



Serie: Atlas Nacional de Riesgos

# Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos

## Fenómenos Hidrometeorológicos



SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

**Lic. Carlos María Abascal Carranza**  
Secretario de Gobernación

**Lic. Laura Gurza Jaidar**  
Coordinadora General de Protección Civil

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN  
Abraham González Núm. 48,  
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,  
C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES  
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,  
Col. Pedregal de Santo Domingo,  
Deleg. Coyoacán, C.P. 04360, México, D.F.  
Teléfonos:  
(55) 54 24 61 00  
(55) 56 06 98 37  
Fax: (55) 56 06 16 08  
e-mail: [editor@cenapred.unam.mx](mailto:editor@cenapred.unam.mx)  
[www.cenapred.unam.mx](http://www.cenapred.unam.mx)

©Autores:

Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas en zonas rurales, con arrastre de sedimentos  
*Héctor Eslava Morales, Martín Jiménez Espinosa, Marco Antonio Salas Salinas, Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, Carlos Baeza Ramírez y David R. Mendoza Estrada*

Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta  
*Óscar Arturo Fuentes Mariles, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Martín Jiménez Espinosa, David Ricardo Mendoza Estrada y Carlos Baeza Ramírez*

Análisis del peligro y vulnerabilidad por bajas temperaturas y nevadas  
*Martín Jiménez Espinosa, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, David Ricardo Mendoza Estrada y Stefanie Renner*

Identificación de trayectorias de ciclones tropicales mediante el uso del programa de cómputo "Busca Ciclones"  
*Martín Jiménez Espinosa y Carlos Baeza Ramírez*

Revisores:

Capítulo I:  
*Roberto Quaas Weppen, Enrique Guevara Ortiz, Carlos Gutiérrez Martínez y Tomás A. Sánchez Pérez.*

Capítulo II, III, y IV:  
*Carlos Gutiérrez Martínez y Tomás A. Sánchez Pérez.*

ISBN: 970-628-905-4

Edición: La edición estuvo a cargo de los autores bajo la coordinación de  
Violeta Ramos Radilla  
Portada: María José Aguas Ovando y Demetrio Vázquez Sánchez

Derechos reservados conforme a la ley  
IMPRESO EN MÉXICO. *PRINTED IN MEXICO*  
Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE  
LOS AUTORES

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

**M. en I. Roberto Quaas Weppen**  
Director General

**M. en C. Carlos Gutiérrez Martínez**  
Director de Investigación

**Ing. Enrique Guevara Ortiz**  
Director de Instrumentación

**Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel**  
Directora de Capacitación

**M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez**  
Director de Difusión

**Profra. Carmen Pimentel Amador**  
Directora de Servicios Técnicos

### 1.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

La guía para la identificación de vulnerabilidad por inundación en el medio rural, permite estimar el grado de vulnerabilidad a partir de la ubicación de las casas y propiedades de los habitantes respecto a la cercanía del arroyo y de las características de las viviendas. Se requerirán planos a escala 1:20,000 o de mayor resolución y la aplicación de una encuesta para determinar las áreas vulnerables por las inundaciones.

La medición de la vulnerabilidad por inundaciones que se manejará a lo largo de este texto se refiere solamente a los bienes que tiene la población dentro de sus viviendas, conocida como “menaje” o “enseres”, por lo que se considera que las inundaciones ocurren lentamente, es decir, hay tiempo suficiente para que las personas puedan desalojar sus viviendas de modo tal que sus vidas no sufran peligro.

#### 1.3.1 Tipología de la vivienda

El conocimiento de los materiales de construcción es importante para cuantificar la vulnerabilidad de una vivienda. A continuación se enlistarán los diferentes tipos de materiales que son utilizados en el país.

##### ***Material en muros y techo***

Los materiales más usados en los muros de la vivienda en nuestro país, son los que se muestran en la tabla 1.14.

**Tabla 1.14 Material en muros de viviendas**

Tipo	Descripción
M1	Cartón o plástico
M2	Piedra
M3	Láminas de cartón
M4	Bahareque
M5	Adobe sin repellido
M6	Madera
M7	Adobe con repellido
M8	Tabique de barro o concreto sin elementos de concreto
M9	Tabique de barro o concreto con elementos de concreto

De igual forma, a continuación se presenta un listado de los materiales más usados en los techos de las casas en México. Tabla 1.15.

**Tabla 1.15 Material en techos de viviendas**

Tipo	Descripción
T1	Cartón o plástico
T2	Lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
T3	Palma
T4	Teja
T5	Losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
T6	Losa de concreto ligada

En general, un gran porcentaje de la vivienda en nuestro medio es el resultado de alguna de las combinaciones entre las tablas 1.14 y 1.15; sin embargo, no se descarta la posibilidad de encontrar otros materiales, por lo que deberán especificarse y posteriormente evaluarse para finalmente definir su correspondiente vulnerabilidad.

La descripción de cada combinación se presenta en la tabla siguiente:

**Tabla 1.16 Combinaciones para un tipo de vivienda, según el material usado en techo y muros**

Combinación	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros	Combinación	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros
1	Vivienda con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico	13	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de palma
2	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	14	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de teja
3	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de palma	15	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
4	Vivienda con muros de láminas de cartón y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	16	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
5	Vivienda con muros de bahareque y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	17	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de palma
6	Vivienda con muros de bahareque y techo de palma	18	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de teja
7	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	19	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
8	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de palma	20	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
9	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de teja	21	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de palma
10	Vivienda con muros de madera y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	22	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de teja
11	Vivienda con muros de madera y techo de palma	23	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
12	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	24	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada

### ***Índice de vulnerabilidad***

Las viviendas podrán clasificarse en cinco niveles de acuerdo con el material y tipo de construcción, para poder inferir su capacidad de respuesta ante una inundación (tabla 1.17). El tipo de vivienda, que tiene valores de I a V, puede verse en la tabla 1.18.

**Tabla 1.17 Índice de vulnerabilidad según el tipo de vivienda**

Tipo	Índice de vulnerabilidad	Color propuesto
I	Alto	Rojo
II	Medio - alto	Naranja
III	Medio	Amarillo
IV	Medio – bajo	Verde
V	Bajo	Blanco

**Tabla 1.18 Clasificación del tipo de vivienda según el material usado en techo y muros**

Número de combinación	Tipo de vivienda	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros
1	I	Vivienda con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico
2	II	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
3	III	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de palma
4	I	Vivienda con muros de láminas de cartón y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
5	II	Vivienda con muros de bahareque y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
6	III	Vivienda con muros de bahareque y techo de palma
7	II	Vivienda con muros de adobe sin repellido y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
8	III	Vivienda con muros de adobe sin repellido y techo de palma
9	III	Vivienda con muros de adobe sin repellido y techo de teja
10	IV	Vivienda con muros de madera y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
11	IV	Vivienda con muros de madera y techo de palma
12	IV	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
13	IV	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de palma
14	IV	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de teja
15	V	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
16	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
17	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de palma
18	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de teja
19	V	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
20	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
21	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de palma
22	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de teja
23	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
24	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada

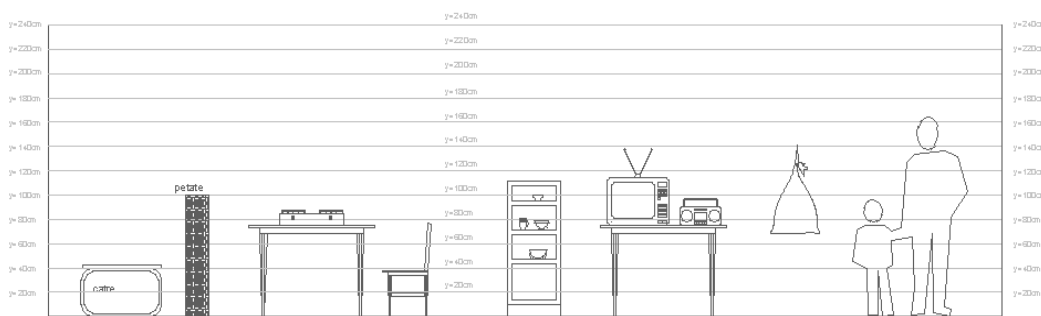
### 1.3.2 Funciones de vulnerabilidad para el menaje de casa

Para estimar las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda se propone una serie de configuraciones de muebles y enseres menores; posteriormente se lleva a cabo una cuantificación del porcentaje de los daños ocasionados en cada caso, en función del nivel que alcance el agua que entra en la casa.

#### **Vivienda tipo I**

Este tipo corresponde a los hogares más humildes, una vivienda consta de un solo cuarto multifuncional, construido con material de desecho. Asimismo, el menaje es el mínimo indispensable.

En la figura 1.28 se muestra un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo I.



**Figura 1.28 Menaje para la vivienda tipo I (una sola planta)**

Para la vivienda tipo I, se cuantificó un menaje con un costo aproximado de \$12,500.00.

#### **Vivienda tipo II**

El segundo tipo corresponde a hogares que pueden ser clasificados como de clase baja, donde la vivienda puede ser descrita como una vivienda de autoconstrucción o viviendas construidas con materiales de la zona, la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Con respecto al menaje, la hipótesis es que las diferentes habitaciones cuentan con sus muebles propios y están más o menos definidas.

En la figura 1.29 se observa un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo II.

Para la vivienda tipo II, se cuantificó un menaje con un costo cercano a los \$50,000.00.

#### **Vivienda tipo III**

El tercer tipo de viviendas también puede ser clasificado como clase - baja, similar al tipo II, pero con techos más resistentes, construida la mayoría de las veces sin elementos estructurales.

El menaje corresponde al necesario para las diferentes habitaciones, como en el anterior nivel; sin embargo, se consideran de mayor calidad y por lo tanto un mayor costo.



En la figura 1.30 se presenta el menaje que ha sido considerado para el ejemplo que sirve como base para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo III.

Para la vivienda tipo III, se cuantificó un menaje con un costo aproximadamente \$150,500.00.

#### ***Vivienda tipo IV***

El cuarto tipo de viviendas se identifica como la típica para la clase media, es decir, que puede ser equiparada con una vivienda de interés social, construida la mayoría de las veces con elementos estructurales. El menaje que se ha seleccionado corresponde con el de una casa típica de una familia de profesionistas que ejercen su carrera y viven sin complicaciones económicas.

En la figura 1.31 se muestra un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo IV.

Para la vivienda tipo IV, se cuantificó un menaje con un costo del orden de los \$300,000.00.

#### ***Vivienda tipo V***

Finalmente, el último sector de viviendas, corresponde al tipo residencial, construida con acabados y elementos decorativos que incrementan sustancialmente su valor. El menaje está formado por artículos de buena calidad y con muchos elementos de comodidad.

En la figura 1.32 se presenta un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo V.

Para la vivienda tipo V, se cuantificó un menaje con un costo del orden de los \$450,000.00.

Adicionalmente se presenta la función de vulnerabilidad correspondiente a cada caso, según sea el tipo de vivienda al que se haga referencia (figuras 1.33 a 1.37).

Para cada caso se presenta sobre el eje de las abscisas (x) el nivel alcanzado por el agua (tirante), en metros, mientras que en el eje de las ordenadas (y) el valor corresponde al porcentaje de daños esperados en la vivienda.

En la figura 1.33 se muestra claramente que el rango donde ocurre la mayoría de las pérdidas, para la vivienda tipo I, está entre los 0.60 m y los 1.20 m.

En la figura 1.34, correspondiente al tipo de vivienda II, se observa que la mayor pérdida de los bienes ocurre cuando el tirante de agua en la inundación alcanza de 0.60 m a 1.00 m.

Para el caso de la vivienda tipo III, el rango que provoca las mayores pérdidas está comprendido de los 0.40 m a 1.00 m.

De acuerdo con la clasificación aceptada en el presente estudio, al hablar de viviendas tipo IV y V, se hace referencia a aquellas con dos o más niveles, por lo que en la figuras 1.36 y 1.37 se observa que la función de vulnerabilidad es casi horizontal de los 0.80 m a los 2.50. Lo anterior se debe a que más allá del primer metro de inundación, el porcentaje de pérdida en estas viviendas es mínimo, hasta que alcanza el segundo piso de la misma y nuevamente vuelve a incrementarse.

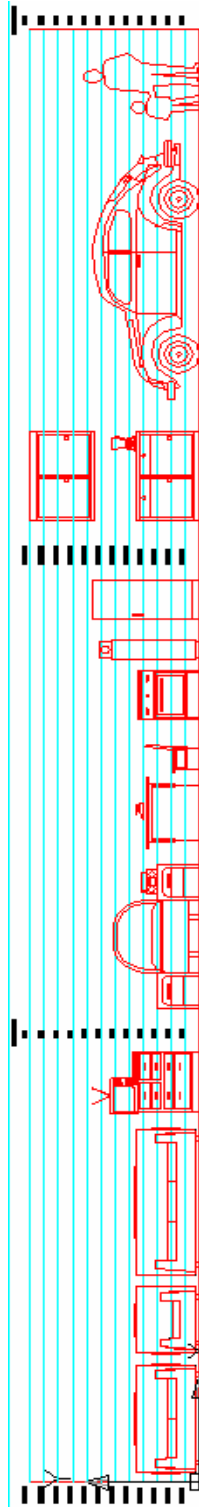


Figura 1.29 Menaje para la vivienda tipo II (una sola planta)

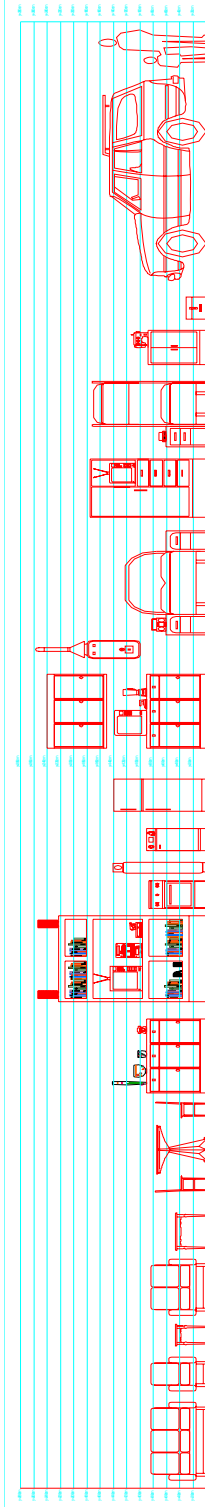
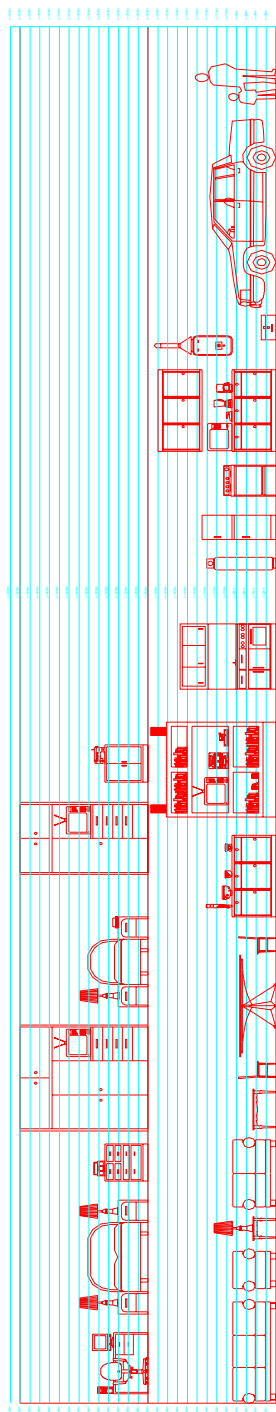
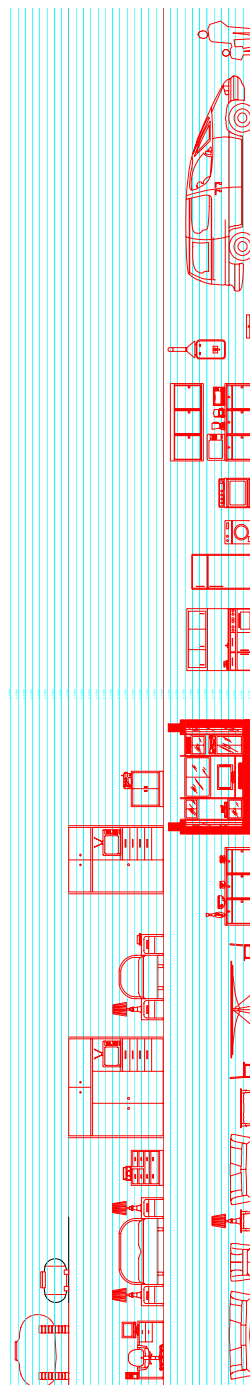


Figura 1.30 Menaje para la vivienda tipo III (una sola planta)





**Figura 1.31** Menaje para la vivienda tipo IV (dos plantas)



**Figura 1.32** Menaje para la vivienda tipo V (dos plantas)

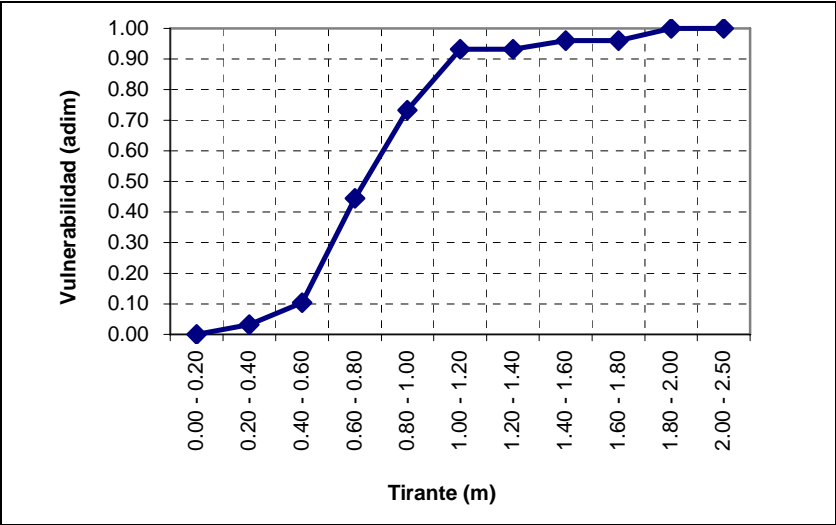


Figura 1.33 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo I

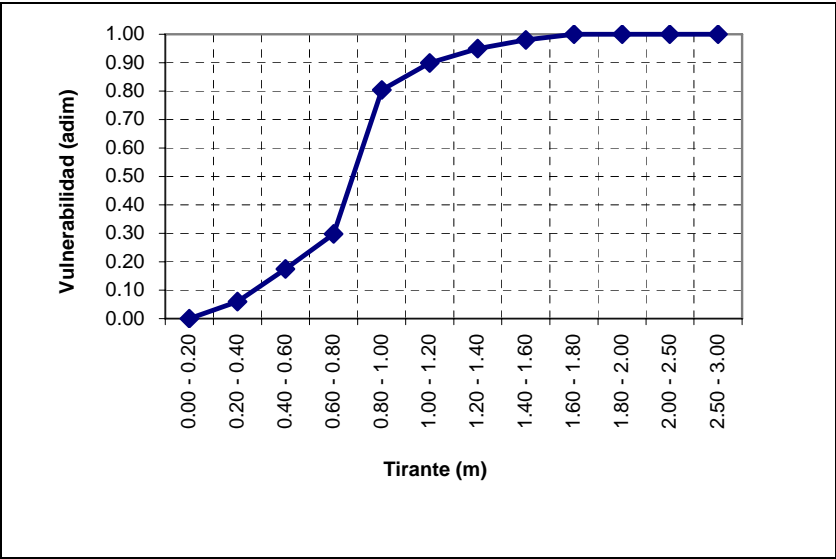
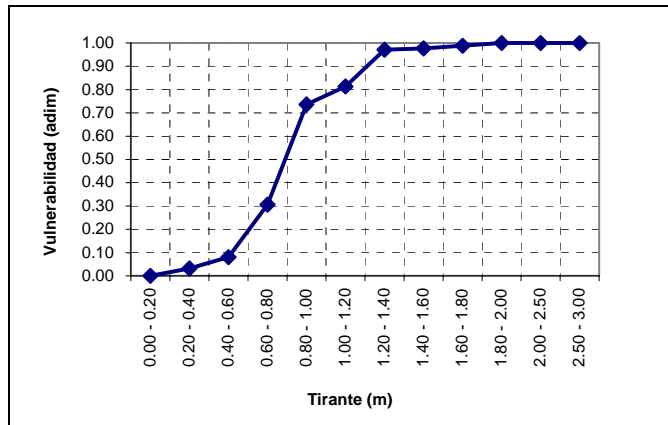
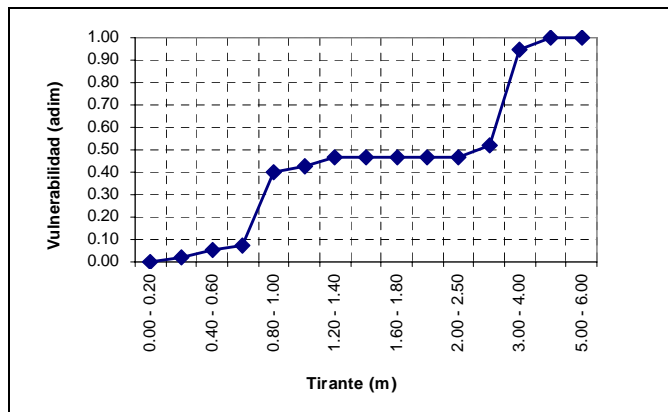


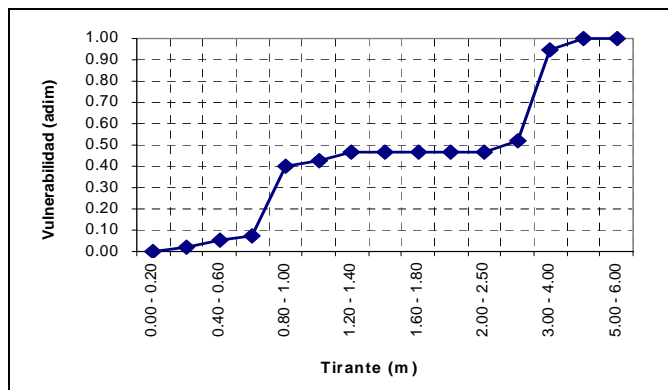
Figura 1.34 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo II



**Figura 1.35** Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III



**Figura 1.36** Función de vulnerabilidad para vivienda tipo IV



**Figura 1.37** Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V

## Identificación de la vulnerabilidad

Esta primera parte consiste en identificar cuáles son las viviendas más vulnerables de una población, clasificarlas y mostrar su ubicación.

Primero es necesario contar con el plano de la localidad, tal como se indicó en los apartados anteriores.

Para llevar un registro de toda la información que se estará manejando, se sugiere utilizar una tabla como la siguiente.

**Tabla 1.19 Concentrado de la información para la elaboración de mapas de riesgo por inundación. Identificación de las viviendas**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No.	Material		Nivel de desplante del terreno	Tipo	Vulnerabilidad	Escenario Tr = 5 años			Escenario Tr = X años		
	muros	techo				Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)	Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)
1			257.5						Se analizan tantos escenarios como se desee		
2			265.8								
3			260.7								
4			258.7								
5			260.9								
8			260.9								
14			259.9								
15			259.8								
20			263.35								
21			259.9								
22			261.2								
25			264.7								
29			266.0								
30			261.1								
34			266.9								
35			262.6								
40			264.6								
41			266.7								
45			265.8								
46			268.5								

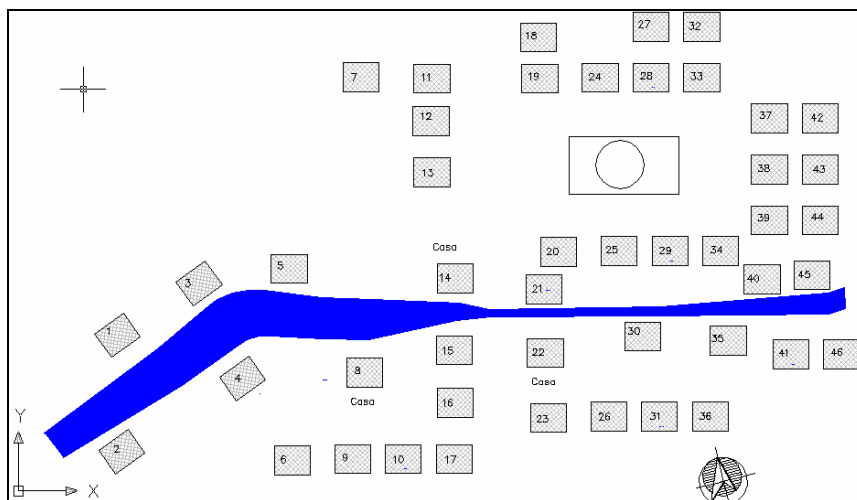
Tr: Periodo de retorno

Escenarios que se desean analizar

Un detalle muy importante es que cada casa cuente con el nivel del terreno al que está desplantada, ya que este dato será una parte fundamental para estimar las pérdidas por inundación.

En este punto únicamente se identifica cada una de las viviendas, por lo que se llenan sólo las columnas 1 y 4.

Así, el mapa inicial que puede elaborarse es uno similar al que se muestra en la figura 1.38.



**Figura 1.38 Planimetría de la localidad (columna 1 de la tabla 1.19)**

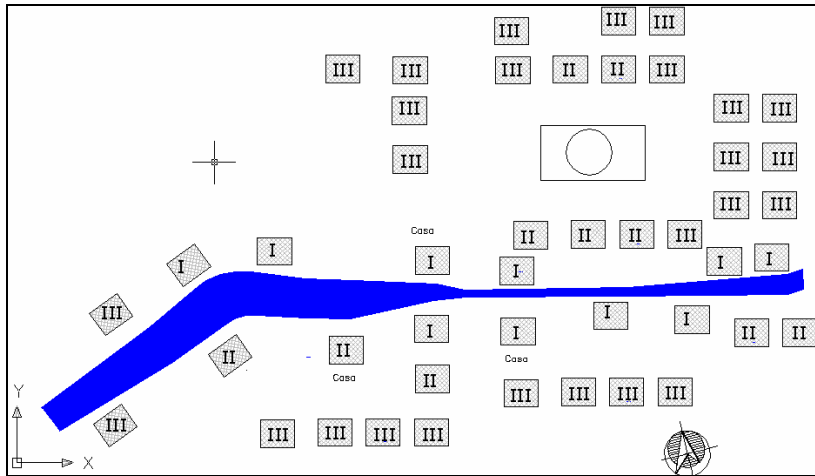
Si consideramos el material de construcción usado en las paredes de la vivienda, así como el utilizado en el techo, y de acuerdo con lo expuesto en esta guía, las viviendas pueden ser clasificadas de acuerdo con los cinco tipos previamente definidos (tabla 1.17). Para ello, es necesario un levantamiento en campo, con el que se identifique al material utilizado en la construcción de cada casa.

Las columnas que se llenarán con los datos de campo serán la 2 y la 3. Después de analizar la información se llenan las columnas 5 y 6.

**Tabla 1.20 Concentrado de la información para la elaboración de mapas de riesgo por inundación. Vulnerabilidad de la vivienda**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No.	Material		Nivel de desplante del terreno	Tipo	Vulnerabilidad	Escenario Tr = 5 años			Escenario Tr = X años		
	muros	techo				Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)	Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)
1	Adobe	Teja	257.5	III	Media				Se analizan tantos escenarios como se desee		
2	Adobe	Teja	265.8	III	Media						
3	Cartón	Cartón	260.7	I	Muy Alta						
4	Piedra	Lámina	258.7	II	Alta						
5	Cartón	Cartón	260.9	I	Muy Alta						
8	Piedra	Lámina	260.9	II	Alta						
14	Cartón	Cartón	259.9	I	Muy Alta						
15	Cartón	Cartón	259.8	I	Muy Alta						
20	Adobe	Lámina	263.35	II	Alta						
21	Lámina	Lámina	259.9	I	Muy Alta						
22	Lámina	Lámina	261.2	I	Muy Alta						
25	Adobe	Lámina	264.7	II	Alta						
29	Adobe	Lámina	266.0	II	Alta						
30	Lámina	Lámina	261.1	I	Muy Alta						
34	Adobe	Teja	266.9	III	Media						
35	Lámina	Lámina	262.6	I	Muy Alta						
40	Lámina	Lámina	264.6	I	Muy Alta						
41	Piedra	Lámina	266.7	II	Alta						
45	Lámina	Lámina	265.8	I	Muy Alta						
46	Piedra	Lámina	268.5	II	Alta						

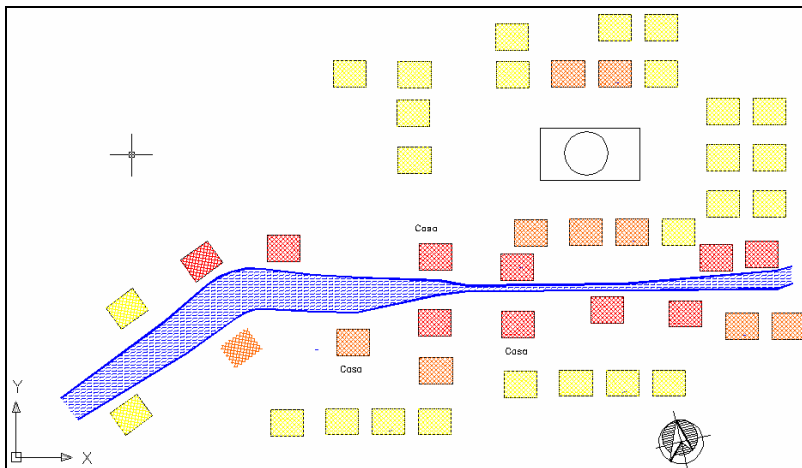
Hasta este momento se puede elaborar un mapa como el que se muestra en la figura siguiente:



**Figura 1.39** Tipificación de la vivienda en la localidad (columna 5 de la tabla 1.20)

### **Elaboración del mapa de vulnerabilidad de la localidad**

Al llegar a esta etapa, cada casa deberá estar asociada con la clasificación de vivienda. Por lo que, tomando como base la variable “tipo”, es posible hacer un mapa de vulnerabilidad.



**Figura 1.40** Mapa de vulnerabilidad (columna 6 de la tabla 1.20)

Este mapa muestra dónde están ubicadas las viviendas más vulnerables y dónde las más resistentes, incluso se puede observar la distribución del tipo de vivienda y si ésta sigue algún patrón determinado.

Es importante recordar que el mapa mostrado en la figura 1.40 está asociado al tipo de vivienda y su vulnerabilidad, es decir, el porcentaje de pérdidas que se tendrían para los diferentes niveles de agua que pueden presentarse en las casas de la localidad.





**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*

#### 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 Conteo 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.

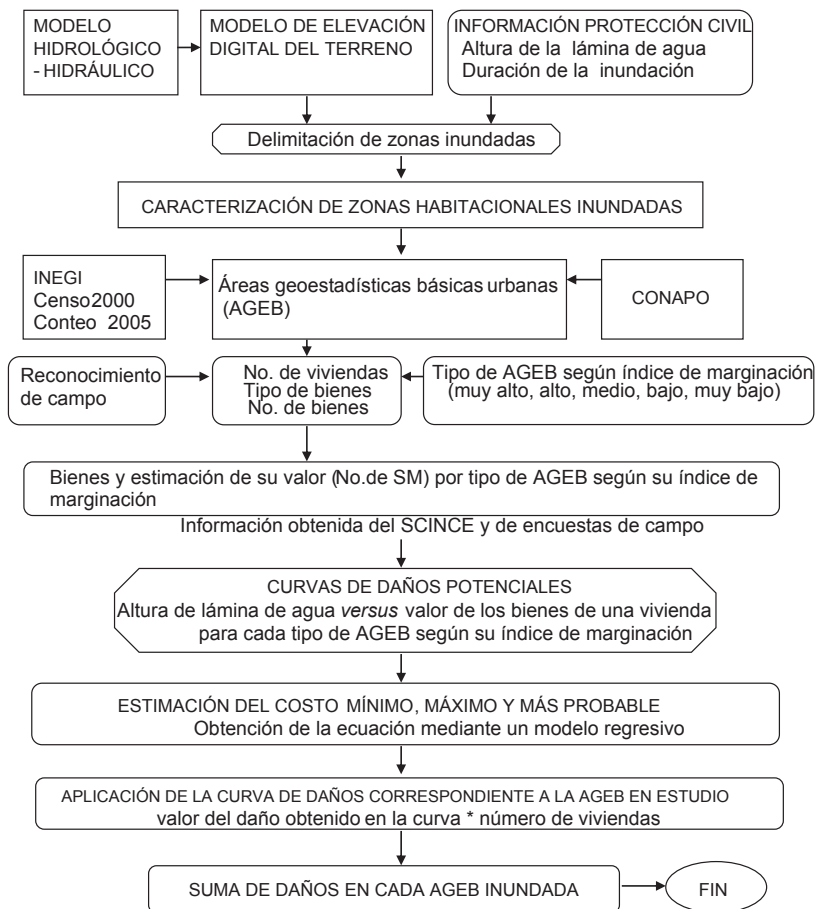


Figura 4.1. Desarrollo conceptual de un método para el cálculo de daños potenciales causados por inundaciones en zonas habitacionales. Daños directos.

## 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.

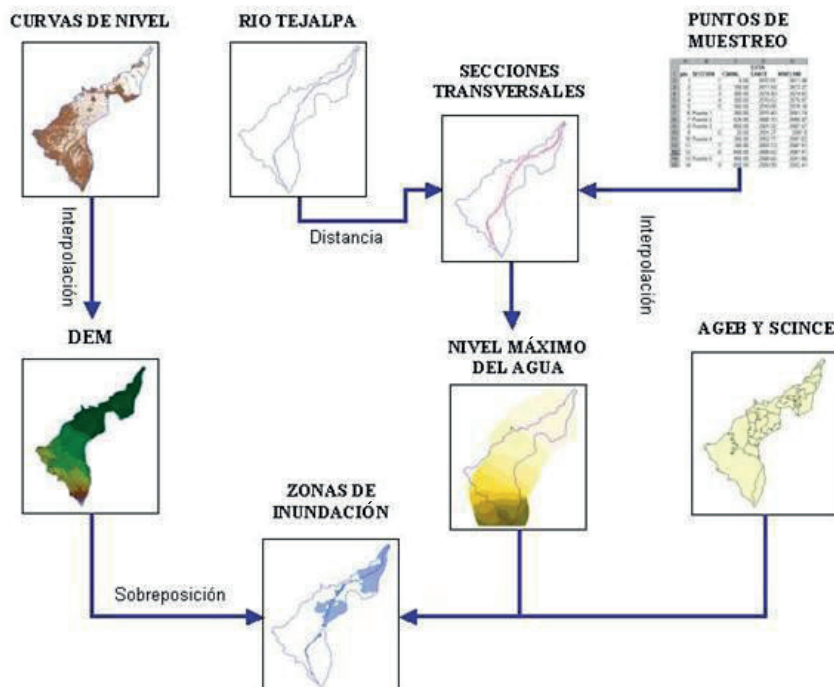


Figura 4.3. Diagrama de flujo establecido para el procesamiento de la información cartográfica para el caso de estudio de la subcuenca del río Tejalpa.