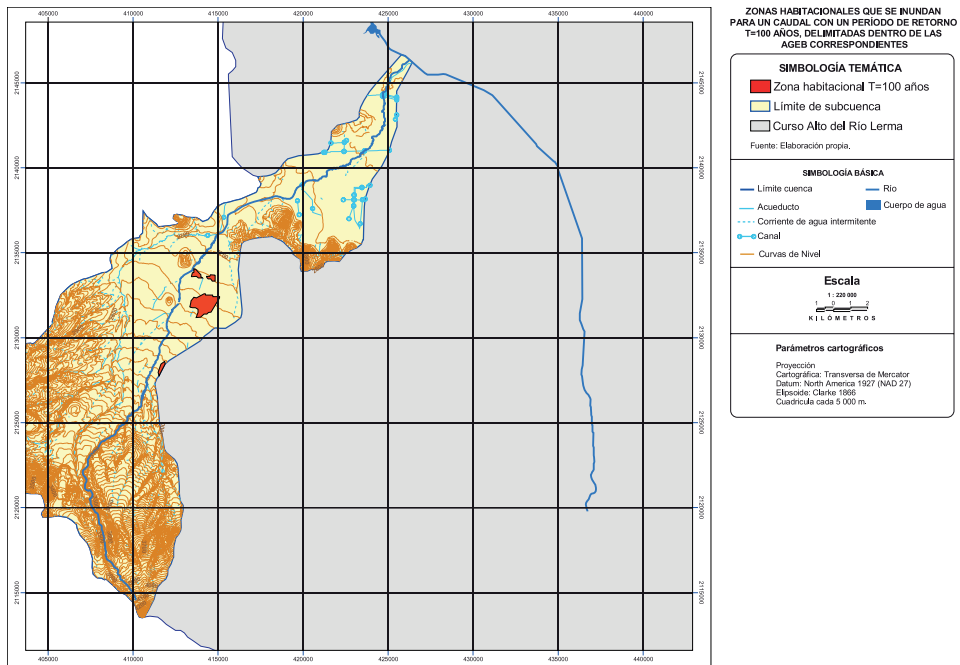


Figura 5.21 Zonas que se inundan para un caudal con un T=100 años

Las AGEBS dentro de las cuales se identifican zonas inundables corresponden a las localidades de Calixtlahuaca, San Juan de las Huertas, San Miguel Zinacantepec y San Francisco Tlalcilcalpan (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	Almoloya de Juárez	San Francisco Tlalcalalcalpan	014-5	Alto (0.10387)

Para conocer el número de viviendas afectadas por la inundación, se tomó en cuenta la superficie total de la AGEB y el número de viviendas existentes en cada AGEB, y se supuso una distribución uniforme de éstas en toda la AGEB. A partir de estos datos, se estimó cuántas viviendas corresponderían a una superficie dada, en este caso la 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 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.

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).

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 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.

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

T (años)	Localidad	AGEB	Área total km ²	Número total de viviendas	Área inundada km ²	Número de viviendas afectadas
10	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.04	43
	San Miguel	008-3	1.08	1,226	1.07	1 208
		007-9	0.3	727	0.3	727
		010-0	0.2	451	0.12	256
		011-5	0.45	740	0.17	279
	San Juan de las Huertas	005-A	1.03	1,640	0.09	143
	Total				1.79	2,656
20	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.04	43
	San Miguel	008-3	1.08	1,226	1.07	1,208
		007-9	0.3	727	0.3	727
		010-0	0.2	451	0.17	382
		011-5	0.45	740	0.12	198
	San Fco. Tlalcilcalpan	041-5	3.69	1,403	0.03	11
	San Juan de las Huertas	005-A	1.03	1,640	0.1	151
	Total				1.83	2,720
50	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.05	52
	San Miguel	008-3	1.08	1,226	1.07	1,208
		007-9	0.3	727	0.3	727
		010-0	0.2	451	0.18	389
		011-5	0.45	740	0.13	206
	San Fco. Tlalcilcalpan	014-5	3.69	1,403	0.04	16
	San Juan de las Huertas	005-A	1.03	1,640	0.21	332
	Total				1.98	2,931
100	Calixtlahuaca	175-2	0.71	790	0.05	59
	San Miguel	008-3	1.08	1,226	1.07	1,208
		007-9	0.3	727	0.3	727
		010-0	0.2	451	0.18	391
		011-5	0.45	740	0.13	206
	San Fco. Tlalcilcalpan	014-5	3.69	1,403	0.06	22
	San Juan de las Huertas	005-A	1.03	1,640	0.3	467
	Total				2.08	3,080

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

Índice de marginación	Ecuación
Alto	$DDH_{max} = 289.63 \ln(h) + 801.56$
	$DDH_{min} = 228.58 \ln(h) + 637.93$
	$DDH_{mp} = 280.51 \ln(h) + 777.60$
Medio Vivienda de una planta	$DDH_{max} = 709.63 \ln(h) + 1,976.04$
	$DDH_{min} = 544.93 \ln(h) + 1,546.60$
	$DDH_{mp} = 685.51 \ln(h) + 1,913.15$
Bajo Vivienda de una planta	$DDH_{max} = 877.28 \ln(h) + 2,479.23$
	$DDH_{min} = 797.24 \ln(h) + 2,233.19$
	$DDH_{mp} = 865.56 \ln(h) + 2,443.20$

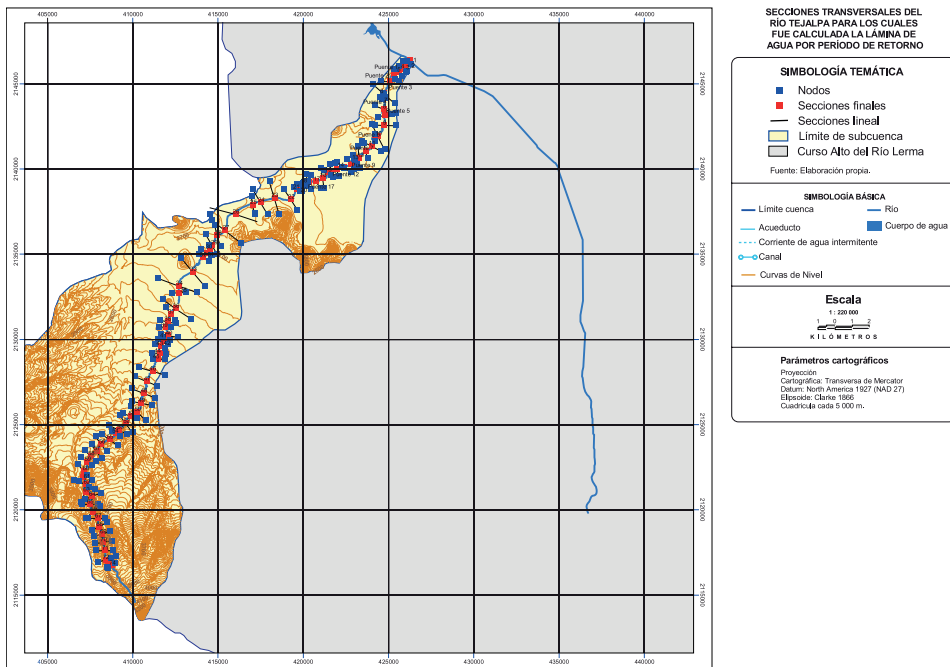


Figura 5.22 Secciones transversales del río Tejalpa para los cuales fue calculada la lámina de agua por periodo de retorno

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 el daño potencial de una vivienda para los diferentes períodos de retorno y las diversas AGEBs.

En la tabla 5.34, se puede apreciar cómo 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.

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 San Miguel Zinacantepec	175-2	1.3	1,689.60	89,868.20	2,162.20	115,008.60	2,093.00	111,326.80
		008-3	1.08	2,294.55	122,046.90	2,546.75	135,461.40	2,509.81	133,497.00
		007-9	1.08	2,294.55	122,046.90	2,546.75	135,461.40	2,509.81	133,497.00
		010-0	0.37	1,004.80	53,445.40	1,270.50	67,577.30	1,231.60	65,507.70
		011-5	0.9	1,489.20	79,209.80	1,901.30	101,128.70	1,840.90	97,918.80
	San Juan de las Huertas	005-A	0.58	655.5	34,867.20	823.9	43,820.60	799.2	42,508.80
20	Calixtlahuaca San Miguel Zinacantepec	175-2	1.48	1,760.20	93,626.90	2,254.20	119,903.30	2,181.90	116,055.20
		008-3	1.12	2,323.54	123,589.10	2,578.65	137,158.40	2,541.29	135,171.40
		007-9	1.12	2,323.54	123,589.10	2,578.65	137,158.40	2,541.29	135,171.40
		010-0	0.39	1,033.50	54,971.30	1,307.80	69,564.30	1,267.70	67,427.30
		011-5	0.96	1,524.40	81,080.40	1,947.10	103,564.70	1,885.20	100,272.00
	San Fco. Tlalcalcalpan San Juan de las Huertas	041-5	1.24	2,404.69	127,905.20	2,667.94	141,907.90	2,629.39	139,857.40
		005-A	0.61	663.8	35,309.40	834.4	44,380.90	809.4	43,051.40
50	Calixtlahuaca San Miguel Zinacantepec	175-2	1.53	1,778.30	94,590.00	2,277.80	121,157.40	2,204.70	117,266.70
		008-3	1.17	2,358.36	125,441.20	2,616.97	139,196.40	2,579.10	137,182.10
		007-9	1.12	2,358.36	125,441.20	2,616.97	139,196.40	2,579.10	137,182.10
		010-0	0.42	1,073.90	57,119.30	1,360.40	72,361.60	1,318.50	70,129.40
		011-5	0.99	1,541.10	81,972.30	1,968.90	104,726.20	1,906.30	101,394.00
	San Fco. Tlalcalcalpan San Juan de las Huertas	014-5	1.29	2,436.20	129,581.50	2,702.62	143,752.50	2,663.61	141,677.30
		005-A	0.65	673.8	35,840.40	847	45,053.70	821.6	43,703.10
100	Calixtlahuaca San Miguel Zinacantepec	175-2	1.57	1,790.70	95,245.50	2,293.90	122,011.10	2,220.20	118,091.40
		008-3	1.2	2,378.54	126,514.80	2,639.18	140,377.80	2,601.01	138,347.70
		007-9	1.2	2,378.54	126,514.80	2,639.18	140,377.80	2,601.01	138,347.70
		010-0	0.44	1,099.20	58,467.70	1,393.40	74,117.50	1,350.40	71,825.60
		011-5	1.04	1,568.00	83,400.50	2,003.90	106,586.00	1,940.00	103,190.50
	San Fco. Tlalcalcalpan San Juan de las Huertas	014-5	1.34	2,466.52	131,194.10	2,735.98	145,526.90	2,696.52	143,428.10
		005-A	0.65	679.6	36,148.20	854.4	45,443.70	828.7	44,080.80

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 salarios mínimos (SM) como costo mínimo, 5 995 270 SM como costo máximo y 5,890,489 SM como costo más probable, para un caudal con período de retorno de 10 años y entre 5 832 114 SM como costo mínimo, 6 658 358 SM como costo máximo y 6 537 369 SM 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 SM (34 407 547 pesos).

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		
				DDHmin (No. S.M.)	DDHmin (pesos)	DDHmax (No. S.M.)	DDHmax (pesos)	DDHmp (No. S.M.)	DDHmp (pesos)
10	Calixtlahuaca	175-2	1.3	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	0.9	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
	TOTAL			5,279,766	280,830,775	5,995,270	318,888,414	5,890,489	313,315,115
	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 FcoTlacilcalpan	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
	TOTAL			5,395,136	286,967,273	6,127,161	325,903,680	6,019,959	320,201,640
50	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 FcoTlacilcalpan	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
	TOTAL			5,655,281	300,804,378	6,443,177	342,712,576	6,327,788	336,575,029
	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	1.2	2,873,881	152,861,715	3,188,791	169,611,798	3,142,676	167,158,935
		007-9	1.2	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 FcoTlacilcalpan	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
	TOTAL			5,832,114	310,210,156	6,658,383	354,159,371	6,537,369	347,722,635

Para la estimación de los daños indirectos de acuerdo con Kates (1965), se consideró un incremento de 15% respecto a los directos. Los resultados se presentan en la tabla 5.36. Los daños indirectos mas probables variaron entre 883 573 SM (49 997 248 pesos) para un caudal con un período de retorno de 10 años, y 980 605 SM (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	DIHmin	DIHmax	DIHmax	DIHmp	DIHmp
	(No. S.M.)	(pesos)	(No. S.M.)	(pesos)	(No. S.M.)	(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

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, 62%, mientras que la agricultura de temporal representa 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:

- Maíz grano temporal $DDAmgt = 117.31 \ln(t) - 61.201$
- Maíz grano bajo riego $DDAmgr = 148.99 \ln(t) - 77.73$

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.

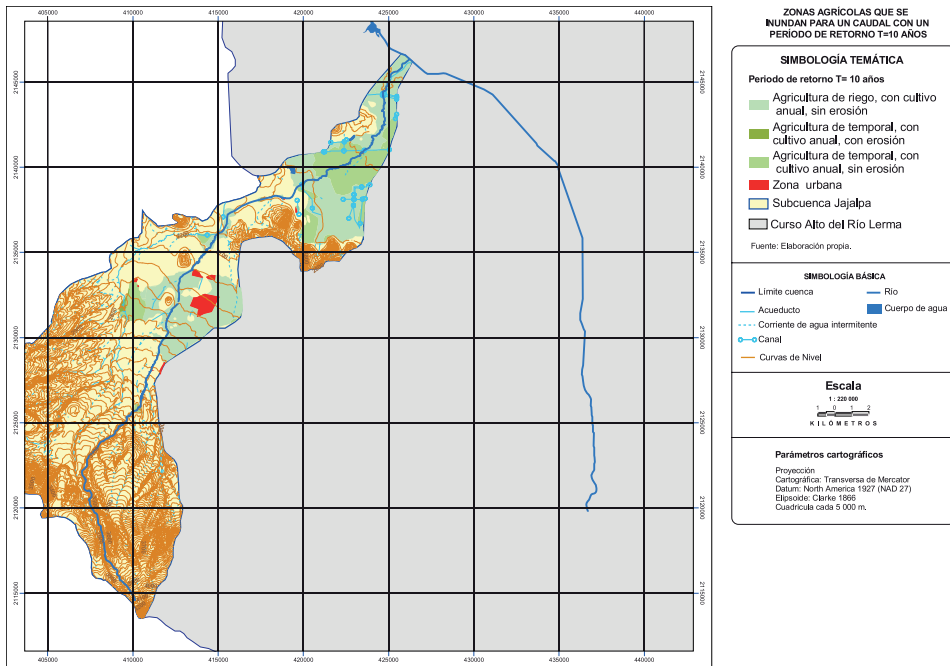


Figura 5.23 Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un $T=10$ años

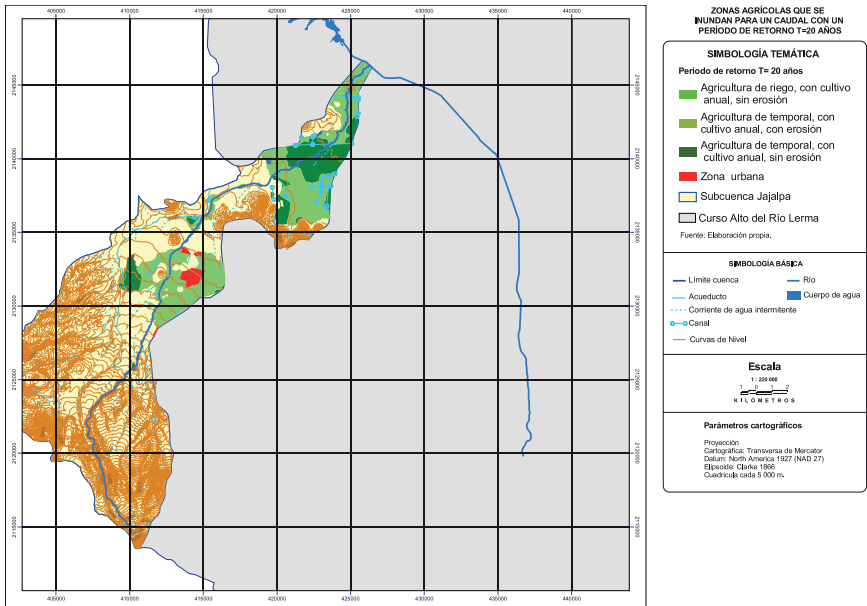


Figura 5.24 Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=20 años

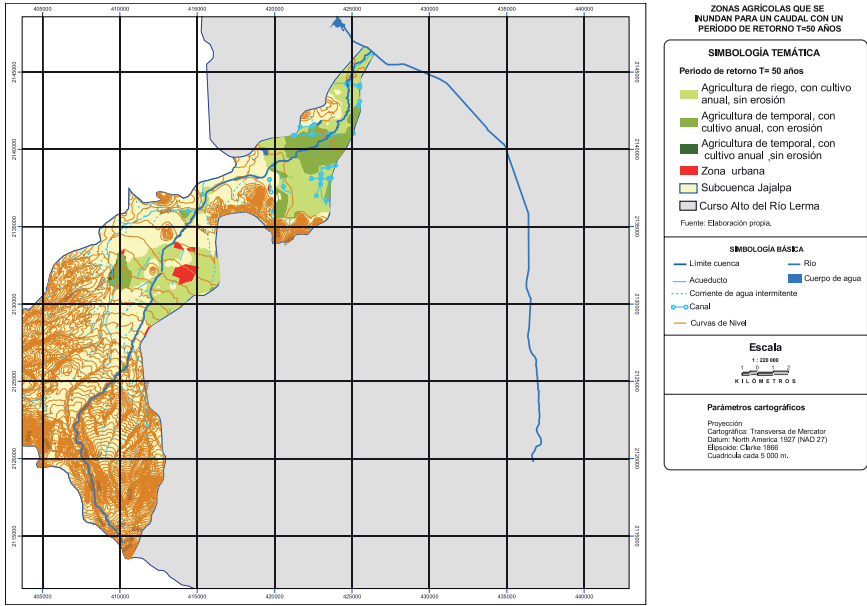


Figura 5.25 Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=50 años

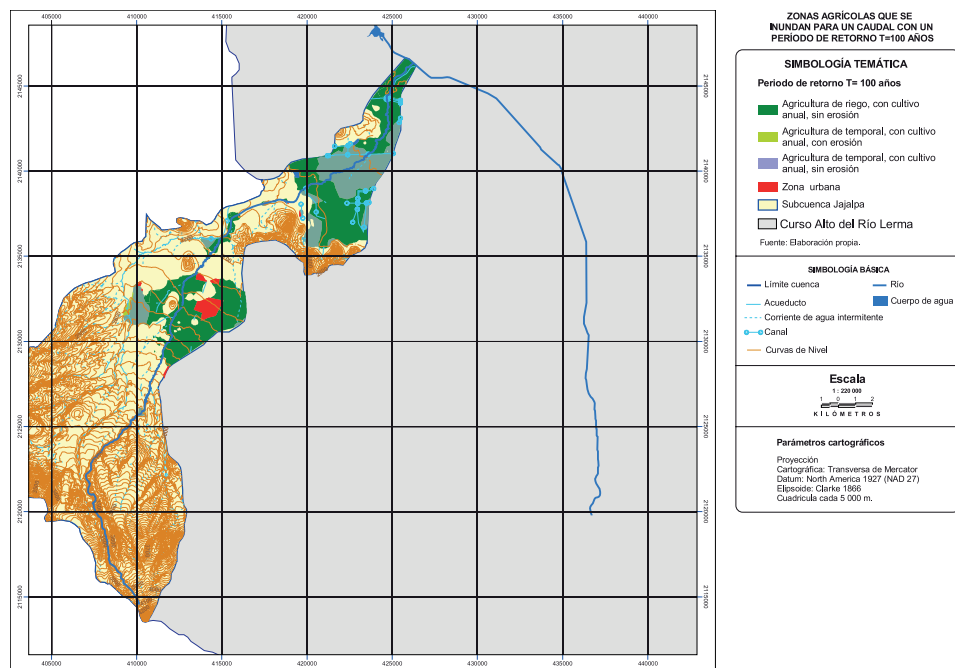


Figura 5.26 Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=100 años

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 SM/ha en zonas bajo riego y 67.7 SM/ha en zonas de temporal.

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

Usos del 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

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, (20 879 202 pesos), para un caudal con un período de retorno de 10 años, y de 429 162 SM, (22 827 127 pesos), para un caudal con un período de retorno de 100 años (tabla 5.38).

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

T (años)	Usos del suelo	Superficie inundada (ha)	Daños directos totales (No S.M.)	Daños directos totales (pesos)
10	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,371.40	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	1,501.70	101,631	5,405,753
	Total	4,889.80	392,540	20 879 203
20	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,540.70	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	1,644.60	111,302	5,920,153
	Total	5,212.10	417,447	22,204,006
50	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,590.30	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	1,698.20	114,929	6,113,074
	Total	5,329.90	426,326	22,676,280
100	Agricultura de riego, con cultivo anual, sin erosión	3,595.90	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	1,719.20	116,351	6,188,710
	Total	5,370.30	429,162	22,827,127

Para el caso de los daños económicos potenciales indirectos de acuerdo con Kates (1965), se considera un incremento de 10% sobre el valor de los directos (tabla 5.39). Los resultados manifiestan que estos daños indirectos oscilan entre 39 254 y 42 916 SM 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

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, los cuales varían entre los 3 544 586 SM para un período de retorno de 10 años y un costo máximo y los 4 070 540 SM 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 cómo 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 de 94% de los daños corresponderían a zonas habitacionales y sólo 6% a zonas agrícolas.

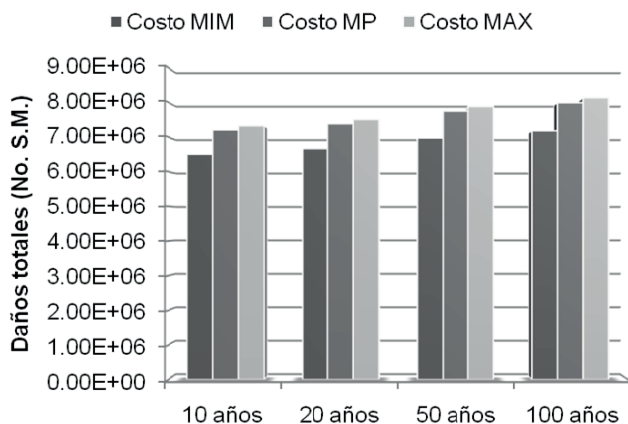


Figura 5.27. Comparación entre costo total máximo, mínimo y más probable de los daños económicos potenciales en zonas habitacionales y agrícolas para caudales con diferentes períodos de retorno. Caso de la subcuenca del río Tejalpa

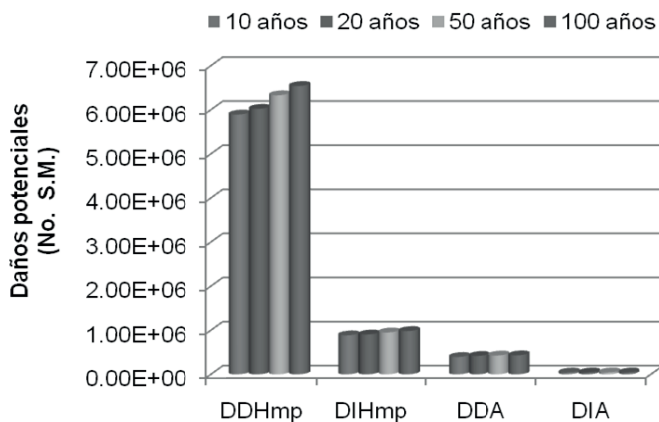


Figura 5.28. Costo más probable de los daños económicos potenciales en zonas habitacionales y agrícolas para caudales con diferentes períodos de retorno. Caso de la subcuenca del río Tejalpa (DDH daños directos en zonas habitacionales, DIH daños indirectos en zonas habitacionales, DDA daños directos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

En la figura 5.29 se puede apreciar cómo, 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.

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)

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

Esta misma subcuenca del río Tejalpa fue estudiada por Baró et al. (2007a, b) con el objetivo de estimar 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 que 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 porque en dicho estudio la vivienda ubicada en esta localidad fue considerada económica, mientras que en la presente investigación se identificó que 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.

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	DAmx	DHmin	DAmín	DHmp	DAm
10	94.1	5.9	93.4	6.6	94	6
20	93.9	6.1	93.1	6.9	93.8	6.2
50	94	6	93.3	6.7	93.9	6.1
100	94.2	5.8	93.4	6.6	94.1	5.9

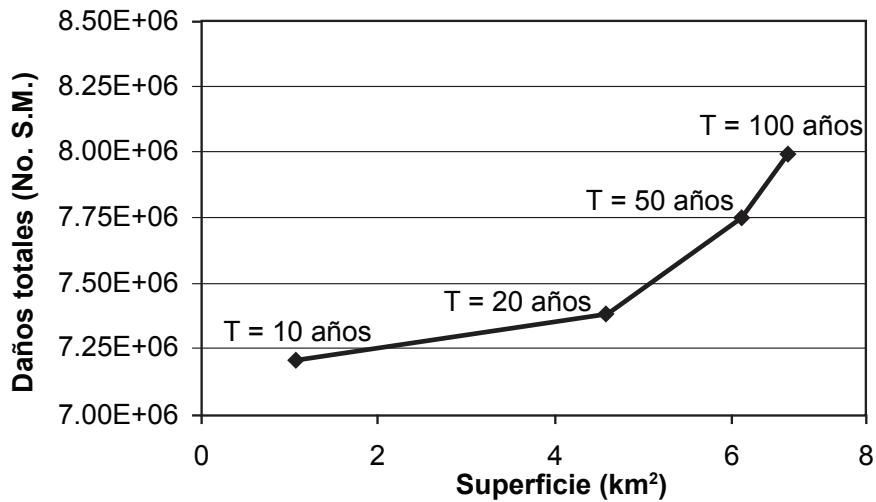


Figura 5.29 Relación entre área inundada y daños económicos potenciales (costo más probable)

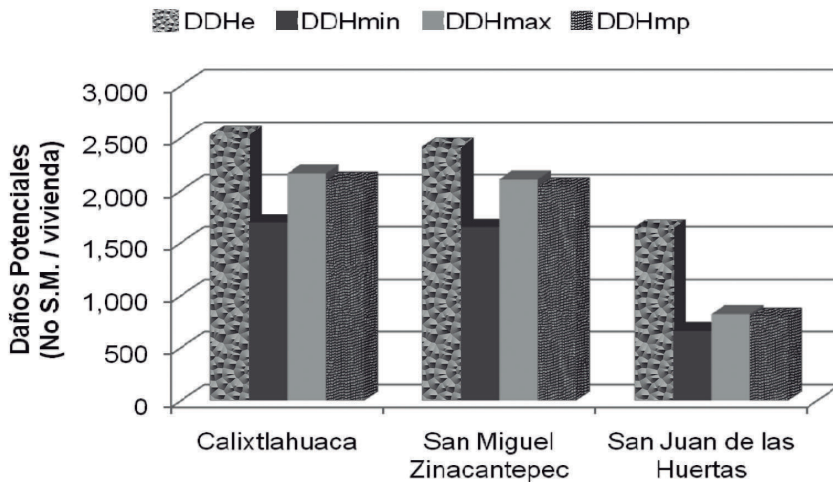


Figura 5.30. Comparación entre los resultados obtenidos según el método establecido por Baró *et al.* (2007a, b) con base en el tipo de vivienda y el propuesto en este trabajo con base en el IM de las AGEBS. (DDHe : daños directos en zonas habitacionales según Baró *et al.* (2007a, b) DDH: daños directos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

CONCLUSIONES

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, puede ser empleado en la República Mexicana ya que toma como base un conjunto de datos disponibles para todo el país y que pueden obtenerse a través de dependencias federales, estatales y municipales.

- 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, para posteriormente estimar los daños económicos ocasionados por una inundación.
- 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 área geoestadística básica.

- Los modelos de estimación de daños por inundación han sido contruidos 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.
- 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; sus viviendas y bienes son de mediana calidad y las afectaciones por una inundación son muy importantes desde el punto de vista social, y aunque los daños económicos aparentemente no resultan ser tan elevados, sí son altamente significativos para los propietarios.
- 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 cierta altura de lámina de agua para cada una de las clases de AGEBS según su índice de marginación. De acuerdo con el modelo regresivo aplicado se obtuvieron tres curvas, la de daño máximo, el más probable y el mínimo.
- 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 ésta es menor se definió una pérdida total del cultivo, sea cual sea la duración de la crecida.
- La aplicación de esta metodología en el caso de la subcuenca del río Tejalpa ha permitido cuantificar que los daños en zonas habitacionales representan 94% mientras que las zonas agrícolas sólo 6%, por lo que las medidas estructurales y no estructurales deberían estar enfocadas en términos de costo/beneficio y así prevenir los daños en estas zonas habitacionales.

Recomendaciones

- 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.
- 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.
- 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.
- Sería posible utilizar esta metodología para la estimación de los daños potenciales provocados por inundaciones cuando se proyecten diferentes medidas de control de éstas para 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 ser realizados por equipos tomadores de decisiones para hacer un análisis de costo–beneficio.
- La metodología puede ayudar a la formulación de recomendaciones que orienten el diseño de medidas preventivas de tipo ingenieril, enfocadas 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 daños a la integridad física de las personas y sus bienes.
- Se sugiere principalmente incorporar, de forma sistemática, el concepto de riesgo potencial por inundación en los instrumentos de planificación urbanística.
- 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.

- 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).
- 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.
- 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 Desastres Naturales (Fonden), para las etapas de emergencia, rehabilitación y reconstrucción.
- 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.
- La presente propuesta de evaluación de daños permitiría, de forma previsor, 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.
- 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.
- 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 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. (2009), *Metodologías para la evaluación del impacto socioeconómico de los desastres*. Serie “Estudios y perspectivas”. Naciones Unidas – CEPAL, México. 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. and 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 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, II, III y 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>
- Conagua Comisión Nacional del Agua (2001), *Fichas temáticas sobre el sector hidráulico: obras de protección contra inundaciones. Prevención de emergencias*. Comisión Nacional de Agua. México.
- 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.
- CONASAMI Comisión Nacional de los 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>
- Cotler, H. Fregoso, A. (2006), Sistemas de producción agropecuaria. en: 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 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 de México, Instituto de Ecología. México.
- CRED, Centro de Investigación sobre la Desastres Epidemiología de (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.cird.org
- Cruikshank, 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 pp.

- 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 de México. <http://www.uaem.mx/ceninv/cira> Fecha de consulta: 2/febrero/2005.
- Dutta, D., Herath, S., Musiak, 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
- Escolero, O., Domínguez E., Martínez S. (2006), El ciclo hidrológico. en: 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 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://scia.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 – Secretaría del Agua y Obra Pública – Comisión del Agua del Estado de México. en C.D.
- GeMichoacán, 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 Intergouvernemental 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
- 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.

- 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., Scoane 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. pp. 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*. pp. 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 Tejapa. Estado de México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. México.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. ESTADO DEL ARTE	11
INUNDACIONES	11
TIPOS DE INUNDACIONES	12
IMPACTOS POR INUNDACIONES	14
CONTROL DE INUNDACIONES	17
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE CRECIDAS	19
DAÑOS ECONÓMICOS POR INUNDACIONES	20
TIPOLOGÍA DE LOS DAÑOS	20
CATEGORÍA DE LOS DAÑOS	25
VALORACIÓN DE LOS DAÑOS	25
DAÑOS EN ZONAS HABITACIONALES	33
DAÑOS EN LA AGRICULTURA	38
HERRAMIENTAS APLICADAS AL ESTUDIO DE INUNDACIONES	39
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	42
3. ZONA DE ESTUDIO	43
MARCO HIDROLÓGICO. LA CUENCA LERMA-CHAPALA-SANTIAGO	43
LA CUENCA LERMA-CHAPALA	45
<i>Características generales</i>	46
<i>Clima</i>	47
<i>Temperatura</i>	50
<i>Precipitación</i>	50
<i>Evaporación</i>	53
<i>Hidrología</i>	53
<i>Datos socioeconómicos</i>	55
<i>Inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala</i>	59
4. MATERIALES Y MÉTODOS	63
BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	65
TRABAJO DE CAMPO	65
RECOPILACIÓN DE DATOS	66
RECOPILACIÓN DE DATOS PARA ZONAS HABITACIONALES	66
ZONAS INUNDABLES	67
CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN	67
INFORMACIÓN SOBRE BIENES	68
RECOPILACIÓN DE DATOS PARA ZONAS AGRÍCOLAS	71
<i>Gastos por acondicionamiento del terreno</i>	72
<i>Tipos de cultivos</i>	72
<i>Estacionalidad de los cultivos</i>	72

<i>Productividad</i>	73
<i>Ingresos de la población por la producción de su cosecha</i>	73
PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECADADA	73
INFORMACIÓN SOBRE ASPECTOS HIDRÁULICOS	73
INFORMACIÓN SOBRE ZONAS HABITACIONALES	75
INFORMACIÓN SOBRE ZONAS AGRÍCOLAS	76
DAÑOS TANGIBLES DIRECTOS	77
CONSTRUCCIÓN DE FAMILIAS DE CURVAS DE DAÑOS POTENCIALES POR INUNDACIÓN EN ZONAS HABITACIONALES	78
CONSTRUCCIÓN DE FAMILIAS DE CURVAS DE DAÑOS POTENCIALES POR INUNDACIÓN EN ZONAS AGRÍCOLAS	
<i>Aplicación de curvas para evaluación de daños económicos en la cuenca del río Tejalpa</i>	83
<i>Mapa de las zonas habitacionales afectadas por inundación</i>	84
<i>Mapa de las zonas agrícolas afectadas por inundación</i>	84
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
DAÑOS TANGIBLES DIRECTOS	87
<i>Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales</i>	88
<i>Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM muy alto</i>	88
<i>Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM alto</i>	95
<i>Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM medio</i>	98
<i>Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM bajo</i>	103
<i>Caso de la vivienda ubicada AGEB con un IM muy bajo</i>	107
<i>Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas agrícolas</i>	111
Maíz	111
Otros cultivos	115
<i>Daños tangibles indirectos en zonas habitacionales y agrícola</i>	116
<i>Daños totales en zonas habitacionales y agrícolas</i>	116
CASO DE ESTUDIO: SUBCUENCA DEL RÍO TEJALPA	118
<i>Características generales</i>	118
<i>Municipios y población</i>	119
<i>Estaciones hidrométricas y meteorológicas</i>	122
<i>Uso y vocación del suelo en la subcuenca del Río Tejalpa</i>	122
<i>Zonas inundables</i>	123
<i>Daños tangibles en zonas habitacionales</i>	129
<i>Daños tangibles en zonas agrícolas</i>	137
<i>Daños totales</i>	142
CONCLUSIONES	147
BIBLIOGRAFÍA	151
ÍNDICE DE TABLAS	161
ÍNDICE DE FIGURAS	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Desastres naturales y sus impactos a nivel mundial 1980-1999 (CRED, 2002)	15
Tabla 2.2	Desastres naturales y sus impactos a nivel mundial para 2008 y valores promedio para el periodo 2000-2007 (Rodríguez <i>et al.</i> , 2009)	16
Tabla 2.3	Clasificación de daños por inundación en zonas urbanas (Nascimento <i>et al.</i> , 2007)	22
Tabla 2.4	Porcentaje aplicado a los daños directos para el cálculo de daños indirectos (Kates, 1965)	29
Tabla 2.5	Índices incluidos en el cálculo del impacto social de los riesgos hidrológicos (Santillán <i>et al.</i> , 1998).	32
Tabla 2.6	Valores de los índices para los estados de la República Mexicana (Santillán <i>et al.</i> , 1998)	34
Tabla 2.7	Porcentaje de daños en edificios (valores en % salvo número de muestras y lámina de agua) (Blong, 2004)	37
Tabla 3.1	Regiones y subcuencas definidas en la cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, 2001)	46
Tabla 3.2	Precipitación media anual en la cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, 2001)	52
Tabla 3.3	Ciudades con más de 50 000 habitantes localizadas en la cuenca Lerma-Chapala (INEGI, 2005)	56
Tabla 3.4	Población económicamente activa (PEA) en la cuenca Lerma-Chapala (miles de habitantes) (Conagua, 2005)	57
Tabla 3.5	Municipios según grado de marginalidad en la cuenca Lerma-Chapala (miles de habitantes) (Conagua, 2005)	58
Tabla 4.1	Equivalencia entre AGEB según su índice de marginación y salarios mínimos	75
Tabla 5.1	Número de unidades geográficas, AGEB's urbanas e índice de marginación por entidad federativa localizadas en zonas inundables de la cuenca Lerma-Chapala	87
Tabla 5.2	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (número de unidades entre paréntesis)	90

Tabla 5.3	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (en pesos 2009)	93
Tabla 5.4	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM muy alto	94
Tabla 5.5	Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (número de unidades entre paréntesis)	95
Tabla 5.6	Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (en pesos 2009)	96
Tabla 5.7	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM alto	97
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)	99
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)	100
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)	101
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)	101
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	103
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)	104
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)	104
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)	105
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)	105

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	107
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)	108
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)	108
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)	109
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)	109
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	111
Tabla 5.23	Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas agrícolas (Baró et al., 2007a)	115
Tabla 5.24	Características fisiográficas de la subcuenca del río Tejalpa (Vega, 1999; Díaz-Delgado y Vega, 2001)	121
Tabla 5.25	Datos referentes a los municipios que abarca la subcuenca del río Tejalpa (INEGI, 2002, 2007)	121
Tabla 5.26	Caudales máximos para los períodos de retorno de $t=10, 20, 50$ y 100 años (vega, 1999)	123
Tabla 5.27	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un $T=10$ años	124
Tabla 5.28	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un $T=20$ años.	126
Tabla 5.29	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un $T=50$ años	126
Tabla 5.30	Superficie afectada según uso del suelo para un caudal con un $T=100$ años	127
Tabla 5.31	AGEB's localizadas en zonas inundables y su índice de marginación según Conapo (2007)	132
Tabla 5.32	Superficie inundada en cada AGEB identificada y número de viviendas afectadas para cada uno de los períodos de retorno definidos	133

Tabla 5.33	Ecuaciones empleadas para el cálculo de los costos mínimo, máximo y más probable	134
Tabla 5.34.	Daños económicos potenciales directos por vivienda para diferentes períodos de retorno (sm salarios mínimos)	135
Tabla 5.35	Daños totales económicos potenciales directos en zonas habitacionales para diferentes períodos de retorno (sm salarios mínimos)	136
Tabla 5.36	Daños totales económicos potenciales indirectos en zonas habitacionales para los diferentes períodos de retorno (s.m. Salarios mínimos)	137
Tabla 5.37	Daños económicos potenciales directos en zonas agrícolas por hectárea (s.m. salarios mínimos, DDA daños directos en zonas agrícolas)	140
Tabla 5.38	Daños totales económicos potenciales directos en zonas agrícolas (s.m. Salarios mínimos)	141
Tabla 5.39	Daños totales económicos potenciales indirectos en zonas agrícolas para los diferentes períodos de retorno (s.m. salarios mínimos)	142
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)	144
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)	145

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	45
Figura 3.3	Modelo de elevación digital del terreno de la cuenca Lerma-Chapala	47
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)	51
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).	53
Figura 3.6	Principales ríos y cuerpos de agua localizados en la cuenca Lerma-Chapala	54
Figura 3.7	División política de la cuenca Lerma-Chapala	55
Figura 3.8	Muertes y población afectada debido a las inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, 2001)	61
Figura 3.9	Localización de zonas que históricamente han sufrido inundaciones en la cuenca Lerma-Chapala	62
Figura 4.1	Desarrollo conceptual de un método para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas habitacionales. Daños directos	74
Figura 4.2	Desarrollo conceptual de una metodología para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas agrícolas. Daños directos	75
Figura 4.3.	Diagrama de flujo establecido para el procesamiento de la información cartográfica para el caso de estudio de la subcuenca el río Tejalpa	86
Figura 5.1.	Índice de marginación de las AGEB urbanas. Cuenca Lerma-Chapala	89
Figura 5.2.	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy alto	94

Figura 5.3	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM alto	97
Figura 5.4	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta	102
Figura 5.5	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas	102
Figura 5.6	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta	106
Figura 5.7	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas	106
Figura 5.7.1	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta	110
Figura 5.8	Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas	110
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) (baro et al., 2007a)	113
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)	114
Figura 5.11	Localización de la subcuenca del río Tejalpa (curso alto del río Lerma) (Díaz-Delgado et al., 1998)	119
Figura 5.12	Mapa hidrológico de la subcuenca del río Tejalpa (Díaz-Delgado et al., 1998)	120
Figura 5.13	Mapa de vegetación y uso del suelo de la subcuenca del río Tejalpa (modificado del INEGI, 2003)	124
Figura 5.14	Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=10 años	125
Figura 5.15	Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=20 años	127
Figura 5.16	Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=50 años	128
Figura 5.17	Zonas inundadas en la subcuenca del río Tejalpa para un caudal con un T=100 años	128
Figura 5.18	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=10 años	129

Figura 5.19	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=20 años	130
Figura 5.20	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=50 años	130
Figura 5.21	Zonas habitacionales que se inundan para un caudal con un T=100 años	131
Figura 5.22	Secciones transversales del río Tejalpa para los cuales fue calculada la lámina de agua por período de retorno	134
Figura 5.23	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=10 años	138
Figura 5.24	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=20 años	139
Figura 5.25	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=50 años	139
Figura 5.26	Zonas agrícolas que se inundan para un caudal con un T=100 años	140
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	143
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)	143
Figura 5.29	Relación entre área inundada y daños económicos potenciales (costo más probable)	146
Figura 5.30	Comparación entre los resultados obtenidos según el método establecido por Baró <i>et al</i> (2007a, b) con base en el tipo de vivienda y el propuesto en este trabajo con base en el IM de las AGEB's. (DDHE: daños directos en zonas habitacionales según Baró <i>et al</i> . (2007a, b) DDH: daños directos en zonas habitacionales)	146

Metodología para la valoración económica de daños potenciales tangibles directos por inundación, de José Emilio Baró Suárez, Carlos Díaz Delgado, Georgina Calderón Aragón, María Vicenta Esteller Alberich, Edel Cadena Vargas, Roberto Franco Plata (Autores), se terminó de imprimir en noviembre de 2012, en los talleres de CEDIMSA S.A de C.V. El tiraje consta de 500 ejemplares.

Metodología para la valoración económica de daños potenciales tangibles directos por inundación aborda de forma detallada métodos concebidos para nuestro país, objetivos y estructurados, en la cuantificación estandarizada de daños por inundación en zonas habitacionales y agrícolas.

El crecimiento urbano, con o sin control, una planeación deficiente y retos ambientales como el efecto del cambio climático provocan que propiedades y zonas ubicadas en planicies naturales de inundación se conviertan en un severo problema para la sociedad. En efecto, la vulnerabilidad incrementada de dichas planicies al ser azotadas con mayor ímpetu y frecuencia por eventos hidrometeorológicos es hoy en día indiscutible.

La real estimación de pérdidas económicas antes y después de la inundación facilita la asignación de recursos orientados a la prevención, mitigación, recuperación, y reconstrucción de las áreas afectadas.

Esta obra será, sin duda, de interés para hidrólogos, aseguradoras, planeadores urbanos y regionales, ambientalistas, geógrafos, geólogos ambientales, y público en general, pero sobre todo para quienes deben tomar decisiones sobre gestión de riesgos por inundación.

