SEGOB
SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Inundaciones

Centro Nacional de Prevención de Desastres

GOBIERNO DEL
ESTADO DE CHIAPAS

SISTEMA ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CHIAPAS

SERIE
Fascículos

Fotografía de portada: Campeche, 5 de octubre de 2002,
Roberto Quaas W. CENAPRED.

2a. edición, junio 2007

Secretaría de Gobernación
Abraham González No. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C. P. 06699, México, D. F.

Centro Nacional de Prevención de Desastres
Av. Delfín Madrigal No. 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
www.cenapred.unam.mx

Autores:
Marco Antonio Salas Salinas y Martín Jiménez Espinosa

Revisión:
Óscar A. Fuentes Mariles

Edición:
Violeta Ramos Radilla

Diseño:
Cynthia Paola Estrada Cabrera

ISBN: 970-628-870-8

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

SERIE
Fascículos

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Miguel Ángel Osorio Chong
SECRETARIO DE GOBERNACIÓN

Luis Felipe Puente Espinosa
COORDINADOR GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Ing. Enrique Guevara Ortiz
DIRECTOR GENERAL

M. en C. Carlos A. Gutiérrez Martínez
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Ing. Luis Eduardo Pérez Ortiz Cancino
DIRECTOR DE ANÁLISIS Y GESTIÓN
DE RIESGOS

Ing. José Gilberto Castelán Pescina
DIRECTOR DE INSTRUMENTACIÓN
Y CÓMPUTO

Lic. Luz María Eugenia Laffitte Bretón
DIRECTORA DE CAPACITACIÓN

M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez
DIRECTOR DE DIFUSIÓN

Profa. Carmen Pimentel Amador
DIRECTORA DE SERVICIOS TÉCNICOS

Inundaciones

3 **Introducción**

5 **¿Qué es una inundación?**

Conceptos básicos

11 **¿Porqué ocurren las inundaciones?**

13 **El ciclo hidrológico**

15 **Clasificación de las inundaciones**

De acuerdo con su origen

Por el tiempo de respuesta de la cuenca

27 **Mitigación de daños por inundaciones**

Medidas estructurales

Medidas no estructurales

Acciones permanentes

Acciones de operación durante la temporada de lluvias

38 **Acciones preventivas para Protección Civil**

41 **Eventos que han generado los mayores daños por inundación en México (1943-2004)**

46 **Entidades más afectadas por inundaciones**

47 **Preguntas frecuentes**

49 **Glosario**

51 **Bibliografía y referencias**

Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos de cualquier país debido a los beneficios sociales y económicos que se derivan de su consciente explotación; sin embargo, junto con las ventajas existen también situaciones extremas tales como las inundaciones y las sequías.

A nivel mundial las inundaciones están aumentando más rápidamente que ningún otro desastre. De acuerdo con la Cruz Roja Internacional, durante el periodo 1919-2004, han colaborado con ayuda en más eventos de inundaciones que de cualquier otro tipo (figura 1), en gran medida porque el acelerado desarrollo de las comunidades modifica los ecosistemas locales, incrementando el riesgo de inundación al que están expuestas muchas poblaciones.

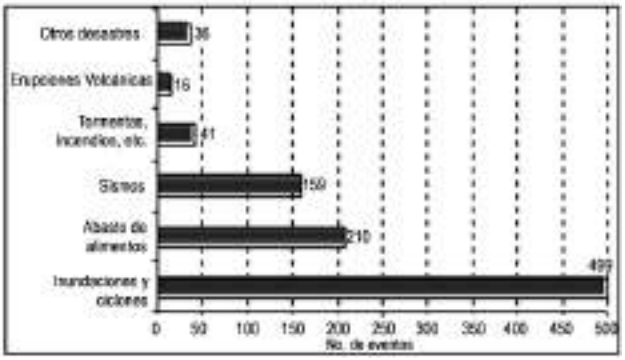


Fig. 1. Número de eventos en los que la Cruz Roja Internacional ha actuado, ayudando a las víctimas, de 1919 a 2004. (Fuente: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies).

En México han ocurrido, por efecto de desastres, alrededor de 10,000 muertes, de 1980 a 1999, aproximadamente 500 cada año. Las pérdidas económicas calculadas alcanzan 9,600 millones de dólares, con un monto promedio anual cercano a los 500 millones de dólares (Bitrán, 2000).

Una estimación de las víctimas fatales en México a consecuencia de fenómenos hidrometeorológicos arroja 2,767 personas, lo que representa un promedio cercano a los 140 individuos fallecidos anualmente. La cantidad de daños totales por este tipo de fenómenos, de 1980 a 1999, fue de 4,537 millones de dólares, lo que en promedio arroja 227 millones de dólares en pérdidas anuales (tabla 4).

En el pasado, las poblaciones entendían la naturaleza de las inundaciones, no en términos estadísticos, sino como un elemento del medio ambiente con el que se mantenían en estrecho contacto.

Fig. 2. Forma y levantado de la ciudad de México. Juan Gómez de Trasmonte, 1628 (DGCOH, 1988).

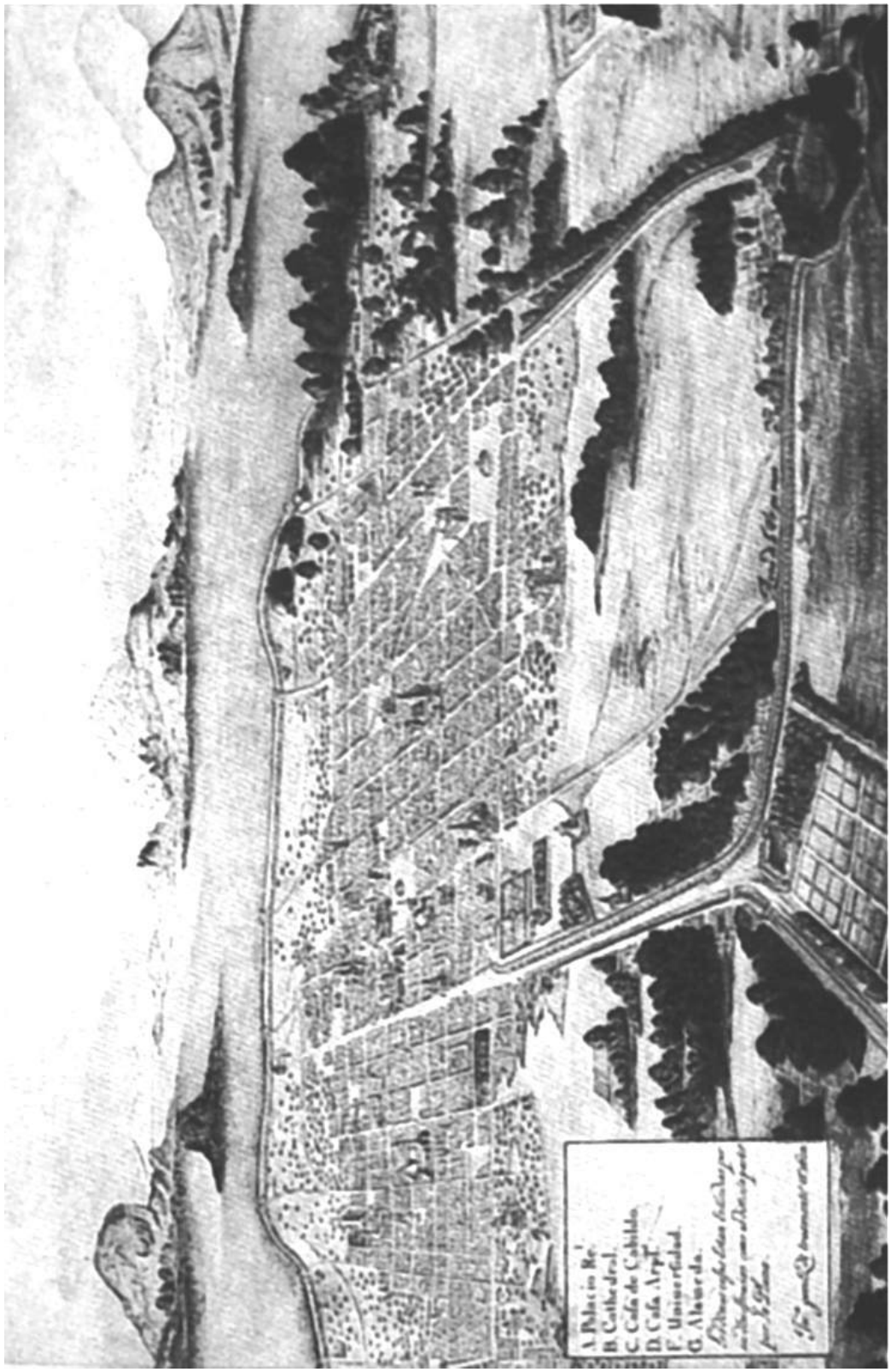
Aunque la gente vivía cerca de los ríos para aprovecharlos como medio de transporte y fuente de abastecimiento de agua para su consumo y el cultivo de sus fértiles llanuras de inundación, sus hogares eran construidos en terrenos altos, para evitar afectaciones debidas a las inundaciones (figura 2).

Conforme crecía la población y sus necesidades, la infraestructura desarrollada en las partes aledañas a los cuerpos de agua también iba en aumento, lo que generaba como consecuencia el desarrollo de la comunidad. Dicha ocupación de las zonas cercanas a los ríos es uno de los principales factores que acrecienta el riesgo de inundaciones.

Finalmente, es importante hacer una reflexión sobre este tipo de eventos, particularmente respecto a la situación de nuestro país: en las planicies de los grandes ríos de México, prácticamente todos los años se producen inundaciones derivadas de sus desbordamientos. La causa principal es la pérdida de la capacidad hidráulica de esas corrientes, una vez que dejan la zona de sierras y se adentran en las planicies. En contraste, en las zonas semidesérticas las inundaciones son menos frecuentes, por lo que suelen olvidarse; sin embargo, cuando se presentan causan serios problemas.

En el pasado, las poblaciones entendían la naturaleza de las inundaciones, no en términos estadísticos, sino como un elemento del medio ambiente con el que se mantenían en estrecho contacto.

Aunque la gente vivía cerca de los ríos para aprovecharlos como medio de transporte y fuente de abastecimiento de agua para su consumo y el cultivo de sus fértiles llanuras de inundación, sus hogares eran construidos en terrenos altos, para evitar afectaciones debidas a las inundaciones



¿Qué es una inundación?

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974), la definición oficial de inundación es: "aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce". En este caso, "nivel normal" se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas.

Por otra parte, avenida se define como: "Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad" (OMM/UNESCO, 1974). Estos incrementos y disminuciones, representan el comportamiento del escurrimiento en un río (figura 4).

Con lo anterior, se entiende por inundación: ***aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.***

Fig. 3. Nivel del agua alcanzó más de metro y medio de altura en varios entronques de Periférico (Reforma, 20/ago/2003).

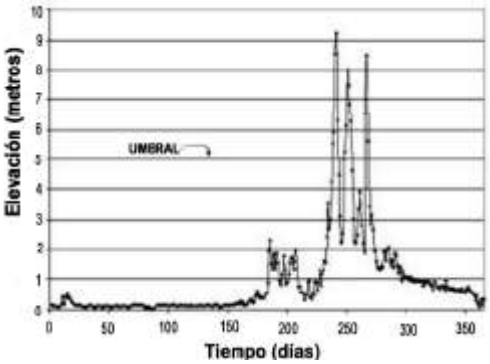


Fig. 4. Registro del nivel del río en una estación hidrométrica (medidora de escurrimiento).

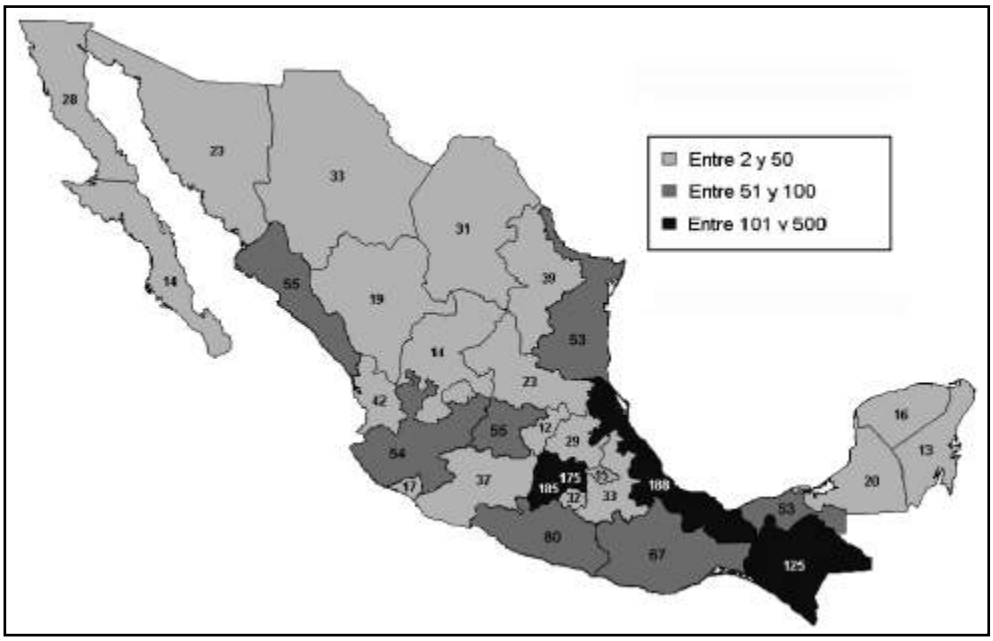


Fig. 5. Inundaciones registradas entre 1950 y 2000. (Fuente: Base de datos del área de Riesgos Hidrometeorológicos, CENAPRED).

Conceptos básicos

Adicionalmente a las definiciones dadas previamente, es necesario que el lector esté familiarizado con la terminología propia de las inundaciones, por lo que a continuación se explican conceptos usados frecuentemente en el presente fascículo.

Lámina de precipitación

La precipitación que ocurre en una zona no es constante y el escurrimiento que se genera depende en gran medida de la extensión donde tiene lugar y de sus características (tamaño, pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, etc.). Si alguien preguntara cuánto llovió durante una determinada tormenta, la respuestas puede variar, ya que depende de la medición en cada sitio, de acuerdo con la ubicación que tenga dentro de la zona donde está lloviendo.

Es por eso que la precipitación se caracteriza como una altura o lámina; de esta manera es posible comparar la altura de la lluvia en diferentes puntos de una cuenca, o bien, obtener un promedio; también, al ser una variable independiente del área, permite convertir la lluvia en volumen precipitado para cualquier subárea dentro de la cuenca que se esté estudiando. En México es común expresarla en mm, mientras que en los Estados Unidos de América, lo hacen en pulgadas.

Los aparatos que miden la lluvia, pluviómetros (figura 6) o pluviógrafos (figura 7) la expresan como láminas de lluvia, y es de interés particular en el tema de las inundaciones, conocer la cantidad de precipitación que se acumula en duraciones, generalmente, menores a un día.

En ocasiones la lluvia se expresa en volumen por unidad de área, normalmente, litros por m^2, lo cual es equivalente a expresarlo en mm.

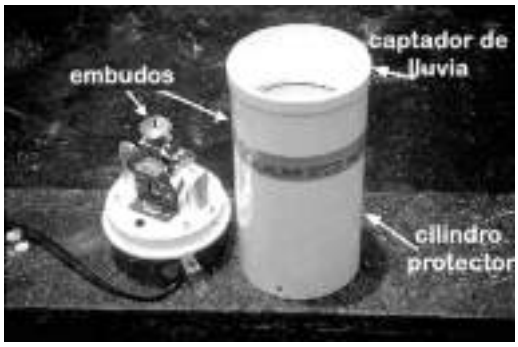


Fig. 6. Ejemplo de un pluviómetro (medidor de lluvia electrónico).

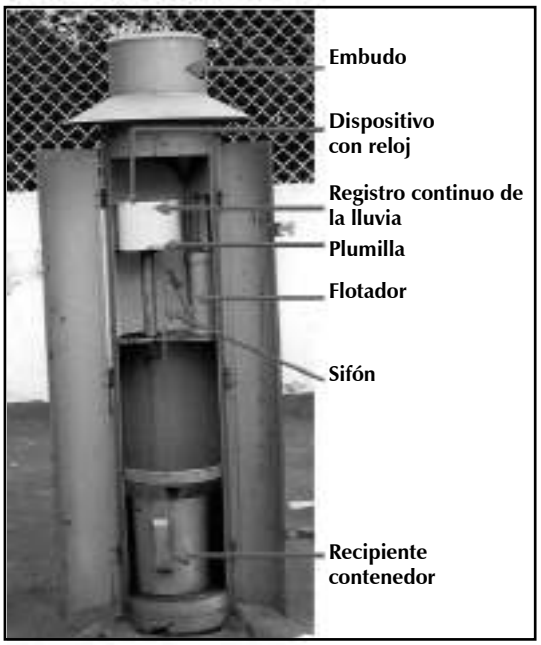


Fig. 7. Ejemplo de un pluviógrafo.

La diferencia entre un pluviógrafo y un pluviómetro, es que el primero cuenta con un mecanismo para producir un registro continuo de la precipitación, mientras que el segundo sólo indica la cantidad de lluvia acumulada en 24 h, sin definir su patrón durante la tormenta. Actualmente se comienza a generalizar el uso de medidores de lluvia electrónicos, como es el caso del mostrado en la figura 6, que es del tipo de "balancín".

Intensidad de precipitación

La cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo es conocida como la intensidad de la precipitación (altura de precipitación por unidad de tiempo). Sus unidades son mm/h, mm/día, etc.

Un pluviógrafo, o el medidor de lluvia electrónico, es el instrumento ideal para registrar la lluvia, ya que al medir la intensidad de ésta, es posible saber cuándo y cuánto llovió en cada instante, durante una tormenta.

En la figura 8 se muestra el registro de un pluviógrafo. En él se observa que la lluvia acumulada en 10 horas es poco más de 20 mm en el sitio donde está ubicado el aparato. Los tramos rectos con mayor pendiente indican los intervalos cuando la intensidad es mayor, que para el ejemplo son entre las horas "2" y "4", es decir, se tiene una intensidad de:

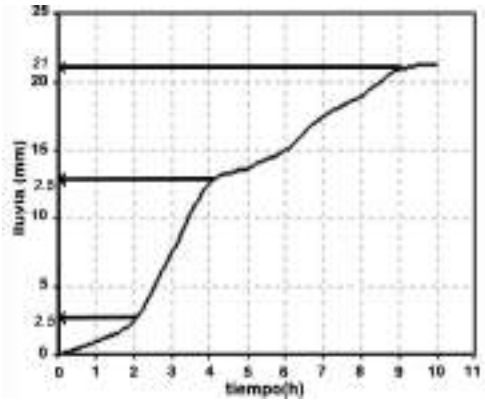


Fig. 8. Tormenta registrada mediante un pluviómetro.

$$\frac{(12.50-2.50)\ mm}{(4-2)h} = 5\ mm/h$$

Para las 10 h se tendrá una intensidad promedio de:

$$\frac{21\ mm}{10\ h} = 2.1\ mm/h$$

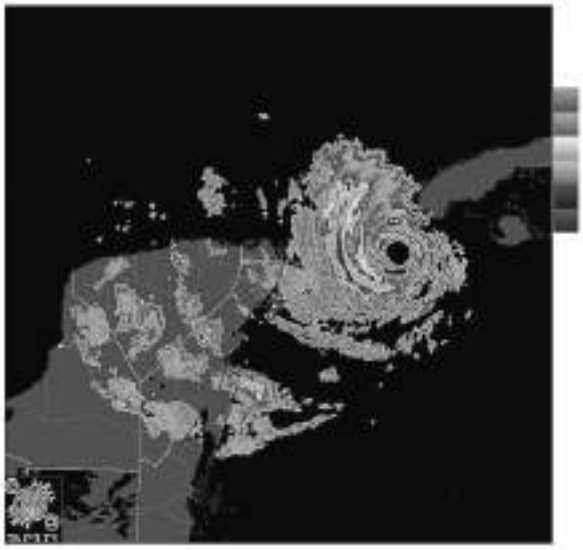


Fig. 9. Imagen del radar meteorológico de Cancún, Q. Roo que muestra al huracán Iván, categoría V en la escala Saffir - Simpson, (fuente: USMN).

Como se puede observar, durante el intervalo de 2 a 4 h, la intensidad de la tormenta fue mayor, es decir, conforme disminuye la duración del intervalo que se quiere analizar, mayor es la intensidad.

Como se puede intuir, este parámetro es de vital importancia en el tema de inundaciones ya que no es lo mismo que lluevan 50 mm en 24 h, a que esos 50 mm se registren en 2 h. De ahí la importancia de contar con aparatos cuyos registros permitan conocer, más que la simple precipitación, el desarrollo completo de una tormenta.

Otra forma de medir la intensidad de la lluvia es mediante el radar meteorológico, que además brinda información referente a la distribución espacial de la intensidad de la lluvia (figura 9). Actualmente en México existen radares de este tipo, operados por la USMN, que resultan especialmente útiles en el monitoreo de ciclones tropicales.

La USMN lleva a cabo el pronóstico y la medición de lluvia en todo el país, para lo que utiliza una cierta convención en la clasificación de la lluvia. Es así que en su *boletín meteorológico general,* tanto la precipitación pronosticada como la registrada, corresponden a la intensidad en 24 h, y la clasificación que usa de acuerdo con dicha intensidad es la que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las lluvias según su intensidad en 24 h

CLASIFICACIÓN	INTENSIDAD
Lluvias Intensas	Lluvia mayor de 70 mm
Lluvias Muy Fuertes	Lluvia entre 50 y 70 mm
Lluvias Fuertes	Lluvia entre 20 y 50 mm
Lluvias Moderadas	Lluvia entre 10 y 20 mm
Lluvias Ligeras	Lluvia entre 5 y 10 mm
Lluvias Escasas	Lluvia menor de 5 mm

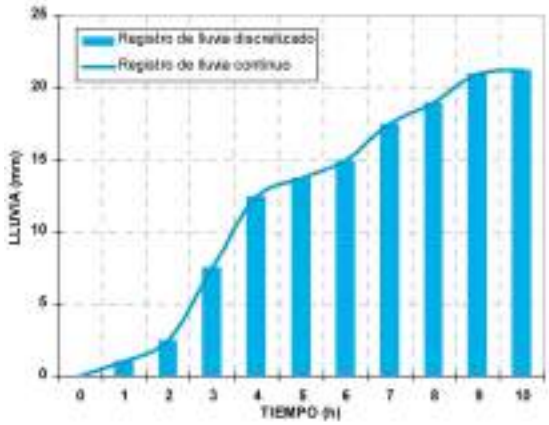
Hietograma

Es una gráfica de barras que muestra la variación de la altura o de la intensidad de la precipitación en intervalos de tiempo, usualmente de una hora.

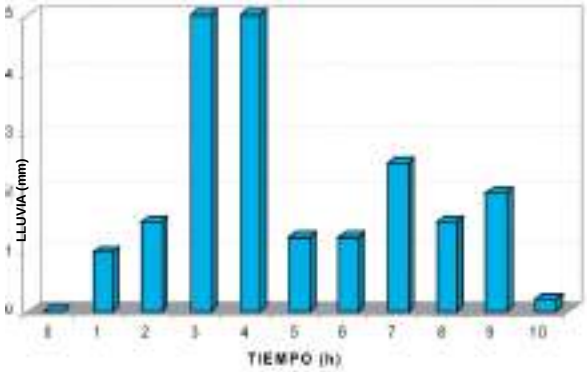
La figura 10a muestra el registro de un pluviógrafo, expresado como lluvia acumulada. Si del registro anterior se mide la lluvia que cae en una hora y se dibuja la precipitación de cada lapso, el resultado es el hietograma mostrado en la figura 10b.

Gasto

Es la cantidad de escurrimiento que pasa por un sitio determinado en un cierto tiempo, también se conoce como caudal. Este concepto se usa para determinar el volumen de agua que escurre en un río; sin embargo, su uso más importante se refiere al diseño de obras de infraestructura hidráulica. Las unidades comúnmente empleadas son metros cúbicos por segundo (m^3/s), cuando se trata de grandes caudales, como cuando se mide el escurrimiento en los principales ríos del país, o litros por segundo (lps) usado frecuentemente para pequeños caudales, por ejemplo, dotaciones de agua potable para las comunidades.



a) Registro de pluviógrafo



b) Hietograma de la tormenta

Fig. 10. Registro e Hietograma de una misma tormenta.

Hidrograma

Es la representación gráfica de la variación continua del gasto en el tiempo (figura 11). Para cada punto del hidrograma se conoce el gasto que está pasando en el sitio de medición.

El área bajo la curva de esta gráfica es el volumen de agua que ha escurrido durante el lapso entre dos instantes.

Periodo de retorno (Tr)

Es el tiempo que, *en promedio*, debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor a una cierta magnitud. Normalmente, el tiempo que se usa son años, y la magnitud del evento puede ser el escurrimiento, expresado como un cierto gasto, una lámina de precipitación o una profundidad de inundación (tirante). Se subraya que el evento analizado no ocurre *exactamente* en el número de años que indica el periodo de retorno, ya que éste puede ocurrir el próximo o dentro de muchos años.

En las normas de diseño de obras hidráulicas se han propuesto periodos de retorno específicos para dimensionar obras de protección contra inundaciones, por ejemplo, para el diseño de sistemas de drenaje urbano se utiliza comúnmente 10 años y para obras de excedencia de presas (vertedores) se usa 10,000 años (CNA, 1993).

Fig. 12. Inundación en septiembre de 2000, Agua Dulce, Veracruz.

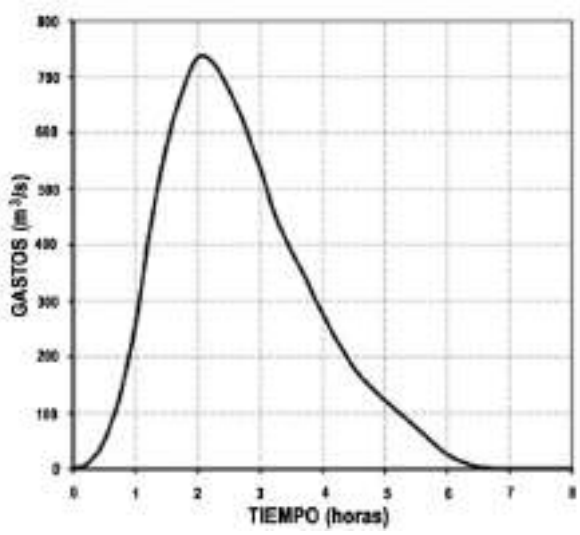


Fig. 11. Ejemplo de Hidrograma.

Cuenca

La cuenca es una zona de la superficie terrestre donde, si fuera impermeable, las gotas de lluvia que caen sobre ella tenderían a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (figura 13). En realidad, el terreno no es impermeable, por lo que un porcentaje del volumen llovido es absorbido por el suelo, otro es atrapado en pequeñas depresiones del terreno, formando charcos, otro queda sobre la vegetación y otra parte escurre hacia los ríos y arroyos. Usualmente el área de una cuenca se expresa en km^2.

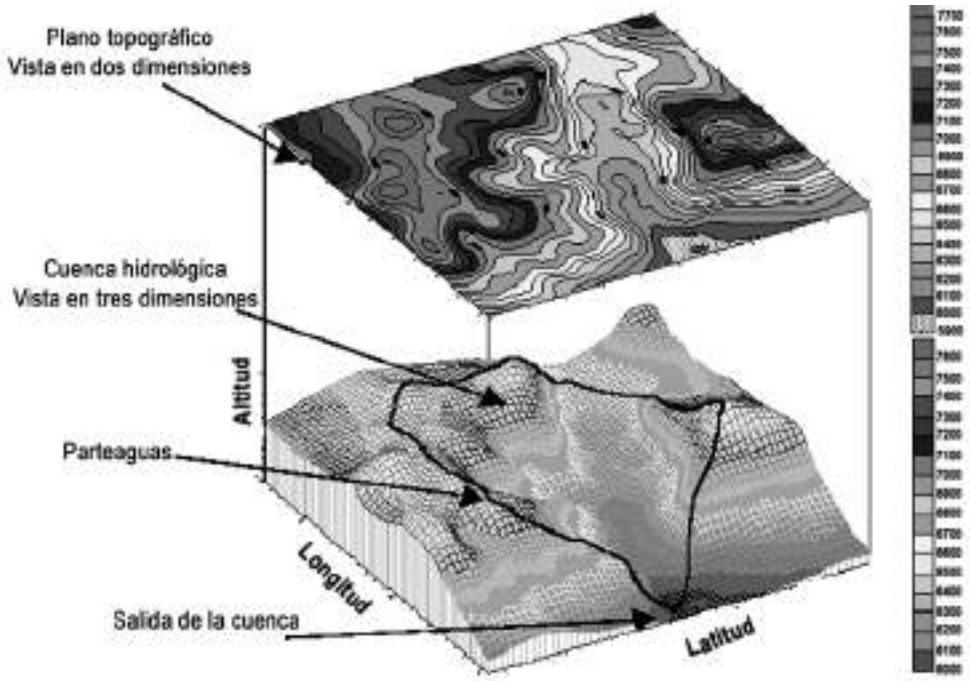


Fig. 13. Representación gráfica de una cuenca hidrológica (Eslava, 2004).

En la figura 14 se observan las cuencas de los principales ríos de la República Mexicana.

Regulación

La regulación de los escurrimientos permite disminuir los gastos máximos y aumentar los gastos mínimos en los ríos. Cuando se trata de avenidas extraordinarias, resulta difícil atenuar los gastos máximos y sólo se logra mediante la construcción de embalses reguladores o presas. Aún con el actual crecimiento de los centros de población y zonas industriales o de cultivo, es posible lograr una protección eficiente considerando, además de las obras para regulación, la construcción de pequeños embalses de retención, encauzamientos y reubicación de centros poblacionales, entre otras medidas de protección, como se explica más adelante.

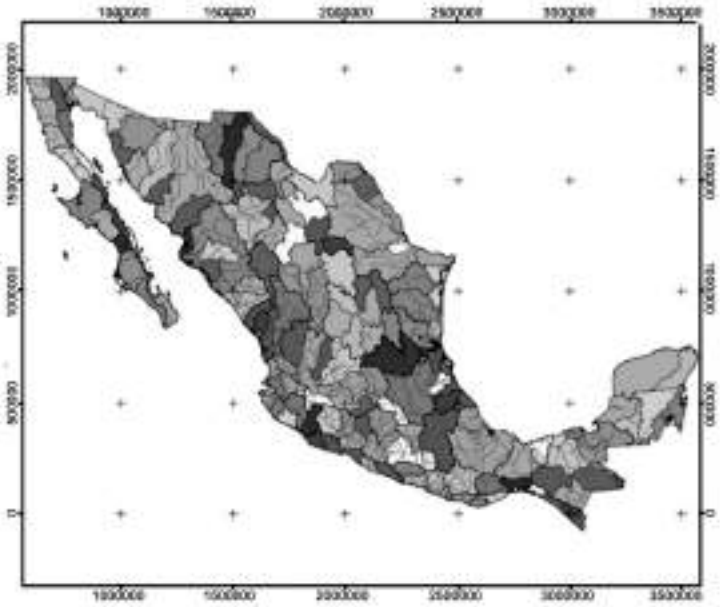


Fig. 14. Cuencas de los principales ríos de la República Mexicana (fuente: CNA).

¿Porqué ocurren las inundaciones?

Aún antes de la aparición del hombre sobre la Tierra, el entorno físico mantenía un equilibrio: el agua que llovía en las zonas montañosas bajaba por los cauces e inundaba las zonas bajas, para luego volver a su estado inicial (figuras 15a y 15b).

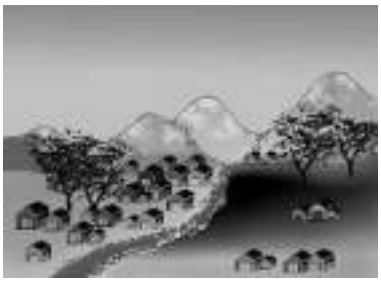
Posterior a la aparición del hombre se desarrollaron asentamientos humanos en las zonas aledañas a los cuerpos de agua (figura 15c) trayendo consigo, cuando se desborda una corriente, problemas de inundaciones (figura 15d). Adicionalmente, la degradación del medio ambiente, tal como la deforestación, la erosión, etc., modifica la respuesta hidrológica de las cuencas, incrementando la ocurrencia y la magnitud de inundaciones (figura 15e y 15f).

a) El entorno físico estaba en equilibrio.

b) Se desborda el río y las zonas adyacentes se inundan, sin que esto signifique en sí, un problema.

c) Aparecen asentamientos humanos aledaños al río.

d) Cuando el río se desborda, los asentamientos humanos se ven afectados.



e) Adicionalmente se produce deforestación y erosión por actividades humanas.

f) Lo anterior agrava los problemas debidos a las inundaciones.

Fig. 15. Proceso y formación de las inundaciones

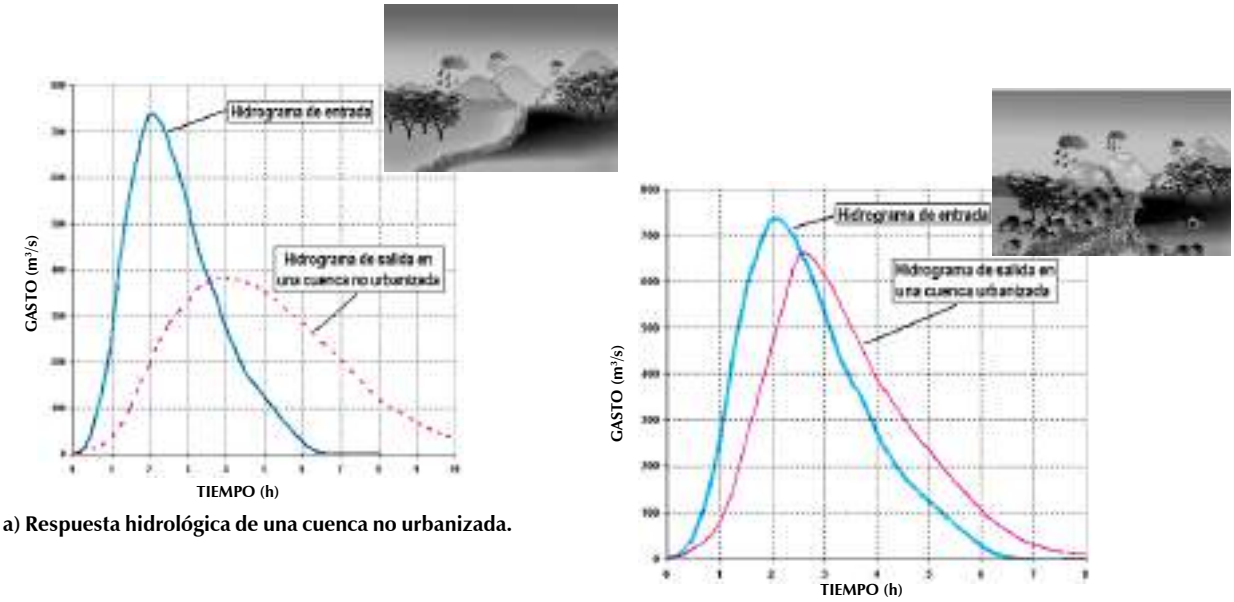
La modificación del terreno en las cuencas (cambio en los usos del suelo), produce daños cada vez más considerables por efecto de las inundaciones, debido a que:

- Se producen crecientes mayores que las que habían ocurrido (avenidas históricas) cuando las cuencas eran naturales o la degradación del medio ambiente era mínima.
- El tiempo que debe transcurrir para que los efectos de una inundación sean percibidos por la población ha disminuido, provocando que en ocasiones la respuesta de las autoridades y de la población se vea comprometida.

El número de personas que viven o trabajan en zonas que originalmente formaban parte de algún cauce, y que ocasionalmente vuelven a llevar escurrimientos (conocidas como llanuras de inundación), se ha incrementado.

Aunado a lo anterior, la gestión deficiente de los recursos naturales ha generado una transformación de las zonas boscosas en pastizales y en tierras de cultivo. La consecuencia es que el volumen de agua retenido en la parte alta de las cuencas es menor, escurre más rápido hacia la llanura y, consecuentemente, las inundaciones son más frecuentes y graves (figura 16). Entonces, el primer problema en el ámbito de las inundaciones es que la falta de planeación de las actividades humanas ha alterado el entorno y, con ello, se han establecido las condiciones que frecuentemente dan lugar a inundaciones más severas.

En muchos casos las poblaciones han perdido el contacto con su entorno y, aún dentro de la región en la que viven y trabajan, no conocen los sitios por donde escurre el agua en forma natural; el más claro ejemplo de esta situación se observa en algunas ciudades, donde las corrientes han sido canalizadas e incluso convertidas en calles o avenidas; en cuanto al agua de lluvia, al igual que el agua residual, son drenadas por el alcantarillado y la gente olvida cómo se produce esta situación. Esto último conlleva a que el segundo problema en el ámbito de las inundaciones sea que la comunidad tenga una apreciación equivocada, al creer que la inundación se ha eliminado y ya no es una amenaza o algo que deba preocuparles, por lo que no hay motivo para considerarla dentro de sus planes de emergencia.



a) Respuesta hidrológica de una cuenca no urbanizada.

b) Respuesta hidrológica de una cuenca urbana.

Fig. 16. Hidrogramas de entrada y salida en cuencas con diferente respuesta hidrológica

En la figura 16a, se presenta una avenida (hidrograma de entrada) en una cuenca no urbanizada (rural) y el hidrograma a la salida de dicha cuenca. Se observa que el gasto máximo de entrada es, aproximadamente, de 740 m³/s, mientras que el de salida es de 380 m³/s y se presenta 2 h después del gasto máximo de entrada.
En la figura 16b se muestra la misma avenida, pero en una cuenca urbana. En este caso el gasto máximo a la salida es de 660 m³/s y se presenta aproximadamente 35 min. después al de entrada.
Lo anterior pone de manifiesto que en la cuenca urbanizada del ejemplo, se tendría un gasto o caudal casi dos veces mayor que en la cuenca no urbanizada, además de contar con menos tiempo (35 minutos contra 2 h) para alertar a la población, de la llegada de la creciente.

El ciclo hidrológico

El agua que tomamos ahora es la misma que durante millones de años se ha mantenido en cualquiera de sus tres estados: líquido, gas (vapor) o sólido (hielo) reciclándose constantemente, es decir, se limpia y se renueva trabajando en equipo con el sol, la tierra y el aire, para mantener el equilibrio en la naturaleza. La continuidad del agua en la tierra es lo que conocemos como ***El ciclo hidrológico***.

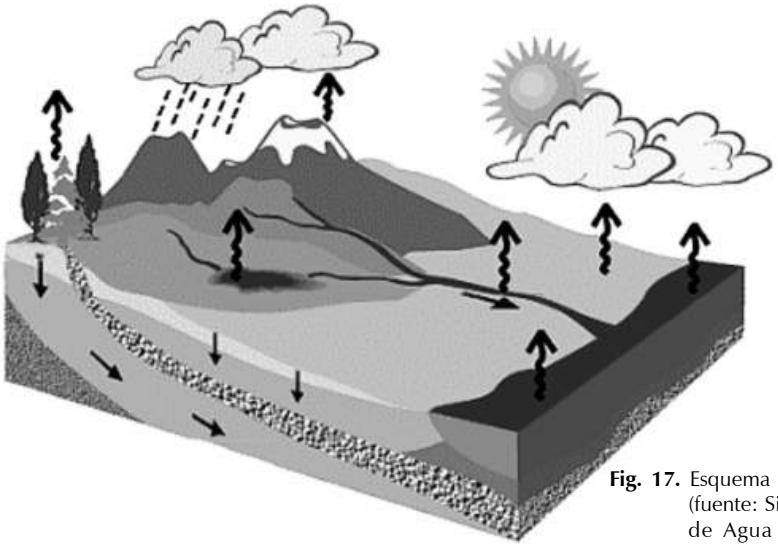
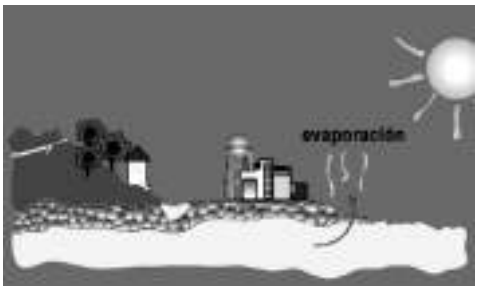
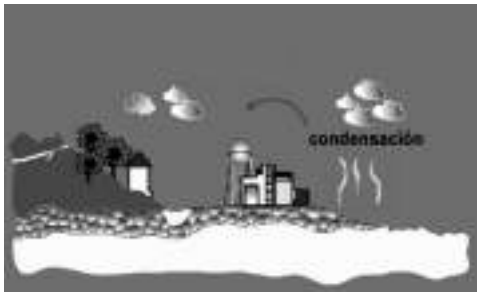


Fig. 17. Esquema del ciclo hidrológico. (fuente: Sistema de los servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Puerto Vallarta)

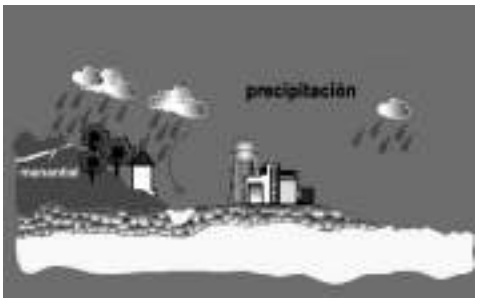
Fuente: www.wunderground.com



a) Evaporación



b) Condensación



c) Precipitación

d) Escurrimiento (superficial y subterráneo)

Fig. 18. Fases del ciclo hidrológico (fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Querétaro)

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin; sin embargo, por convención su explicación inicia cuando el sol calienta el agua superficial en los océanos, lagos y lagunas, generando la evaporación que la convierte en el vapor de agua que se eleva hacia la atmósfera.

Una vez que ese vapor de agua alcanza las capas altas de la atmósfera, se enfría y se transforma en pequeñas gotas, las cuales forman las nubes, éstas son el principal fenómeno atmosférico visible.

En las nubes, una vez que se forman las pequeñas gotas, se juntan y crecen hasta que se vuelven demasiado pesadas y regresan a la tierra como precipitación (se condensan) en su fase líquida (lluvia) o en su fase sólida (nieve o granizo).

La precipitación incluye también el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por la congelación del vapor (helada) y por la intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar).

A medida que cae la lluvia, parte de ella se evapora directamente hacia la atmósfera o es interceptada. El resto penetra hacia el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas. Si la precipitación continúa penetrando en la tierra hasta que ésta se satura, el agua excedente pasa a formar parte de las aguas superficiales, originando escurrimientos sobre la superficie de la tierra que ayudan a llenar los lagos, ríos y mantos acuíferos.

Los ríos son un claro ejemplo de aguas superficiales. Se definen como la corriente natural de agua que fluye por un lecho, desde un lugar elevado a otro más bajo. La mayoría de los ríos desaguan en el mar o en un lago, aunque algunos desaparecen debido a que sus aguas se filtran en la tierra o se evaporan hacia la atmósfera. Además, la cantidad de agua que circula por ellos, varía en el tiempo y en el espacio. Las variaciones temporales se dan durante o justo después de las tormentas.

Por otra parte, el agua que se infiltra en el suelo, y circula bajo tierra, tarda mucho más en alimentar el caudal de un río y puede llegar a él días, semanas o meses después de la lluvia que generó el escurrimiento; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Una vez que el agua retorna a la superficie de la tierra, se puede evaporar otra vez rápidamente, o ser absorbida y penetrar en el suelo y permanecer bajo tierra por miles de años hasta que al fin encuentre su camino hacia una salida. Pero sin considerar donde cae la precipitación o que tanto permanezca en el lugar, eventualmente será reciclada.

Clasificación de las inundaciones

Las clasificaciones más comunes obedecen a su origen, o bien, al tiempo que tardan en presentarse sus efectos.

De acuerdo con su origen

En este punto se trata de identificar la causa de la inundación. Los principales tipos son:

Inundaciones pluviales

Son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días.

Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte (por ejemplo de la parte alta de la cuenca).

La República Mexicana es afectada por precipitaciones originadas por diferentes fenómenos hidrometeorológicos. En verano (de junio a octubre) las lluvias más intensas están asociadas con la acción de ciclones tropicales que afectan gran parte del territorio nacional. En cambio, durante el invierno los frentes fríos son la principal fuente de lluvia.

A estos fenómenos se suman el efecto ejercido por las cadenas montañosas (*lluvia orográfica*), además del convectivo, que ocasiona tormentas de corta duración y poca extensión, pero muy intensas (*lluvias convectivas*).

Igual o más importante aún es considerar la acción conjunta de estos mecanismos productores de lluvia, por ejemplo, en octubre de 1999 como resultado de la interacción de la depresión tropical no. 11 y el frente frío no. 5 ocurrió una tormenta severa en el norte de Veracruz, afectando también los estados de Hidalgo y Puebla; causó inundaciones en la planicie costera del golfo de México, así como deslizamientos de tierra en la sierra norte de Puebla (ver tabla 4). Estas condiciones climatológicas dan lugar para que los ríos presenten regímenes hidráulicos muy irregulares, alternando estiajes duraderos con periodos de avenidas muy grandes.

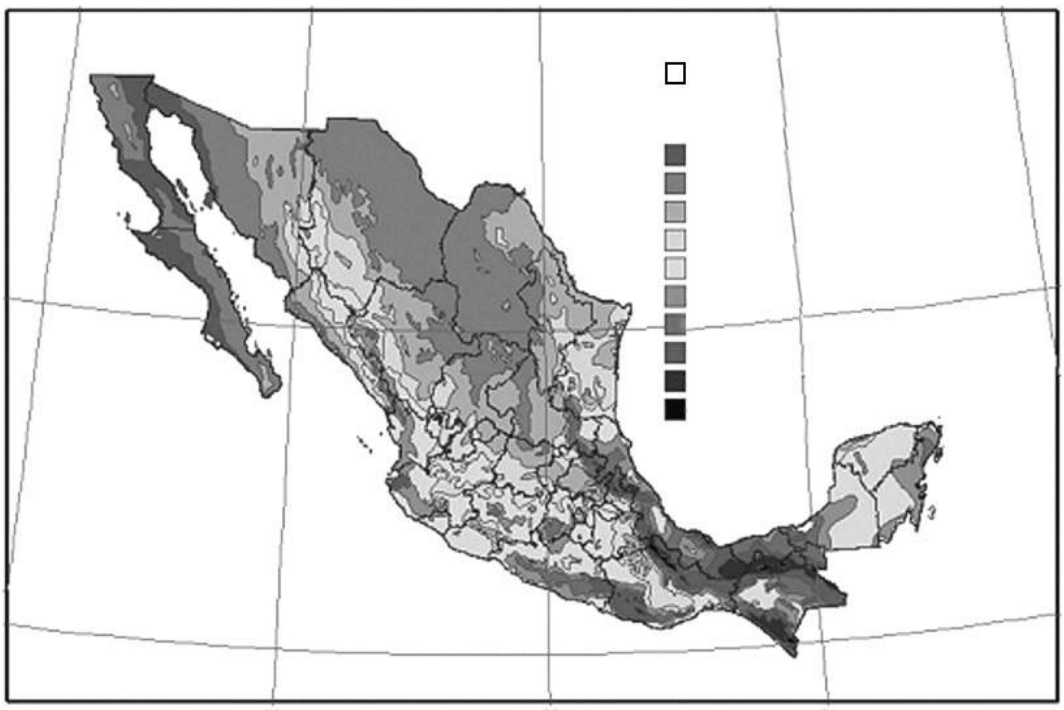


Fig. 19. Precipitación media anual en el territorio nacional (fuente: CNA)

Causas de la precipitación

El vapor de agua, al condensarse en las capas altas y frías de la atmósfera, se transforma en nubes que se presentan en diversas formas: cúmulos, cirros, estratos y nimbos; de acuerdo con el contenido de vapor de agua que se condensa, se convierte en gotas de agua. Al estar suficientemente grandes aumenta su peso y velocidad, haciendo que se precipiten hacia el suelo en forma de lluvia (*http://www.imta.mx/otros/tedigo/lluvia.htm*).

Los principales mecanismos a través de los que se genera la precipitación son:

1. Ciclones tropicales

Al transportar grandes cantidades de humedad, los ciclones tropicales pueden provocar tormentas de larga duración, del orden de varios días y abarcar grandes extensiones. Por lo que pueden ser causa de inundaciones en las principales cuencas del país, principalmente en aquéllas que vierten hacia el golfo de México o hacia el océano Pacífico (figura 20).

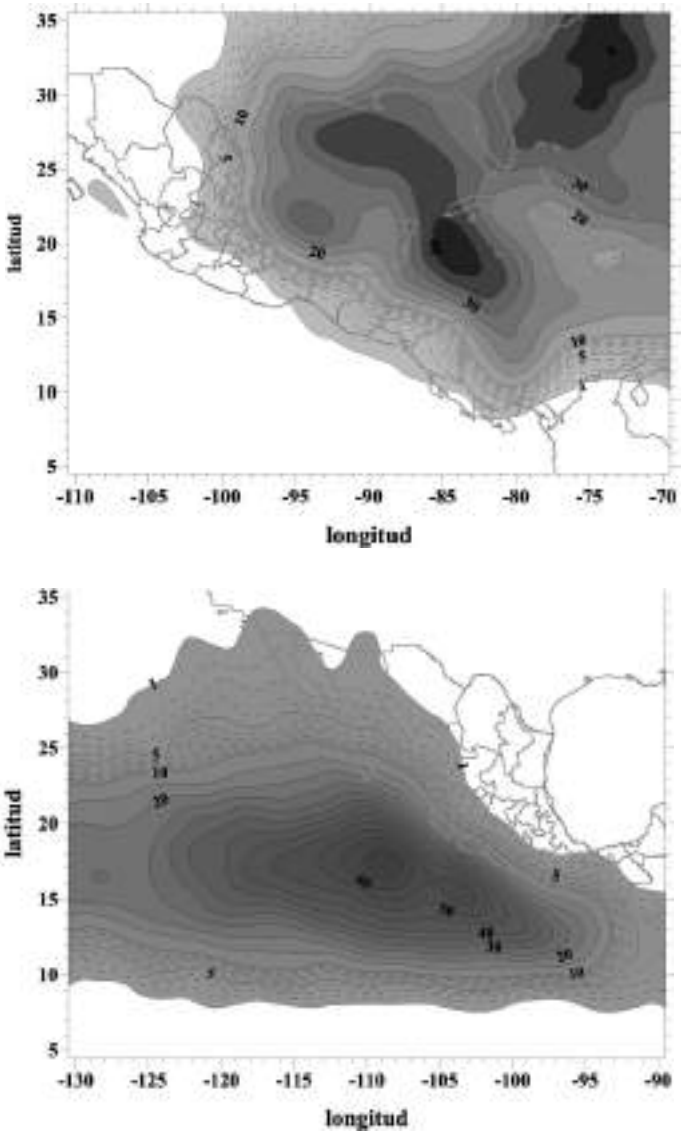


Fig. 20. Distribución del número de tormentas tropicales y huracanes. Se observa una mayor frecuencia en el océano Pacífico que en el Atlántico (Rosengaus, 2002)

Fig. 21. Impacto del huracán Isidore en la zona del Caribe. Fuente: Associated Press

2. Lluvias orográficas

Se originan con las corrientes de aire húmedo que chocan con las barreras montañosas, provocando su ascenso y consecuente enfriamiento, lo que da lugar para su condensación y, como resultado, la ocurrencia de precipitación en el lado por donde sopla el viento (barlovento) hacia las montañas.

El relieve representa un importante factor en la distribución de las lluvias, ya que actúa como una barrera o un modificador de la dirección del viento. Usualmente esta distribución de la precipitación es muy irregular entre las dos vertientes de una misma cadena montañosa, sobre todo cuando su eje es más o menos perpendicular a la dirección de los vientos húmedos dominantes (figura 22).

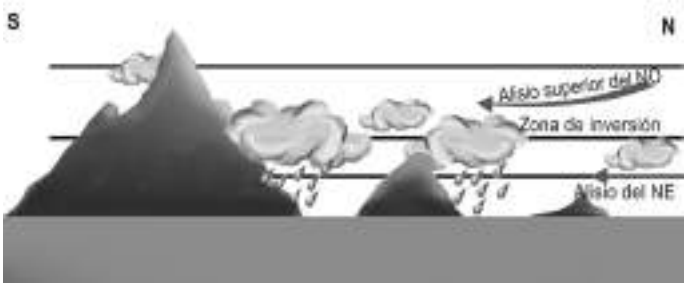
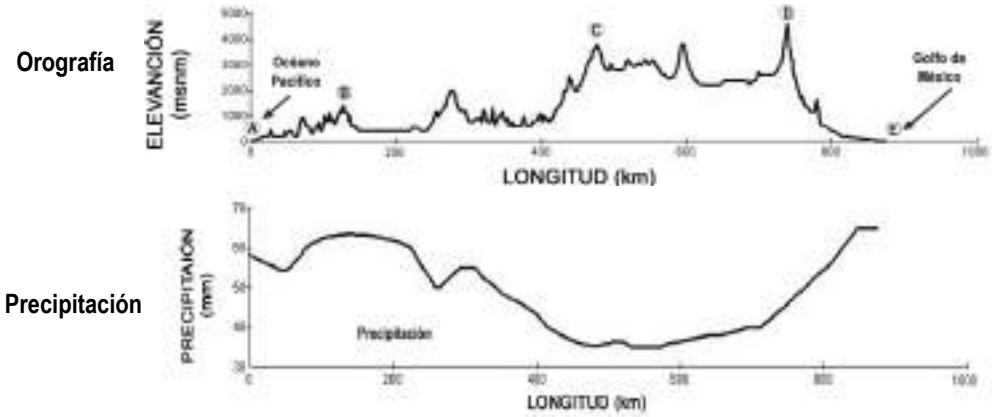


Fig. 22. Esquematización del efecto orográfico

El accidentado relieve de la República Mexicana y su orientación respecto a la circulación atmosférica trastoca enormemente las características de la lluvia, como puede verse en la figura 23.



La figura correspondiente a la precipitación, muestra que del lado del océano Pacífico, punto "A", se incrementa hasta alcanzar un máximo, coincidiendo con la máxima elevación de la cordillera, punto "B". A partir de ahí, la lluvia disminuye, alcanzando sus valores mínimos justo en la zona del altiplano, del punto "C" al "D", para que a partir de ahí nuevamente disminuya hasta la planiecie costera en el golfo de México. La zona más expuesta a la humedad es la que se ubica entre los puntos "D" y "E" que es también donde se registran las mayores precipitaciones.

Fig. 23. Correlación entre la orografía y la precipitación

3. Lluvias invernales (frentes fríos)

Consisten en el desplazamiento de frentes de aire frío procedentes de la zona del Polo Norte. En el país, la zona más afectada por este tipo de fenómenos meteorológicos es la noroeste, donde se originan precipitaciones importantes; sin embargo, también afectan la vertiente del golfo de México y la península de Yucatán. Las grandes avenidas ocurridas en los ríos Fuerte y Yaqui en Sinaloa y Sonora, son consecuencia de este tipo de fenómenos (ver tabla 4).

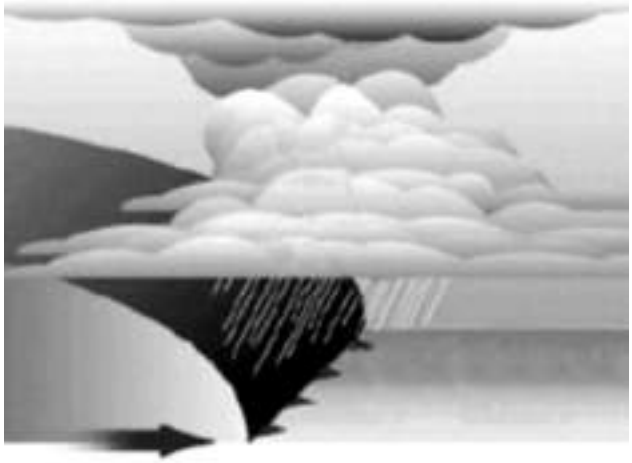


Fig. 24. Precipitación originada por frentes fríos

4. Lluvias convectivas

Las lluvias convectivas tienen su origen en el calentamiento de la superficie terrestre, ya que algunas áreas de la superficie de la tierra absorben mejor que otras los rayos solares, por ello, el aire en contacto con esas "zonas cálidas" llega a calentarse más que en los alrededores, lo que da lugar a corrientes verticales con las que asciende el aire caliente húmedo (figura 25).

Estas corrientes al llegar a la capa de la troposfera, se enfrían rápidamente, produciéndose la condensación del vapor de agua y formándose nubes densas, por lo general del tipo cúmulos o nubes macizas. Se presentan en áreas reducidas ya que el ascenso y descenso de las corrientes sólo muestran un espacio local (Ahrens, 2000).

Aún en la ciudad de México, donde se han realizado grandes inversiones en obras para el drenaje y control de avenidas, cada año las lluvias de origen convectivo causan inundaciones en las zonas de más baja elevación.

Fig. 25. Precipitación debida al efecto convectivo

Fig. 26. Camino de acceso a la comunidad "El Limón", municipio de San Blas. Cortesía de la Gerencia Estatal de la CNA en Nayarit (septiembre de 2003).

Fig. 27. Afectación en terrenos aledaños por desbordamiento de un río. Cortesía de la Unidad de Protección Civil en Zacatecas (septiembre de 2003).

Inundaciones fluviales

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

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

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

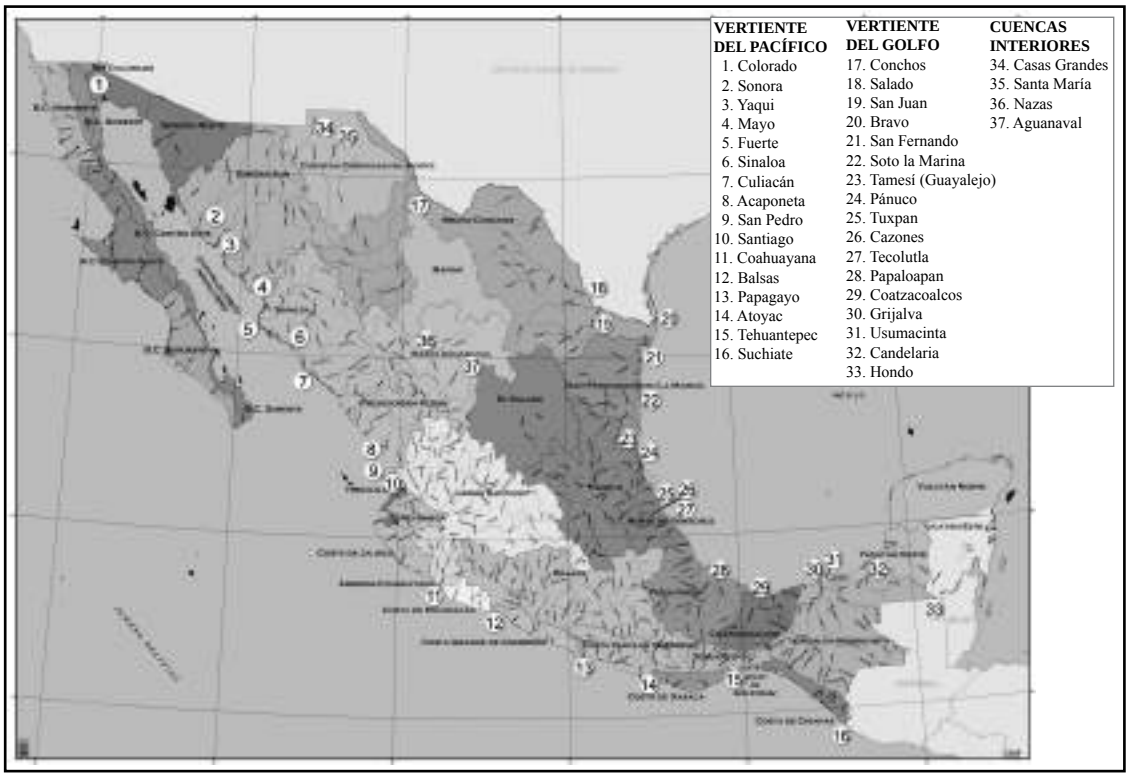


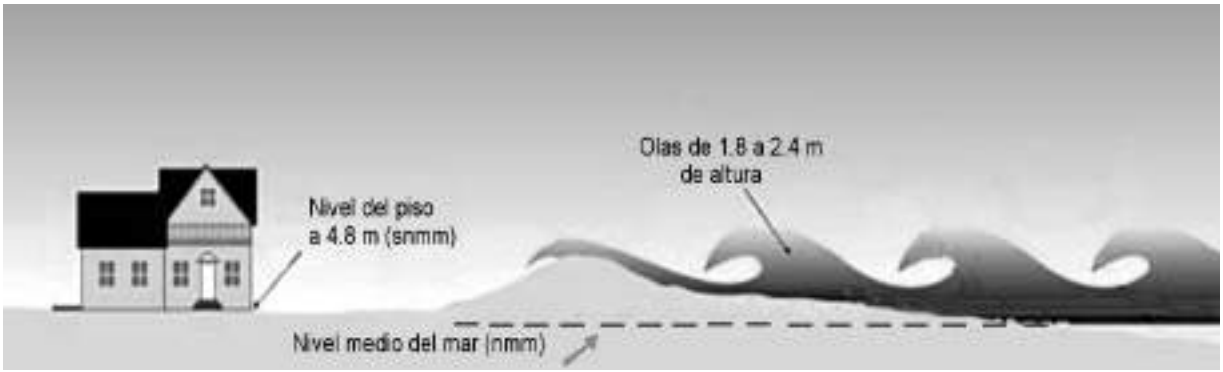
Fig. 28. Hidrografía de la República Mexicana (fuente: CNA).

Fig. 29. Vista del Caribe después del paso del huracán Isidore, septiembre de 2002.

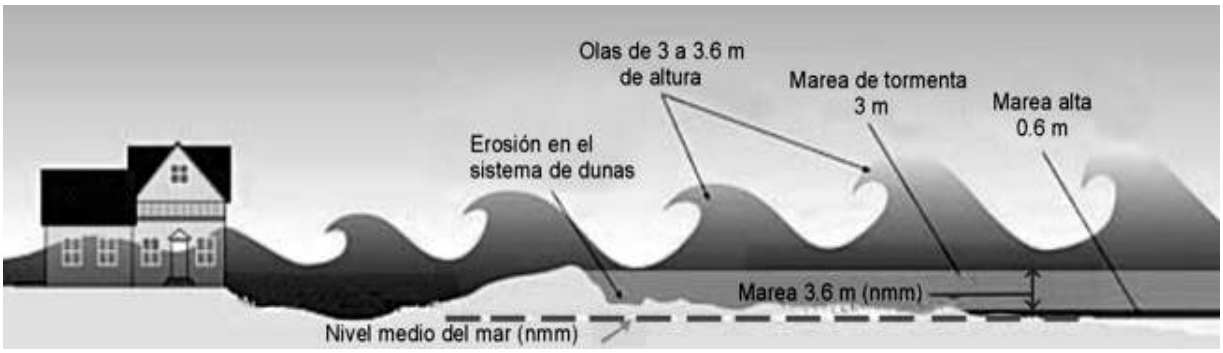
Inundaciones costeras

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

La marea de tormenta es generada por los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y por la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros. Por su parte, el oleaje en el océano puede ser provocado por diferentes factores; sin embargo, su causa más común es el viento. La suma de los efectos de ambos fenómenos, puede causar importantes estragos. En el fascículo de Ciclones Tropicales (Jiménez, *et al,* 2003), puede encontrarse más información al respecto.



a) Condición normal.



b) Con marea de tormenta.

Fig. 30. Efecto del incremento del nivel medio del mar (Jiménez, 2003).

Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica

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

Afortunadamente las inundaciones por insuficiencia de obras de almacenamiento y control han sido poco frecuentes. En 1976, el huracán *Liza* produjo lluvias extraordinarias que hicieron fallar uno de los bordos del arroyo *El Cajoncito*, afectando la ciudad de La Paz, en el estado de Baja California Sur. Durante el año de 1973, la falla de la presa *El Conejo* y algunas otras represas pequeñas provocaron una inudación en la zona del Bajío. En el año 2003, la falta de mantenimiento, debido a la conclusión de la vida útil de la infraestructura, propició la falla de la presa *Dolores* en San Luis Potosí y la presa *El Capulín* en Zacatecas.

En el caso de presas de materiales sueltos (tierra y roca), es particularmente importante evitar el desbordamiento de éstas, ya que en caso de que ocurra, en pocas horas, provocaría su propia destrucción y el gran volumen de agua almacenado en su embalse sería descargado de manera súbita, de modo que esa descarga repentina provocaría considerables fuerzas de arrastre, superando la capacidad del cauce y provocando daños muchas veces mayores a los ocasionados sin la existencia de la obra.

Eventualmente, dichas obras pueden presentar fallas en su funcionamiento hidráulico debido a diferentes factores:

1. Diseño Escaso

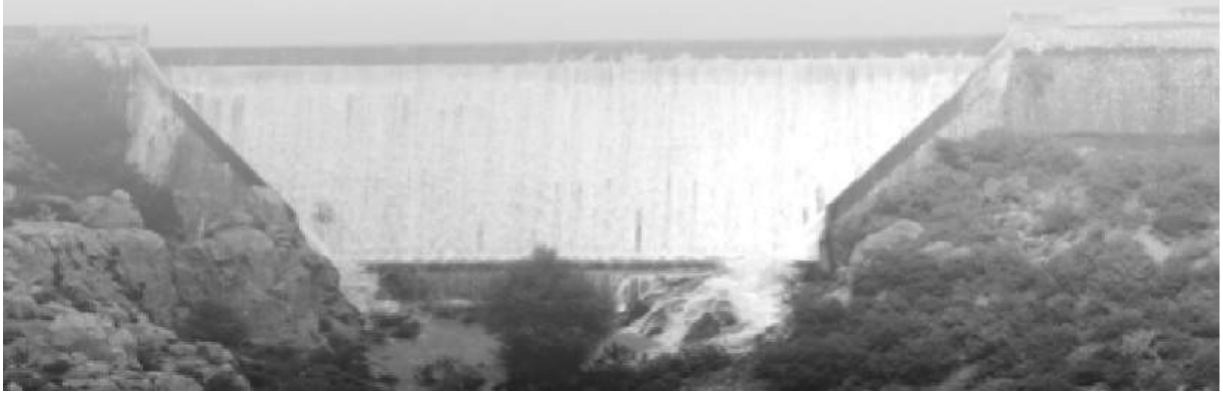
Algunas causas de un diseño escaso son la falta de información hidrológica en la cuenca o de la climatología misma que afecta la región. Otra causa es el empleo de criterios o metodologías inapropiados u obsoletos para el diseño de las obras.

Dique del arroyo *"El Cajoncito"*

La ciudad de La Paz, periódicamente, sufría problemas de inundaciones por el desbordamiento de los arroyos *El Cajoncito* y *El Piojillo,* generalmente, debido a la ocurrencia de ciclones que pasan por la zona.

Por lo anterior, se llevó a cabo la construcción de obras de protección cuya finalidad era desviar la corriente del arroyo *El Cajoncito* hacia el arroyo *El Piojillo*; sin embargo, esto propició el crecimiento de asentamientos humanos en un tramo del cauce de *El Cajoncito* y, el 30 de septiembre de 1976 la presencia del huracán *Liza* produjo una avenida que hizo fallar un bordo que protegía la zona urbanizada, ubicada dentro del antiguo cauce, provocando con ello una inundación de consecuencias graves que ocasionó la pérdida de vidas humanas y daños materiales de consideración (tabla 4).

Al parecer, el problema principal fue que la capacidad de los bordos fue rebasada por la creciente generada por el huracán *Liza*, debido a que la información disponible para su diseño era escasa y, en consecuencia, el escurrimiento calculado fue menor que el real.



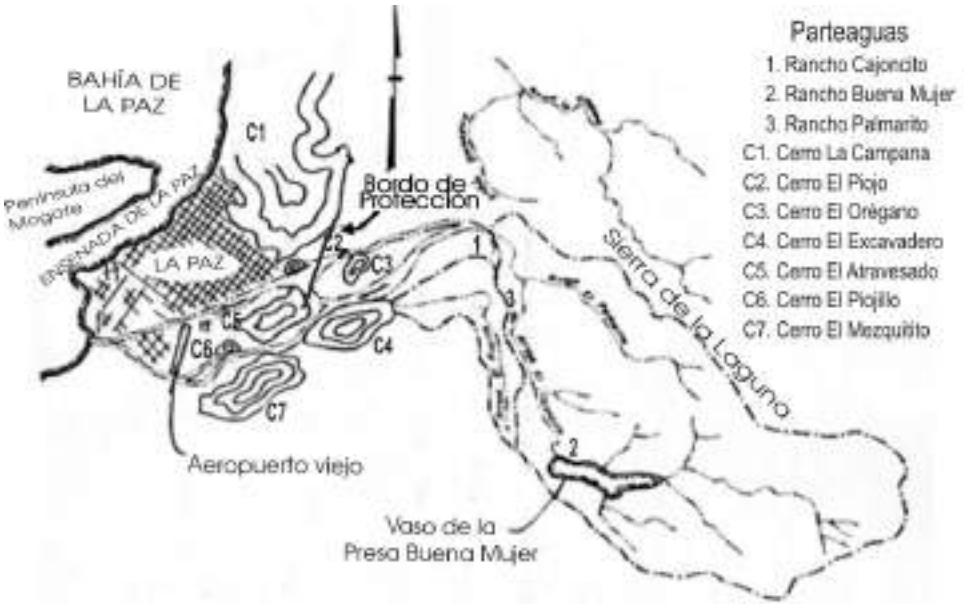


Fig. 31. Esquema de la zona afectada por la falla de un bordo en el arroyo *El Cajoncito B. C. S.* (Franco, 1983).

2. Mala operación

Este caso se refiere, básicamente, a las presas con compuertas.

Las posibles alternativas son:

- Cuando la compuerta de una presa se abre más de lo necesario y las descargas a través del vertedor producen una cantidad de agua mayor a la que puede conducir el cauce aguas abajo, se provoca el desbordamiento del río y, en consecuencia, una inundación.

- Cuando dicha compuerta no se abre lo suficiente para dejar pasar la crecida, tratando de almacenar el mayor volumen de agua y posteriormente su capacidad es insuficiente, el agua sube de nivel más allá de lo diseñado y pone en peligro la estabilidad de la cortina.

Presa *"El Conejo"*, en el estado de Guanajuato

El 18 de agosto de 1973 la ciudad de Irapuato fue inundada.

Supuestamente, hubo un periodo en el que la presencia de la lluvia fue muy constante, desde finales del mes de junio hasta el 18 de agosto. Las consecuencias fueron grandes volúmenes de escurrimiento que rebasaron la capacidad de varias presas pequeñas y bordos, ubicados aguas arriba de la presa *El Conejo*.

Adicionalmente, al darse cuenta que la capacidad del vertedor no era suficiente para desalojar los volúmenes que entraban en el embalse de esta presa, se tomó la decisión de hacer una escotadura sobre uno de los bordos de tierra, para sacar un volumen adicional por el vertedor; sin embargo, esa descarga se salió de control debido a la erosión que causó el agua al pasar sobre el bordo, con lo que esa escotadura fue el inicio para que se abriera un boquete que terminó por hacer fallar el bordo.

Aparentemente, y dada la cantidad de precipitación que se registró en la cuenca alta de la presa *El Conejo*, las extracciones debieron ser mayores para contar con una mayor capacidad de regulación para la avenida que venía; no obstante, las compuertas no se abrieron de la manera requerida, para evitar que se inundaran los terrenos ubicados aguas abajo de la misma.

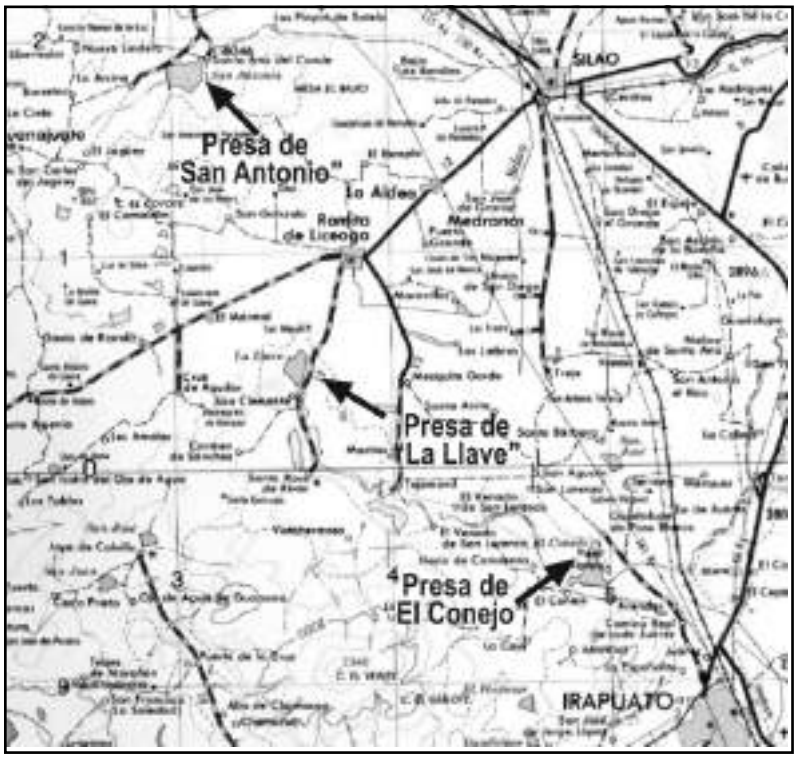


Fig. 32. Ubicación de la presa *El Conejo* (fuente: INEGI).

3. Falta de mantenimiento o término de la vida útil de la obra

Este puede ser el caso de muchas estructuras pequeñas, principalmente bordos de protección y algunas presas de principios del siglo pasado.

De acuerdo con la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA), las presas *Dolores* (*La Ventilla*), en San Luis Potosí y *El Capulín*, en Zacatecas, fueron construidas hace más de 100 años. En ambos casos, las cortinas de las presas tenían deficiencias de operación y defectos estructurales, ya que antes de su falla se encontraban muy azolvadas y con filtraciones en algunas zonas del cuerpo de las cortinas.

Presa "Dolores", en el estado de San Luis Potosí

La cortina fue sobreelevada, por lo menos en tres ocasiones, motivado por la reducción de la capacidad de almacenamiento debida a la acumulación de azolves en su embalse.

Se tiene conocimiento que antes de la falla existían filtraciones a través del cuerpo de la cortina, lo que motivaba el crecimiento descontrolado de vegetación en su paramento aguas abajo, además de que los vertedores se encontraban cerrados intencionalmente, impidiendo el derrame de los volúmenes excedentes a la capacidad útil de la presa para aumentar su capacidad de almacenamiento.

La cortina de mampostería de la presa *Dolores* fue desbordada debido a la falta de capacidad de almacenamiento del vaso debido a un azolvamiento excesivo, aproximadamente del 100% de su capacidad y a que el vertedor estaba obstruido (figura 33).

Presa "El Capulín", en el estado de Zacatecas

Esta presa contaba con una cortina construida con base en un muro de mampostería de 12 m de altura por 0.80 m de ancho, con un terraplén de apoyo en el paramento aguas abajo de la cortina. De manera similar al caso anterior, al reducirse la capacidad de almacenamiento y la de regulación, por el exceso de azolve, durante las lluvias del 14 y 15 de agosto de 2002 el embalse incrementó su nivel por encima de la corona desbordándose sobre el terraplén de apoyo. Este proceso fue acelerado debido a que los vertedores estaban sellados, con la finalidad de recuperar parte de la capacidad perdida.

La cortina de mampostería de la presa *El Capulín* también fue desbordada debido a la falta de capacidad de almacenamiento del vaso por un azolvamiento excesivo, aproximadamente del 71% de su capacidad y a que el vertedor estaba obstruido (figura 34).

Es importante recordar que la vida útil de este tipo de estructuras en términos generales, es de 50 a 100 años. Debido a que fueron construidas a finales del siglo XIX, se considera que han rebasado su periodo de vida útil.

Tanto el azolvamiento existente, como las filtraciones a través del cuerpo de las cortinas, son indicios de una falta de mantenimiento, posiblemente porque las estructuras llegaron al término de su vida útil. Sin embargo, un punto de suma importancia es el referente a las modificaciones, supuestamente realizadas por la población local, con las cuales fue alterado su funcionamiento hidráulico, respecto al diseño original.

Fig. 33. Vista aérea de la presa *Dolores* (Bitrán, 2003).

Fig. 34. Falla de la presa *El Capulín.* Vista de los azolves (Bitrán, 2003).

Clasificación de las inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca

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

Inundaciones lentas

Al ocurrir una precipitación capaz de saturar el terreno, esto es, cuando el suelo no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno. Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca, se incrementa proporcionalmente con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de éste, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede permanecer horas o días sobre el terreno inundado.

Este efecto se presenta comúnmente en zonas donde la pendiente del cauce es pequeña y, por ende, la capacidad de los ríos disminuye considerablemente provocando desbordamientos que generan inundaciones en las partes aledañas. La figura 35 muestra las zonas con menor pendiente, correspondientes a la llanura costera del río *Tecolutla* en Veracruz, que es una región con problemas de inundaciones fluviales.

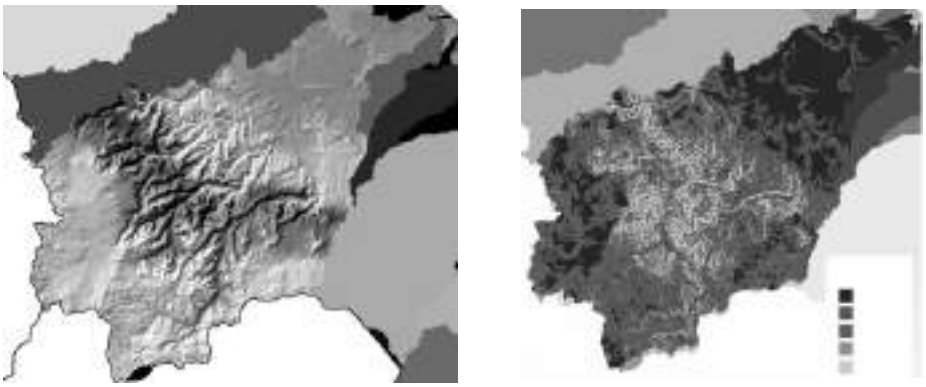
Si se identifica la presencia de sistemas meteorológicos que pueden generar este tipo de inundación, ésta podría pronosticarse, por lo que no deberían presentarse daños importantes; sin embargo, la realidad es otra, ya que la falta de instrumentación para monitorear lluvias, en muchos casos no permite anticipar la ocurrencia de este tipo de inundación; la falta de información tiene como consecuencia que al llegar la crecida la gente la perciba como una avenida súbita.

Inundaciones súbitas

Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños.

Las zonas urbanas son usualmente sitios donde se presenta este tipo de avenidas, como consecuencia de la "cubierta impermeable" formada artificialmente por los edificios y calles, así como por la deforestación. Debido a ello, el agua no puede infiltrarse y prácticamente todo el volumen precipitado se convierte en escurrimiento.

Así, donde antes una tormenta humedecía la tierra y regaba la hierba y los árboles, ahora bastan unos cuantos minutos para generar una avenida que arrastra todo lo que encuentra a su paso.



a) Topografía de la cuenca del río Tecolutla **b) Clasificación de la pendiente en la cuenca del río Tecolutla.**

Fig. 35. Relación entre la disminución de la pendiente de los cauces y los problemas de inundaciones.

La diferencia entre inundaciones lentas e inundaciones súbitas es el tiempo que tardan en manifestarse los efectos desde que comienza a llover hasta que se genera el escurrimiento. Una manera de caracterizar este tiempo es mediante el llamado *"tiempo de concentración"*, que es una característica de cada cuenca. De varios casos registrados (tabla 2), se puede decir que con tiempos de concentración del orden de dos horas, es posible que se presente una avenida súbita.

Más aún, comparando entre inundaciones lentas y súbitas, éstas son responsables de un mayor número de muertes; sin embargo, es evidente que esta clasificación obedece también al tiempo de respuesta de las instituciones de protección civil ya que, por ejemplo, si ante la ocurrencia de una inundación el tiempo requerido es de cinco horas, entonces para ese caso en particular las avenidas que se presenten en menos de cinco horas serán consideradas como súbitas, en caso contrario serán clasificadas como lentas. Con esto queda de manifiesto la importancia de llevar a cabo una vigilancia continua de la lluvia y los niveles en los ríos, en toda la cuenca y de informar y orientar a las autoridades de Protección Civil en estos temas.

Tabla 2. Cuencas identificadas como generadoras de avenidas súbitas

No.	Nombre de la cuenca	cuenca			cauce			
		Área (km^2)	Pendiente media (adim)	Pendiente media (grados)	Longitud (m)	Pendiente media (adim)	Pendiente media (grados)	Tiempo de concentración (h)
ACAPULCO, GUERRERO								
1	Pie de la Cuesta 1	2.6	0.2632	19.8	3325	0.13	7.3	0.37
2	Pie de la Cuesta 2	0.7	0.1734	9.9	1950	0.15	8.7	0.23
3	Coloso	2.3	0.2001	11.3	3350	0.09	4.9	0.33
4	Juan Álvarez superior (Aguas Blancas)	4.5	0.3001	16.7	4080	0.17	9.5	0.38
	Juan Álvarez Total (Aguas Blancas)	9.0	0.2047	11.8	5800	0.08	4.4	0.69
5	Palma Sola-Camarón Superior	9.0	0.3213	17.8	3400	0.15	8.6	0.36
	Palma Sola-Camarón Total	12.6	0.2467	13.8	5700	0.11	6.5	0.89
6	Coata Azul	7.1	0.201	11.4	3450	0.05	3.1	0.53
MOTOZINTLA, TAPACHULA, CHIAPAS								
1	MOTOZINTLA Arroyo Allende	15.8	3.57	25.7	5080	0.21	12	0.42
BAJA CALIFORNIA SUR								
1	Arroyo El Zacatal (hasta el cruce con la carretera)	10.5	0.1687	9.6	8150	0.11	6.1	0.79
MONTERREY, NUEVO LEÓN								
1	Topo Chico	59.8	0.1191	6.8	19650	0.02	1.3	2.14
TIJUANA, BAJA CALIFORNIA								
1	Laureles Superior	2.4	0.2037	11.6	3870	0.04	2.1	0.69
	Laureles total	5.1	0.1962	11.1	6030	0.03	1.9	0.98
2	Mexico Lindo superior	3	0.1873	10.6	3255	0.06	3.6	0.48
	Mexico Lindo total	4	0.2231	12.6	4555	0.05	2.9	0.68
3	Camino Verde	4.3	0.2157	12.2	3410	0.05	2.9	0.53
4	Sánchez Taboada	4.9	0.1327	7.6	3710	0.05	2.8	0.58
5	Pastejo-Aviación	7.7			4440	0.02	1.3	0.0
6	Aguaje de la Tuna superior	12.6	0.2106	11.9	8220	0.05	2.6	1.11
	Aguaje de la Tuna total	14	0.2089	11.8	9120	0.04	2.4	1.34
7	Manuel Paredes	10.5	0.1569	9	10300	0.03	1.5	1.64
	Promedio	26.8	0.23626	12.84	5417.38	0.080478	4.58	0.747
	Máximo	379.6	3.57	25.7	19650	0.21	12	2.14
	Mínimo	0.7	0.1159	6.6	1950	0.02	1.3	0.230

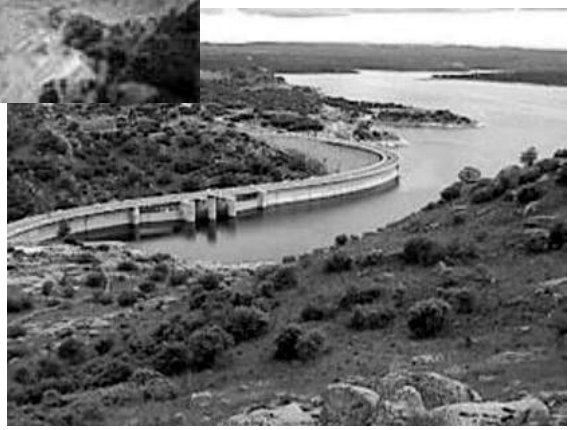
Fuente: Eslava, 2004

Mitigación de daños por inundaciones

Para llevar a cabo acciones en contra de los daños causados por inundaciones, es indispensable emprender acciones de protección. Éstas pueden ser de dos tipos: medidas estructurales (construcción de obras), o medidas no estructurales (indirectas o institucionales).

El objetivo de las medidas *estructurales* es evitar o mitigar los daños provocados por una inundación, mediante la construcción de obras (usualmente realizadas por las dependencias gubernamentales, ya que se requiere de fuertes inversiones, figura 36). Por ejemplo, para proteger una zona urbana surcada por un río se pueden proponer como medidas estructurales la retención, almacenamiento y derivación del agua, hacer modificaciones al cauce (canalizarlo o entubarlo), construir bordos o muros de encauzamiento y modificar puentes o alcantarillas.

Presa Hidroeléctrica Aguamilpa (fuente: gobierno del estado de Nayarit)



Fuente: www.mimosa.cnice.mecd.es.

Fig. 36. Ejemplos de medidas estructurales

Por otra parte, entre las medidas *no estructurales* se encuentran aquéllas cuya finalidad es informar oportunamente a las poblaciones ribereñas de la ocurrencia de una posible avenida, para que no haya muertes y se minimicen los daños. En este rubro se incluyen los reglamentos de usos del suelo, el alertamiento y los programas de comunicación social y de difusión.

Desde el punto de vista económico, tanto las medidas estructurales como las no estructurales tienen aplicación en las zonas que ya están desarrolladas; mientras que en las áreas poco desarrolladas las segundas muchas veces tienen el mismo o un mayor impacto que las estructurales.

Por ejemplo, en una comunidad con pocos habitantes la construcción de una presa (medida estructural) resulta mucho más oneroso que la reubicación (medida no estructural) de la población.

Concluyendo, se puede mencionar que las acciones estructurales tienden a minimizar los daños de las inundaciones con la construcción de obras, mientras que las no estructurales tratan de hacerlo sin la construcción de éstas.

Medidas estructurales

Dentro de este grupo está cualquier obra de infraestructura hidráulica que ayude a evitar o, al menos, mitigar inundaciones (Salas, 1999). Este objetivo se puede alcanzar de dos maneras:

- Mantener el agua dentro del cauce del río
- Evitar que el agua, que ha salido de los cauces, alcance poblaciones o zonas de interés.

Obras de regulación

Existen obras que interceptan directamente el agua de lluvia o la que escurre por los cauces, para almacenarla en un área previamente seleccionada y, posteriormente, descargarla en forma controlada, es decir, sin provocar o minimizando las inundaciones aguas abajo. Este grupo de estructuras está integrado fundamentalmente por: presas de almacenamiento, presas rompe-picos, cauces de alivio, etc.

Más aún, en los últimos años, las llamadas "obras para el mejoramiento de las cuencas", han cobrado importancia (Francke, 1998). Su objetivo es propiciar una mejor infiltración del agua de lluvia disminuyendo y regulando el escurrimiento superficial para atenuar los efectos negativos de la urbanización. Entre ellas se destacan las siguientes: reforestación, terraceo, presas pequeñas para retención de azolves, etc.

Fig. 37. Presa de almacenamiento.

Fig. 38. Presa reguladora de avenidas (rompe-picos).

Fig. 39. Estabilización de pendientes.

Fig. 40. Cortacorrientes.

Obras de rectificación

Su función es facilitar la conducción rápida del agua por su cauce, dragando los ríos para conservar o incrementar su capacidad. Algunas de las estructuras que forman parte de este grupo de obras son: la rectificación de los cauces (por medio de la canalización o el entubamiento de los ríos, figuras 41 y 42), o bien, el incremento de la pendiente (mediante el corte de meandros).

Fig. 41. Río entubado. Río de la Piedad, México. D.F.

Fig. 42. Rectificación del arroyo *Aguadulcita,* Agua Dulce, Ver.

Obras de protección

Confinan el agua dentro del cauce del río (bordos longitudinales a lo largo del río, figura 43), o bien evitan que la inundación alcance poblaciones o zonas de importancia (bordos perimetrales).

Fig. 43. Bordo longitudinal sobre el río *Santiago*, Nay.

Medidas no estructurales o Acciones Institucionales

Este tipo de medidas se basa en la planeación, organización, coordinación y ejecución de acciones que buscan disminuir los daños causados por las inundaciones. Pueden ser de carácter permanente o aplicable sólo durante la contingencia. Las principales acciones por desarrollar dentro de este tipo de medidas se relacionan con la conservación y cuidado de las cuencas, la elaboración de mapas de riesgo y reordemaniento territorial, la vigilancia y alerta, la operación de la infraestructura hidráulica, los planes de protección civil, la difusión de boletines de alerta y la evacuación de personas y bienes afectables.

Acciones permanentes

Se refieren básicamente a la normatividad para el uso del suelo, con lo que se posibilita la delimitación de las zonas inundables bajo diferentes escenarios, relacionando la magnitud del evento con el área afectada (figura 44). El objetivo es que una vez que se ha identificado la zona potencialmente inundable se definan los usos del suelo de acuerdo con el valor económico de los bienes o de las posibles pérdidas generadas por la interrupción o deterioro de la planta productiva.

Recientemente se desarrolló en el CENAPRED una guía para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas, con arrastre de sedimientos

Esta guía básica es una herramienta para identificar los sitios de mayor peligro en una corriente cercana o que cruza alguna población. No trata de sustituir los estudios hidrológicos que determinan el tipo de medidas de mitigación más adecuadas, sino que permite discernir la gravedad del problema al que se enfrentan tanto las autoridades como la población en general (Eslava, 2004).

Describe en forma sencilla cómo identificar un arroyo, su cuenca tributaria, así como su red de drenaje y, con métodos sencillos, explica cómo determinar las características de la cuenca. Posteriormente, considerando mapas de isoyetas en la República Mexicana, para diferentes duraciones y distintos periodo de retorno (Salas, 2001) se cuantifica el escurrimiento a la salida de la cuenca de interés. Una vez calculado el escurrimiento, se determina el tamaño que debe tener el cauce (A_n) para que no ocurran inundaciones.

Una forma de saber si un sitio en particular tendrá problemas por desbordamiento, es comparar el tamaño que tiene el cauce en ese punto (A_C) respecto al tamaño que necesita para que no ocurran problemas de desbordamiento (A_n).

$A_C > A_n$ No se presentan problemas por desbordamiento.

Esto indica que el arroyo cuenta con el área suficiente para que el escurrimiento calculado fluya sin ningún problema.

$A_C < A_n$ Sí se presentan problemas por desbordamiento.

En este caso, el cauce no tiene la capacidad suficiente para dejar pasar el volumen de agua calculado, por lo que se esperan desbordamientos en dicha sección.

Fig. 44. Reglamentación del uso de suelos (Domínguez, 1990).

Mapas de riesgo por inundaciones

Para estimar el riesgo por inundaciones en una determinada zona, es necesario contar con información referente a dos componentes básicos, *el peligro* y *la vulnerabilidad*.

Un mapa de riesgo es la representación gráfica de los potenciales daños en un sitio (ciudad, localidad, vía de comunicación, etc.), generados por algún fenómeno natural o antropogénico (inundación, sismo, explosión de material químico, etc.) que lo afecte.

Peligro

En el ámbito de la Protección Civil, la idea de evaluar el peligro significa cuantificar en términos de probabilidad, la ocurrencia, en un lapso dado, de un fenómeno potencialmente dañino para los bienes expuestos.

Al momento de definir el peligro, conviene medir su potencial con una variable denominada "intensidad", ya que la caracterización de un fenómeno está completa si se especifica su intensidad (Ordaz, 1996).

Desde el punto de vista de las inundaciones, el método ideal para la obtención del peligro se basa en la información que se registra en las estaciones hidrométricas, a partir de las cuales se conoce el escurrimiento y sólo se caracteriza estadísticamente la avenida; sin embargo, en la mayoría de los casos no se cuenta con tal información, por lo que un método alterno es usar un modelo lluvia-escurrimiento, para lo cual es necesario realizar estudios hidrológicos e hidráulicos.

Una vez definido el periodo de retorno (Tr) de interés, el resultado se reduce a conocer los niveles alcanzados por el agua en cualquier punto dentro de la zona de inundación.

Para facilitar este tipo de análisis, se requieren mapas de precipitación a nivel nacional, para diferentes periodos de retorno y distintas duraciones, como el mostrado en la figura 45.

Fig. 45. Mapa de peligro que representa la distribución espacial de la lluvia en el Territorio Nacional para un periodo de retorno de 5 años (Salas, 2001).

Vulnerabilidad

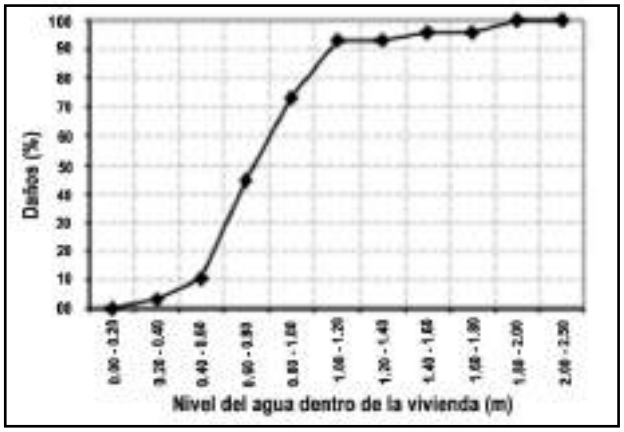
La vulnerabilidad es la medida de la susceptibilidad de un bien expuesto a la ocurrencia de un fenómeno perturbador. De dos bienes expuestos uno es más vulnerable si, ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad, éste sufre mayores daños (Ordaz, 1996).

A diferencia del peligro, que está definido por los patrones climáticos (la naturaleza) y debido a ello es difícil modificarlo, la vulnerabilidad es una variable que el hombre tiene la posibilidad de disminuir.

a) Alta Vulnerabilidad. El nivel del piso en la casa es similar al de la calle.

b) Baja Vulnerabilidad. El nivel del piso en la casa es más alto que el de la calle.

Fig. 46. Comparación de la vulnerabilidad de viviendas ante inundaciones. (FEMA, 2000).



a) Porcentaje de daños, por inundación, en una vivienda.

b) Nivel alcanzado por el agua en cada vivienda.

Fig. 47. Estimación de los de daños en una vivienda debidos a inundación

La figura 46 muestra dos viviendas. A simple vista es fácil deducir que ante la ocurrencia de una inundación, la vivienda "b" es más resistente que la vivienda "a", esto significa, que es menos vulnerable.

El análisis anterior llevado a cabo en toda una comunidad expuesta al peligro de inundaciones, permite identificar las viviendas más vulnerables y, consecuentemente, tomar las medidas de corrección para disminuir la vulnerabilidad.

En el caso de Protección Civil, la vulnerabilidad se enfoca hacia los daños en la población y sus bienes. Debido a lo anterior, para ejemplificar la vulnerabilidad basta con imaginar los daños generados al interior de las viviendas (menaje) por la entrada de agua y, en segundo lugar, los daños producidos en la vivienda misma. Para ello se definen gráficas como la mostrada en la figura 47a, que relacionan esos daños con el alcanzado por el agua. A estas gráficas se les denomina funciones de vulnerabilidad.

Para obtener la función de vulnerabilidad, es necesario planear un censo de la población que esté en zonas potencialmente inundables. Para ello, se deberán diseñar encuestas que permitan evaluar los bienes expuestos para cada vivienda, por lo que será necesario emplear trabajadores sociales y encuestadores, así como tener acceso a programas de cómputo necesarios para ir creando las bases de datos que servirán para su ubicación dentro de la zona urbana. Si no es posible lo anterior, se procederá a capturar la información en formatos impresos bien organizados para su rápida consulta, diseñados para tal fin.

Es posible que no se pueda llevar a cabo este tipo de censos, por lo que se podría pensar en clasificar las viviendas en algunas categorías, y de ahí inferir el valor de los bienes expuestos (Salas, 2004).

Este tipo de análisis nos permitiría averiguar porqué los daños de las viviendas de la figura 48 son tan contrastantes.

Riesgo

Es la combinación de tres factores: el valor de los bienes expuestos, **C**, la vulnerabilidad, **V**, y la probabilidad, **P**, de que ocurra un hecho potencialmente dañino para lo expuesto (Ordaz, 1996). De manera simbólica:

$$R = C \cdot P \cdot V$$

donde:

R	***Riesgo ante un evento dado***
C	***Costo de los bienes expuestos***
P	***Peligro***
V	***Vulnerabilidad***

La estimación del riesgo puede hacerse a nivel de vivienda, para que al sumarse con el de otras viviendas se tenga una idea del riesgo en una localidad, que a su vez, si se acumula para un municipio, proporcionaría una estimación del riesgo de ese municipio, y así sucesivamente.

De esta manera, se pueden crear mapas de vulnerabilidad, peligro y riesgo, de acuerdo con los alcances anteriormente expuestos.

Fig. 48. Dos tipos de vivienda dañadas por el huracán Isidore.

Acciones de operación durante la temporada de lluvia

Ante la presencia de un fenómeno de tipo hidrometeorológico capaz de generar una inundación, se llevan a cabo medidas cuya finalidad es conocer su evolución durante sus diferentes fases (ocurrencia y cuantificación de la precipitación; transformación en escurrimiento superficial; regulación a lo largo del cauce, defasamiento en el tiempo y atenuación del gasto máximo; operación de la infraestructura hidráulica; etc.).

De esta manera, es posible anticiparse a la ocurrencia de eventos peligrosos y estar en posibilidad de emitir los avisos que se requieran, con el fin de informar tanto a las autoridades como a la población.

Se pueden tener tres niveles de alerta, de acuerdo con el tipo de monitoreo y el nivel de resolución espacial que se desee. La figura 49 muestra que en el primer nivel se hace uso de satélites meteorológicos con lo que se puede alertar con varios días de anticipación de un fenómeno meteorológico, tal como un ciclón tropical. La zona alertada abarcaría varios estados.

En el segundo nivel se utilizan radares meteorológicos y los boletines de la USMN; en este caso se alerta con varias horas de anticipación y el área en cuestión puede incluir varios municipios. Finalmente, el tercer nivel está basado en sistemas de alerta hidrometeorológica (SAH), diseñados para avisar de la ocurrencia de una inundación en una cuenca. En este caso es posible dar aviso a la población con varios minutos, en ocasiones algunas horas de anticipación. Su funcionamiento se detalla en la página 36.

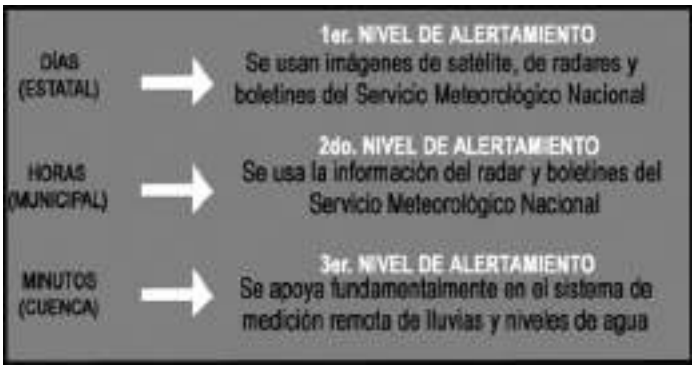


Fig. 49. Niveles definidos para el seguimiento de fenómenos hidrometeorológicos.

Monitoreo

Para este caso se requiere, fundamentalmente, del apoyo de modelos de pronóstico meteorológico empleados por la USMN.

Boletines de la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional (USMN)

La Unidad del Servicio Meteorológico Nacional es el organismo oficial encargado de proporcionar la información referente al estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país, depende de la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

La tabla 3 muestra algunos de los productos elaborados por la USMN para el seguimiento de fenómenos meteorológicos.

Durante la temporada de ciclones tropicales la CNA, a través de la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional, establece una vigilancia permanente. La información relacionada con la emisión de pronósticos y avisos se difunde a todos los interesados, entre ellos, al Sistema Nacional de Protección Civil; los boletines informativos que indican las condiciones vigentes y la posibilidad de que se formen ciclones tropicales, se transmiten cada 12 horas. En caso de que se forme un ciclón tropical, sin que haya afectación probable en las costas nacionales, se emiten avisos cada seis horas. Por el contrario, cuando existe la posibilidad de que algún meteoro toque los litorales nacionales, la emisión se hace cada tres horas.

Tabla 3. Algunos boletines e informes meteorológicos de la USMN, disponible para su consulta en http://www.cna.smn.gob.mx/boletines

Boletines e informes	Horario		Periodo de Emisión	Características
Aviso de tormentas intensas y granizo	Cada 6 h		Permanente	Estados con Potencial para Tormentas. Áreas en vigilancia por tormentas severas (potencial superior a 70 mm). Potencial de Granizo y Vientos (superiores a 40 km/h)
Boletín Meteorológico General	09:00	21:00	Permanente	Descripción General y Sistemas Meteorológicos
Informe Meteorológico de Lluvias	11:00		Permanente	Información meteorológica de lluvias registradas
Discusión Meteorológica	15:00		Permanente	Descripción General y Sistemas Meteorológicos relevantes durante las siguientes 96 horas
Vigilancia Permanente de CT del Pacífico	10:00	22:00	De mayo 15 a nov. 30	Situación meteorológica en el pacífico y potencial para desarrollo de ciclones tropicales para las siguientas 12 horas
Vigilancia Permanente de CT del Atlántico	10:00	22:00	De junio 01 a nov. 30	Situación meteorológica en el atlántico y potencial para desarrollo de ciclones tropicales para las siguientas 12 horas
Pronóstico por Ciudades a 12, 24, 48, 72, 96, 120 h Pacífico, Golfo de México, Interior		21:00	Permanente	Pronóstico del tiempo
Informe Agrometeorológico	15:00		Permanente (de lunes a viernes)	Pronóstico por Regiones Agrícolas

Fig. 50. Boletín del SIAT-CT, elaborado por el CENAPRED (http://www.cenapred.unam.mx/boletin.html).

El CENAPRED, a través de la Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos, elabora boletines tomando como base los pronósticos de lluvia de la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional (USMN), y de la Subdirección de Meteorología de la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación. En ellos se informa del posible riesgo por inundaciones en los municipios del país debido a precipitaciones intensas. El boletín se puede consultar en Internet (http://www.cenapred.unam.mx/boletin.html), se tienen dos versiones: una para fenómenos tales como frentes fríos, entrada de humedad, bajas presiones, etc. cuya emisión es diaria, y otra exclusivamente para ciclones tropicales (figura 50), cuya periodicidad depende de la cercanía y categoría del meteoro.

En el caso de la época de ciclones tropicales se establece un monitoreo de las lluvias mediante el Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales (SIAT-CT). Ver fascículo Ciclones Tropicales, editado por el CENAPRED.

Sistemas de alerta hidrometeorológica (SAH)

Debido a los daños provocados por el huracán *Pauline*, en octubre de 1997, en *Acapulco, Guerrero,* el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), a través de sus áreas de Riesgos Hidrometeorológicos e Instrumentación Hidrometeorológica, concibió la idea de los llamados Sistemas de Alerta Hidrometeorológica (SAH).

Este desarrollo tecnológico consiste en una red telemétrica basada en pluviómetros, distribuidos en la cuenca, cuya finalidad es monitorear la evolución de las lluvias, los niveles de los ríos y por medio de un modelo lluvia-escurrimiento, estimar la cantidad de agua que se espera escurra por los cauces de la cuenca en estudio.

En caso de que el volumen que fluye por el cauce exceda un determinado umbral (que es un porcentaje del gasto máximo que puede escurrir por el río sin que éste ocasione problemas) se activa una alarma; por ejemplo, si la capacidad de un determinado río es de 100 m^3/s y se selecciona un umbral muy pequeño, por ejemplo 20 m^3/s, es posible que en reiteradas ocasiones se presenten crecidas en el río con 20 m^3/s o más, lo que implicaría que constantemente se rebase el umbral y, en consecuencia, se active la alarma del sistema con gastos que no ocasionan problemas, sobre-alertando a las autoridades y a la población. En el caso contrario, el escenario sería que el umbral fuera casi igual al gasto máximo del cauce, por ejemplo 90 m^3/s, sólo en un mínimo de las ocasiones el sistema alertaría de una posible inundación. Sin embargo, dada la dinámica de las inundaciones, puede llegar un momento en que la capacidad del río sea modificada y un gasto menor a los 100 m^3/s provoque problemas por desbordamientos que no sean identificados por el sistema (Fuentes, 2002).

Ante la posibilidad de uno u otro caso, el umbral que alerta de la posible ocurrencia de eventos significativos, es calibrado en coordinación con las autoridades encargadas del sistema, con el fin de que los avisos emitidos por el sistema sean confiables y proporcionen un criterio de ayuda para las autoridades de Protección Civil, quienes deben poner en marcha las acciones de prevención que procedan ante la ocurrencia inminente, en poco tiempo (generalmente en cuestión de horas), de una inundación.

La base de los SAH recae en el "tiempo de retraso" de la crecida (figura 51) que es el tiempo que transcurre desde el momento en que se presenta el máximo valor de lluvia (intervalo 72) hasta que se registra el máximo valor de escurrimiento (intervalo 75), 3 intervalos de 10 minutos, esto es, 30 minutos. Esta media hora es el tiempo que se tiene para aplicar los planes de emergencia que se hayan elaborado para la comunidad en caso de inundaciones. Este tiempo varía de una cuenca a otra.

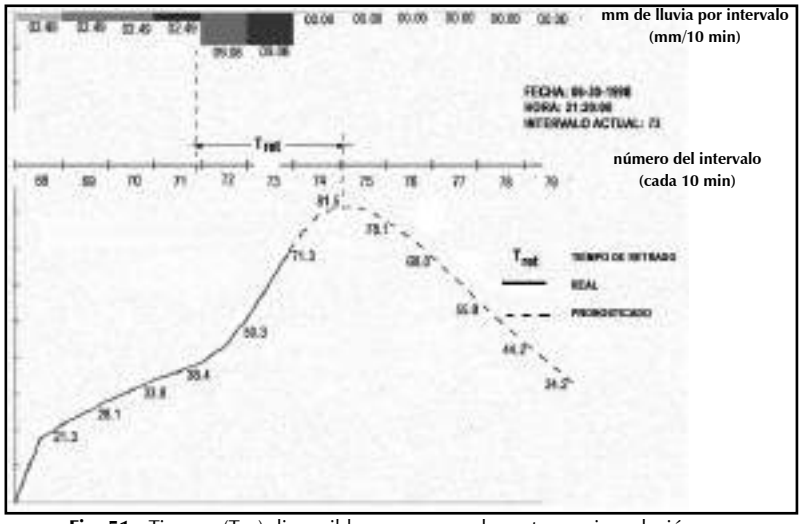


Fig. 51. Tiempo (T_{ret}) disponible para responder ante una inundación.

Un ejemplo de este tipo de sistemas es el correspondiente a la ciudad de Acapulco, Guerrero (figura 52). En ella se observan sus cuencas tributarias, las corrientes que la afectan y las estaciones que forman parte del sistema.

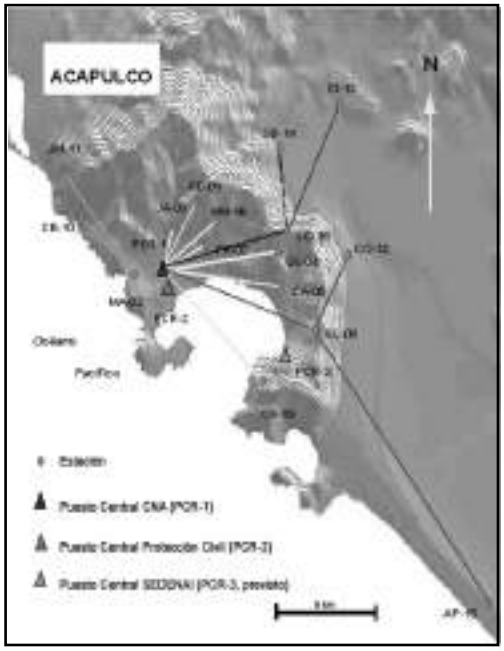


Fig. 52. Localización de estaciones y topología del Sistema de Alerta Hidrometeorológica de Acapulco, Guerrero (Fuentes, 2002).

De la misma manera como se tiene el SAH para Acapulco, existen varios sistemas más que están operando en otras entidades del país (figura 53)

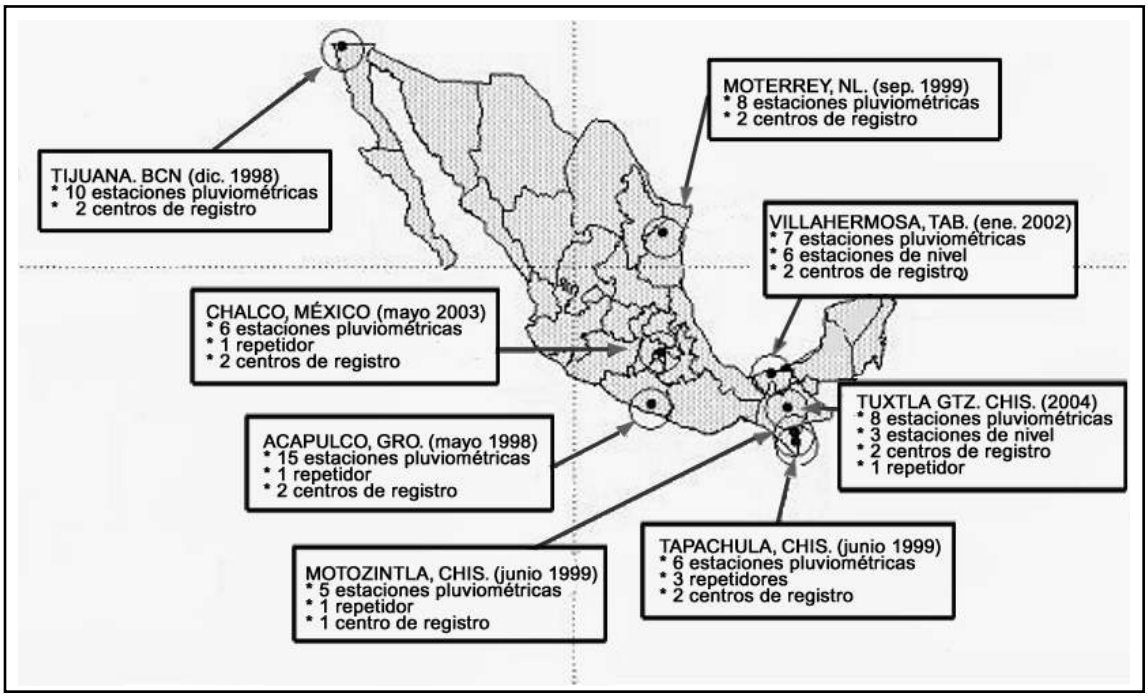


Fig. 53. Ubicación de los sistema de alerta hidrometeorológica instalados hasta 2004.

Acciones preventivas para Protección Civil

Dado que las inundaciones representan el fenómeno natural que más comúnmente se presenta en el territorio nacional, es de particular importancia estar preparados para enfrentarlas y responder adecuadamente.

Antes

Identifique los lugares más altos de la región, que no puedan ser inundados, así como las rutas de acceso a los refugios temporales.

Tenga a la mano un botiquín de primeros auxilios, lámpara de mano, radio portátil y las baterías respectivas.

Guarde sus documentos personales (cartilla del Servicio Militar Nacional, certificado de estudios, acta de nacimiento, etc.) en una bolsa de plástico, para evitar su pérdida o destrucción.

Tenga a la mano un directorio con teléfonos de emergencia.

Evite dejar solos a los niños, personas enfermas o con capacidades diferentes durante la época de lluvias. Silo hace, infórmelo a algún vecino.

En la temporada de lluvias mantenga una reserva de agua potable, alimentos enlatados y ropa en lugares bien resguardados.

Si vive en zonas bajas, casa de palma, carrizo o adobe, es preferible refugiarse en lugares más seguros, como la escuela, la iglesia o el palacio municipal (si están fuera de peligro).

Permanezca bien informado por las autoridades y los medios de comunicación.

Cuando sea avisado de que una inundación puede afectar la zona donde usted vive, desconecte los servicios eléctricos y gas.

Si la evacuación de la zona es necesaria ¡Prepárese y hágalo!. Lleve consigo sólo lo indispensable.

Durante

Conserve la calma e infórmese constantemente a través de un radio portátil.

Atienda las indicaciones de las autoridades.

Evite caminar y cruzar por sectores inundados. Aunque el nivel del agua sea bajo, puede aumentar rápidamente y desarrollar velocidades peligrosas, por lo que usted puede ser arrastrado por la corriente o golpeado por árboles, piedras, o animales muertos que lleva la corriente.

No salga ni trate de manejar a través de caminos inundados.

Si el vehículo se atasca al intentar cruzar una corriente, debe abandonarlo inmediatamente y buscar la parte más alta en los alrededores.

Ser precavido especialmente durante la noche, ya que es más difícil identificar el incremento del nivel del agua en el cauce.

Después

Pasado el peligro, manténgase informado y siga las indicaciones de las autoridades.

Manténgase alejado de la zona de desastre. Su presencia podría entorpecer el auxilio y la asistencia para las personas que han sido afectadas.

No regrese a la zona afectada hasta que las autoridades indiquen que no hay peligro, ni habite su casa hasta estar plenamente seguro que las condiciones en las que se encuentra son las adecuadas.

Evite corrientes de agua.

No se acerque a bardas o casas en peligro de derrumbarse. Aléjese de lugares donde puedan ocurrir deslaves.

No tome agua ni consuma alimentos que hayan estado en contacto directo con agua de la inundación. Utilice sus reservas de agua potable y alimentos previamente almacenados.

No pise ni toque cables eléctricos caídos.

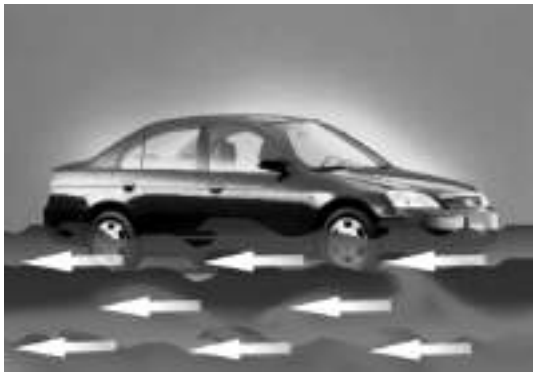
Limpie inmediatamente y con cuidado las sustancias inflamables, tóxicas, medicamentos u otros materiales que se hayan derramado.

No mueva heridos. Reporte a las autoridades las emergencias que lo ameriten.

Desaloje el agua que haya quedado estancada para evitar plaga de mosquitos.

[redacted]

a) El peso del agua es de 1000 kg /m³ y comúnmente, durante una inudación, el agua fluye con una velocidad que va de los 2.7 a los 5.4 m/s.



b) Cuando un vehículo se atasca al intentar cruzar una corriente, la fuerza de arrastre del agua golpea al auto. Por cada 30 cm que sube el agua, la fuerza lateral sobre el auto es de 230 kg.

c) Pero el factor más importante es la fuerza de flotación. Por cada 30 cm que sube el agua, el auto desplaza 680 litros de agua, lo que provoca que el vehículo pese 680 kg menos.

d) Una corriente de agua con 60 cm de altura puede arrastrar a la mayoría de los automóviles convencionales.

Fig. 54. Efecto de arrastre al intentar cruzar una corriente de agua (fuente: FEMA).

Tabla 4. Eventos que han generado los mayores daños por inundación en México (1943 – 2004)

Año	Evento	Estado	Muertos	Población Afectada	Daños Totales (Millones de dólares)	Gastos o Lluvia	Descripción
1943	Lluvias de invierno	Sinaloa	27	600	0.14	14,376 m^3/s,río Fuerte, estación Huites.	Se desbordaron 11 ríos, los más importantes fueron: el Tamazula, Humaya, Fuerte, Sinaloa y Culiacán. La parte norte del estado quedó aislada por tierra y sin comunicación por vía telefónica y telegráfica. Dos puentes ferroviarios, algunos tramos del ferrocarril Sud-Pacífico, varias carreteras y casas fueron dañadas. Hubo deslizamiento de tierras. Las pérdidas en la agricultura fueron cuantiosas.
1949	Lluvias de invierno	Sinaloa y Sonora	10	159,000	10.20	5,265 m^3/s, río Yaqui, estación El Aguila. 10,000 m^3/s, río Fuerte, estación Huites. 6,390 m^3/s, río Mayo, estación Tres hermanos.	Se desbordaron los ríos Yaqui, Fuerte y Mayo. Más de 35 localidades quedaron inundadas. Al menos 9,000 casas fueron dañadas. Dos puentes y varias carreteras quedaron dañadas. Se perdieron cientos de cabezas de ganado. Muchas localidades quedaron aisladas (se suspendió el servicio de telégrafo y teléfono). El servicio del ferrocarril Sud-Pacífico fue cancelado temporalmente por daños en las líneas férreas. La presa Álvaro Obregón que estaba en construcción, fue destruida casi en su totalidad.
1955	Huracanes Gladys, Hilda y Janet	Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Yucatán y Quintana Roo	110		7.5*	4,002 m^3/s, río Tempoal, estación Tempoal. 4,810 m^3/s, río Tampaón, estación Pujal.	Los huracanes afectaron principalmente la cuenca del río Pánuco. Inundaciones en las zonas bajas de la ciudad de Tampico, con una altura de 3.30 m sobre la media marea. La capacidad de la presa San José, en el estado de San Luis Potosí, fue rebazada. No se presentó falla en la cortina. Parte de la ciudad de San Luis Potosí se inundó. Un puente que conduce a los poblados de Mezquitic y Ahualulco resultó dañado. El desbordamiento del río Santiago destruyó una gran cantidad de viviendas en el poblado de Soledad Diez Gutiérrez. En Tampico y Ciudad Madero se contabilizaron cerca de 6,010 casas destruidas o dañadas. El área inundada se estimó en 6,400 km^2 aproximadamente. 20,000 cabezas de ganado perdidas.
1959	Ciclón de Manzanillo	Colima y Jalisco	1500	1,600		S/R	3 barcos mercantiles se fueron a la deriva con todo y su flota. 25% de las casas fueron totalmente destruidas en Cihuatlán, carreteras dañadas y trenes descarrilados.
1960	Lluvias de invierno	Sonora, Sinaloa y Chihuahua	3	96,000	18.82**	1,397 m^3/s, río Yaqui, estación La Junta. 4,556 m^3/s, río Yaqui, estación El Novillo. 15,000 m^3/s, río Fuerte, estación Huites.	Se desbordaron los ríos Yaqui, Fuerte, Mayo, Bavispe, Humaya, Tamazula, Culiacán y Papigóchic. Cerca de 60 localidades quedaron inundadas, las más importantes fueron Los Mochis, Navojoa, Culiacán y Navolato. El nivel del agua alcanzó 4 metros de altura. 500 casas fueron dañadas en Navojoa. La zona más devastada fue la región del río Fuerte. El ferrocarril Sud-Pacífico sufrió daños, así como 2 puentes y algunas carreteras. 266,550 Ha agrícolas perdidas. En el Valle del Yaqui, Sonora, 15,000 Ha quedaron afectadas.
1967	Huracán Beulah	Tamaulipas, Nuevo León, Yucatán y Quintana R.		25,000	500.00	179 m^3/s, río Sta. Catarina, estación Monterrey. 2,632 m^3/s, río Salado, estación Rodríguez.	

Año	Evento	Estados	Muertes	Población Afectada	Daños Totales (Millones de Dólares)	Gasto o Lluvia	Descripción
1967	Huracán Katrina	Guerrero, Península de Baja California, Sonora y Nayarit	15	30,000		3,881 m^3/s, río Balsas, estación Santo Tomás. 1,170 m^3/s, río Turbio, estación Las Adjuntas. 1,400 m^3/s, río La Unión. 3,550 m^3/s, río Tacpan. 20,000 m^3/s, río Balsas, presa El Infiernillo.	El gasto de 20,000 m^3/s, registrado en la presa El Infiernillo, fue sido el máximo histórico en la República Mexicana.
1968	Huracán Naomi	Colima, Sinaloa, Durango, Coahuila, Sonora y Chihuahua	10	50,000		500 mm, en 24 h, cuenca del río Baluarte. 14,140 m^3/s, río Baluarte, estación Baluarte. 16,000 m^3/s, río Acaponeta, estación Acaponeta.	Fueron afectados los ríos Presidio, Baluarte, Acaponeta y Nazas. En muchas estaciones hidrométricas sobre estos ríos se registraron gastos máximos históricos, en algunos casos fueron mayores que los correspondientes a la envolvente mundial de Creager. 60,000 Ha de cultivo afectadas Severas inundaciones en Torreón, Gómez Palacio, Chihuahua y ciudades en Jalisco y Sinaloa. Caminos y zonas agrícolas dañadas.
1976	Huracán Lisa	Baja California Sur y Sonora	600	10,000	3.10	180 mm, en 4 h 950 m^3/s, arroyo el Cajoncito.	Se calculó un gasto de 950 m^3/s con una duración de 7.5 h. Inundación en la Ciudad La Paz debida a la falla de un bordo de protección sobre el arroyo El Cajoncito.
1982	Huracán Paul	Sinaloa	0	256,880	114.60	335 mm en 24 h, Mulegé, B. C. S.	Daños económicos en casas habitación, infraestructura rural, infraestructura carretera, electricidad, telefonía, agricultura, ganadería, avicultura, industria y comercio. Por la relevante participación de Sinaloa en la agricultura nacional, las pérdidas provocadas por el ciclón incidieron negativamente en la producción nacional de varios cultivos.
1985	Lluvias de invierno	Nayarit	0	47,927	18.40	4,997 m^3/s, río Acaponeta. 2,589 m^3/s, río San Pedro.	Las pérdidas se dieron básicamente en viviendas dañadas, afectación de carreteras, bordos y zonas de cultivo.
1988	Huracán Gilbert	Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila	225	139,374	766.00	350 mm en 24 h, en Monterrey. 342 mm en 24 h, en San Carlos, Tamaulipas. 1,900 m^3/s, río Santa Catarina, estación Puente Zaragoza. 5,880 m^3/s, río San Juan, estación Tepehuaje. 900 m^3/s, río Pesquera, estación Los Herrera. 6,900 m^3/s, río Potosí, estación Cabezones. 730 m^3/s, río Pablillo, estación Linares Sur. 1,086 m^3/s, río Camacho, estación Linares Norte. 2,258 m^3/s, río Camacho, estación San Fernando.	Gilbert tocó suelo mexicano, en Quintana Roo, como categoría 5, provocando vientos de hasta 300 km/h en Cozumel con oleaje de hasta 5 m de altura. Posteriormente lo hizo, en Tamaulipas, como categoría 4. Fue en esta parte del país donde se registraron los mayores daños por precipitación pluvial (Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas). Este huracán causó el 50% de las pérdidas del sector agrícola del país en ese año. Adicionalmente, resultaron seriamente dañadas amplias zonas turísticas, agrícolas y boscosas. En la cuenca del río Santa Catarina se produjo una inundación súbita. Se calcula que el huracán Gilberto provocó, en paso por la República Mexicana, una precipitación total acumulada de aproximadamente 90,000 millones de m^3

Año	Evento	Estados	Muertes	Población Afectada	Daños Totales (Millones de dólares)	Gasto o Lluvia	Descripción
1990	Lluvias de invierno	Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Chihuahua		40,000	50.85	11,720 m^3/s, río Fuerte, estación Huites.	Se desbordaron los ríos Sinaloa, Mayo, Batopilas y Urique. El río Fuerte desarrolló 2,150 millones de metros cúbicos en 5 días. En Sinaloa 120 comunidades quedaron inundadas. En la sierra Tarahumara quedaron inundadas 33 localidades. En la Paz, el 40% de las calles fueron destruidas por la lluvia. En el estado de Sonora 50,000 Ha cultivadas quedaron totalmente dañadas, mientras que en Sinaloa se perdieron 2,712 millones de dólares en ganado.
	Huracán Diana	Veracruz e Hidalgo	139	50,000	90.70	400 mm en 24 h, Tenzabaca, S. L. P.	
1992	Lluvias de invierno	Nayarit	64	100,000	78.00	10,000 m^3/s, río Santiago, presa Aguamilpa.	Se desbordaron los ríos Santiago, San Pedro, Acaponeta, y Amoca. Se inundaron más de 70 localidades, algunas de las cuales fueron Tecuala y Tuxpan (las más afectadas), Santiago Ixcuintla, Bahía de Banderas y San Blas. 104,000 Ha agrícolas sufrieron daños y varias carreteras fueron destruidas.
1993	Lluvias de invierno	Baja California	33	10,000	32.00	100 mm en 4 h, cuenca del río Tijuana 316 mm en 15 horas, cuenca del arroyo Miraflores.	Se desbordaron los ríos Tijuana y Tecate, en Baja California, así como los arroyos El Carrizo y Matanuco, en Baja California Sur. En el río Tijuana se presentó una inundación súbita. Los sistemas de comunicación y las zonas de agricultura fueron severamente dañadas. Cierre de aeropuertos. 45% de la ciudad inundada.
	Lluvias de invierno	Baja California Sur	3	10,000	61.40	632 mm, en 24 h	Se desbordaron los arroyos Miraflores y El Tule. Asimismo, se produjeron avenidas súbitas en varios ríos. Hubo interrupción de servicios públicos y daños en la infraestructura de puentes, carreteras, tuberías y embarcaciones.
	Huracán Gert	Veracruz, Hidalgo, San Luis Potosí y Tamaulipas	40	97,943		427 mm en 24 h, Tanzabaca, San Luis Potosí	El río Pánuco registró el gasto máximo de los últimos 20 años (hasta ese entonces) El estado de Veracruz resultó dañado por inundaciones con un elevado costo económico. No hubo pérdida de vidas. En el estado de Hidalgo: 35 municipios afectados; 4,425 viviendas afectadas; 18 carreteras; 68 caminos; 38 puentes; 35 ríos desbordados; 23 sistemas de agua potable; 67,600 Ha de cultivo y 361 comunidades incomunicadas. En el estado de San Luis Potosí se perdió un 80% de las cosechas. Así como una gran cantidad de cabezas de ganado. En el estado de Tamaulipas: se inundaron 22 municipios, 17 colonias en la ciudad de Tampico y 11 colonias en Altamira

Año	Evento	Estados	Muertes	Población Afectada	Daños Totales (Millones de dólares)	Gasto o Lluvia	Descripción
1995	Huracán Ismael	Sonora, Sinaloa y Baja California Sur	200	24,111	416.40	197 mm en 24 h, A. Ruiz, Sinaloa	La lluvia provocó la inundación de algunas áreas por espacio de varias semanas. En Sonora resultaron destruidas 6,827 casas por el efecto del viento. 40 embarcaciones fueron hundidas. Se interrumpieron los principales servicios públicos. 26,800 damnificados en Sonora 4,728 casas destruidas y 21,500 hectáreas de cultivo afectadas. 107 escuelas. 3,646 km de carreteras dañados.
	Huracán Opal	Veracruz, Campeche, Tabasco y Quintana Roo	23	28,874		245 mm en 24 h, en Campeche. 100 mm en 24h, en Tapijulapa, Tabasco.	Se desbordaron los ríos Grijalva y Usumacinta. En Cd. del Carmen el 90% de las casas fueron dañadas. 300 reses perecieron en Campeche. Se dañaron varios puentes y carreteras. En Yucatán más de 200 embarcaciones sufrieron deterioro.
	Huracán Roxanne	Veracruz, Campeche, Tabasco y Quintana Roo		13880*		287 mm en 24 h, en Martínez de la Torre, Veracruz. 204 mm en 25 h, en Tabasco. 200 mm en 10 h, en Misantla.	Se desbordaron los ríos Nautla, Colipa, Actopan, Misantla y Bobos. Vientos máximos de 185 km/h y ráfagas de 215 km/h. La característica particular de este huracán fue su trayectoria irregular ya que regresó y provocó mayores daños. 331 casas dañadas totalmente.
1997	Huracán Pauline	Guerrero y Oaxaca	228	8,500	447.80	340 m^3/s, arroyo El Camarón, Acapulco. 411.2 mm en 24 horas, estación Aeropuerto, Acapulco.	54,000 casas dañadas. 122,282 hectáreas de cultivo dañadas y 80,000 Ha de bosques y selva perdidas en Oaxaca. Hubo 20 puentes y carreteras dañadas. Hubo 350 deslizamientos de tierra e interrupción de los servicios públicos.
1998	Lluvias	Chiapas	229	28,753	603.00	498 mm en 96 h, estación Arriaga, Chiapas. 342 mm en 24 h, estación Margaritas, Chiapas. 220 mm en 24 h, estación Arriaga, Chiapas.	Se debieron reparar 209 sistemas de abasto de agua potable en comunidades rurales. Igualmente se realizaron trabajos de limpieza y desazolve de alcantarillas en comunidades rurales y cabeceras municipales. Se encauzaron 18 ríos en la región. El 50% de los caminos rurales quedaron afectados. La vía ferroviaria sufrió 47 cortes. 8 puentes colapsaron y 15 km de vía fueron completamente destruidos.
		Baja California	92	3,000	38.78		20 colonias inundadas, cierre parcial de carretera Ensenada-Tijuana, parálisis urbana, pérdidas por 600 mdp en el sector industrial.
1999	Depresión Tropical 11	Veracruz, Puebla, Hidalgo y Tabasco	387	1,904,000	807.50	420 mm en 24 h, estación Tenango, Puebla. 382 mm en 24 h, estación La Laguna, Puebla. 212 mm en 24 h, estación Martínez de la Torre, Veracruz. 102 mm en 24 h, presa La Esperanza, Hidalgo.	En el caso de Puebla, los sectores con mayores daños fueron: sistema de transporte, generación de energía eléctrica, suministro de agua potable, vivienda y agricultura. En el caso de Veracruz, los sectores con mayores afectaciones fueron: agricultura, vivienda, transporte y comunicaciones y agua y saneamiento. Para el caso de Tabasco, los sectores con mayores afectaciones fueron en este orden: los siguientes: vivienda, agua y saneamiento, ganadería, transporte y comunicaciones e industria manufacturera.

Año	Evento	Estados	Muertos	Población Afectada	Daños Totales (Millones de dólares)	Gasto o Lluvia	Descripción
2000	Huracán Keith	Quintana Roo, Chiapas, Tamaulipas y Nuevo León	9		38.78	140 mm en 24 h, Chetumal, Q. Roo 366.5 mm en Sabinas, Tamaulipas	La presa "Las Ánimas" recibió 64.8 millones de m³
2001	Huracán Juliette	Sonora y Baja California Sur	9	38,730	184.15	400 mm en 24 h, estación Santa Gertrudis 392 mm en 24 h, estación San Bartolo 387 mm en 24 h, estación Capuano 385 mm en 24 h, estación Santa Anita 380 mm en 24 h, estación Yáñez 380 mm en el valle del Yaqui 327 mm en el valle de Guaymas 1,658 m³/s, arroyo Matapé, arriba Punta de agua	Población afectada 22,365. 18,873 viviendas dañadas; 273 escuelas dañadas. 1,451 Ha de cultivo dañadas; 46,506 km de caminos afectados.
	Lluvias	Varios estados	65	129,954	42.30	S/R	14,102 viviendas dañadas; 18 escuelas dañadas; 10,000 Ha de cultivo dañadas; 600 km de caminos afectados. En Guerrero 175 mil estudiantes de nivel tabaco sin clases por un par de días, habilitación de 632 albergues, pérdidas de cosechas no cuantificadas (plátano, maíz y tabaco), desvíos en la carretera Ometepec - Iguala a la altura del km 7. En Jalisco daños en instalaciones de varios hoteles. También se reportaron daños en Michoacán, Veracruz, Chiapas y Guerrero.
2002	Huracán Isidore	Yucatán, Campeche	4	500,000	870.07	250 mm en 24 h, en Becanchen, Yucatán. 236.5 mm en 24 h, en Polizadas, Campeche. 227.7 mm en 24 h, en Campeche, Campeche. 204.5 mm en 24 h, en Cacalote, Chiapas. 777 mm en 96 h, en Campeche. 680 mm en 96 h, en Chiapas. 504 mm en 96 h, en Yucatán. 381.5 mm en 96 h, en Tabasco.	Los daños causados por el huracán "Isidore" son superiores a los que ocasionó "Gilbert" en 1998. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) cuantificó un total de 5,500 postes caídos. La Secretaría de Educación Pública (SEP) estima que más de 538,000 alumnos yucatecos de todos los niveles educativos fueron afectados en un total de 2,254 escuelas. En Campeche, la cifra de alumnos afectados fue de 238,000, correspondientes a 1,240 escuelas de todos los niveles educativos.
	Huracán Kenna	Nayarit, Jalisco	2	374,500	122.15	250 mm en 24 h, estación Cuyutlán, Colima	Población afectada 525,952. 33,444 viviendas dañadas; 376 escuelas dañadas. 203,434 Ha de cultivo dañadas; 741 km de caminos afectados.
2003	Lluvias de verano	Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Zacatecas	14	258,301	194.13	125 mm en 24 h, estación Carrillo, Querétaro. 116 mm en 24 h, GRC Hgo-Querétaro, Querétaro. 105.5 mm en 24 h, estación El Pastillo, Querétaro. 97.8 mm en 24 h, estación Cortázar, Guanajuato. 93.9 mm en 24 h, estación Pajaritos, Nayarit. 82.2 mm en 24 h, estación Capomal, Nayarit. 79 mm en 24 h, estación P. Caborca, Durango. 78.1 mm en 24 h, estación Peña del Águila.	Aunque se registraron valores de lluvia elevados, el principal problema fue que durante el mes de septiembre la lámina de precipitación acumulada fue muy grande, por lo que la capacidad de los ríos y arroyos fue superada. 258,301 personas afectadas. 18,139 viviendas dañadas. 339 km de caminos afectados. 154,324 hectáreas afectadas.
2004	Frente Frío no. 46	Coahuila	38	6,692	13.60	55.9 mm en 24 h, Piedras Negras	1,673 viviendas dañadas; 11 escuelas afectadas; daños en la distribución de agua potable; 480 vehículos dañados; 1 puente. Daños al sector agrícola y pecuario.

S/R Sin registros de lluvia ni gasto.
* Cuantificación de daños correspondiente sólo a la ciudad de Tampico.
** Cuantificación de daños coorespóndiente sólo al estado de veracruz.
* Sólo en Veracruz.
Fuente: fascículo Inundaciones 1999, revista Prevención, informes de la serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México e información propia del Área de Estudios Socioeconómicos.

Entidades más afectadas por inundaciones

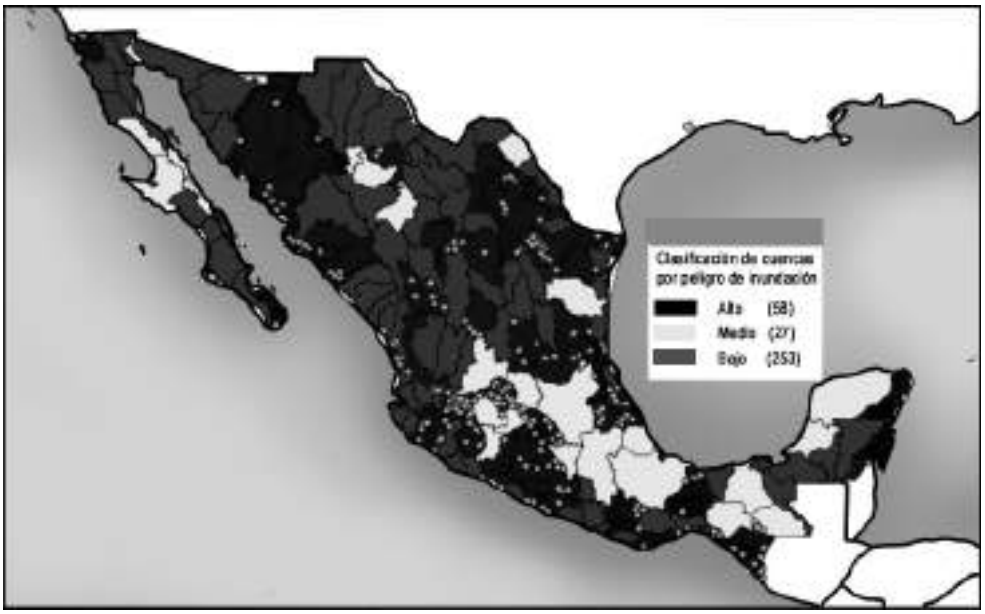


Fig. 55. Localidades con más de 10,000 habitantes ubicadas en cuencas de alto peligro por inundaciones. (fuente: Base de datos del área de Riesgos Hidrometeorológicos, CENAPRED)

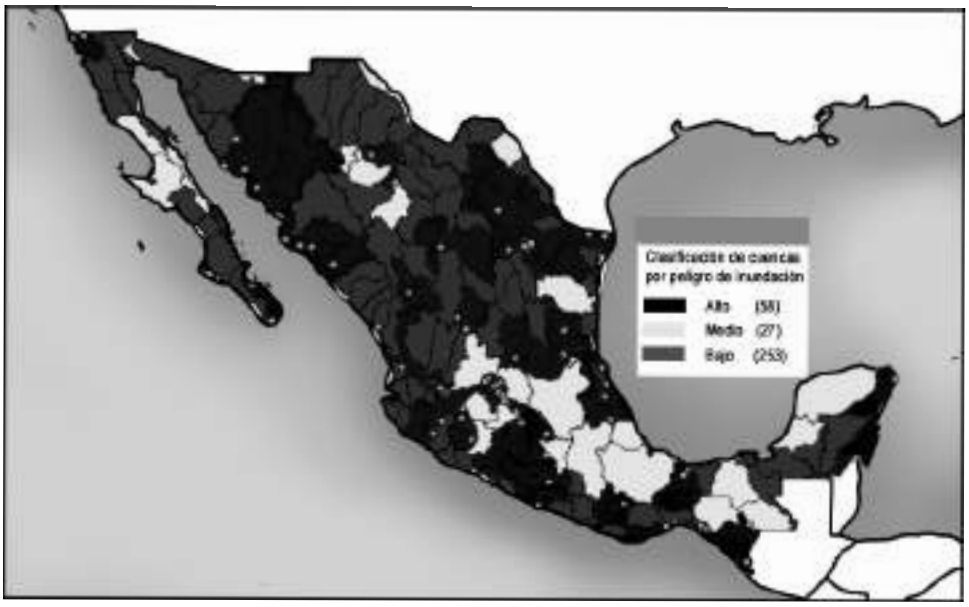


Fig. 56. Localidades con más de 50,000 habitantes ubicadas en cuencas de alto peligro por inundaciones. (fuente: Base de datos del área de Riesgos Hidrometeorológicos, CENAPRED)

Preguntas frecuentes

1. ¿Cuáles son las principales causas de inundación en el país?

Existen tres principales factores que generan inundaciones:

- Lluvias (de invierno, de verano o convectivas)
- Ciclones tropicales
- Falla de obras hidráulicas (diseño inadecuado, mala operación o falta de mantenimiento)

2. ¿Cuántos tipos de inundaciones existen?

El tipo de inundación puede definirse desde diversos puntos de vista, de acuerdo con:

- Duración de la inundación, éstas pueden ser **lentas** o **súbitas**
- Mecanismo que las genere, pueden ser **pluviales**, **fluviales**, **costeras** o **por falla de obras hidráulicas**.

3. ¿Cuál es la diferencia entre inundación y avenida?

La avenida es la elevación del nivel del agua en el río debido a que por él fluye un mayor caudal. La inundación puede ser una consecuencia de esa avenida.

No siempre que ocurre una avenida se tiene una inundación. Ésta se presenta sólo cuando la capacidad de la corriente es insuficiente para desalojar el volumen de agua que fluye a través de ella y se presenta un desbordamiento.

4. ¿Es posible saber de la ocurrencia de alguna inundación en mi ciudad?

Sí. A nivel local las Unidades Estatales y Municipales de Protección Civil, así como las Gerencias Regionales y Estatales de la CNA, mantienen una vigilancia de la lluvia y el nivel en los cauces. A nivel federal existen avisos del Servicio Meteorológico Nacional, de la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación y del mismo CENAPRED.

5. ¿Qué es un mapa de riesgo de inundaciones?

Es la representación gráfica de diferentes escenarios de posibles daños por inundación, con lo que se pueden llevar a cabo medidas que mitiguen dichos daños.

6. ¿Qué es la respuesta hidrológica de una cuenca?

Es la forma como fluye el agua en un arroyo o río y está en función de las características fisiográficas de su cuenca (área, pendiente media del cauce, usos del suelo, etc.). Por ejemplo, a mayor pendiente la respuesta hidrológica es más rápida. El conocimiento de lo anterior permite que las autoridades de Protección Civil sepan de cuánto tiempo disponen para poner en marcha sus planes de emergencia.

7. ¿Qué es un Sistema de Alerta Hidrometeorológica y dónde se han instalado?

Un Sistema de Alerta Hidrometeorológica (SAH) es un conjunto de procedimientos organizativos, sociales y técnicos llevados a cabo por varias instituciones y coordinados por las autoridades de Protección Civil. Un subsistema es el de monitoreo de la lluvia para el alertamiento de la población ubicada en zonas potencialmente afectables y otro es el de planes de emergencia.

Hoy en día se cuenta con varios SAH instalados en las ciudades siguientes: Acapulco, Gro.; Tijuana, B. C.; Monterrey, N. L.; Motozintla y Tapachula, Chis.; Chalco, México y Villahermosa, Tab.

8. ¿Porqué las avenidas súbitas son extremadamente peligrosas?

Porque debido al poco tiempo que pasa desde el momento en que se generan hasta el momento en que la población las detecta, se hace difícil emitir una alerta con suficiente tiempo de anticipación y, por lo tanto, si no se cuenta con programas de respuesta adecuados y preparación de la población, aumenta la posibilidad de tener pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales.

9. ¿Cuándo pueden incrementarse los efectos devastadores de una avenida súbita?

Una avenida súbita puede ser muy peligrosa cuando existen antecedentes de erosión en la cuenca, después de una sequía o cuando se han presentado incendios forestales. Estos fenómenos pueden erosionar la cubierta vegetal de una ladera con lo que al ocurrir una avenida súbita, existe una carga mayor de arrastre de suelo, árboles, rocas y objetos varios con una alta velocidad que incrementan la afectación a las personas y sus viviendas.

10. ¿Dónde se presentan las avenidas súbitas?

Pueden presentarse en zonas con fuerte pendiente, en abanicos aluviales, en ciudades, al romperse una presa, dique o bordo.

Glosario

1. **Área de Aportación.** Véase cuenca.
2. **Avenida Súbita.** Es el incremento en el nivel del agua en el río, debido a que por él fluye un caudal mayor a lo normal, con un corto tiempo entre el momento en que se generan y el momento en que se detecta. A estos fenómenos se debe el mayor número de pérdida de vidas humanas y daños materiales.
3. **Azolve.** Material de acarreo que obstruye una corriente de agua.
4. **Barlovento.** Lado por donde incide el viento cuando éste choca con una cadena montañosa.
5. **Bienes Expuestos.** Son todos aquellos bienes y servicios usados por la población para satisfacer sus necesidades y que pueden ser afectados durante una inundación.
6. **Bordo de protección.** Estructura que sirve para contener el agua de una corriente, ya sea no dejando que ésta salga e inunde las zonas vecinas, o bien, una vez que el escurrimiento del río ha sobrepasado la capacidad de conducción de la corriente y se ha desbordado, éste no alcance una determinada zona.
7. **Capacidad de conducción.** Potencial máximo con el que cuenta una corriente para desalojar un determinado volumen de agua durante cierto tiempo.
8. **Cauce.** Se refiere a la zona más baja del terreno por donde normalmente escurre el agua que se precipita en las zonas aledañas.
9. **Ciclón Tropical.** Es un sistema atmosférico cuyo viento circula en dirección ciclónica, esto es, en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur. Se origina en las regiones tropicales de nuestro planeta.
10. **Ciclón Tropical.** Sistema atmosférico cuyo viento circula en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur. Se forman entre las latitudes 5° y 30° norte y sur, y donde la temperatura del mar es superior a 26° C. (Jiménez, 2003).
11. **Coeficiente de escurrimiento.** Porcentaje de la lluvia convertida en escurrimiento. Su dimensión varía entre 0 y 1. Es inversamente correlacionado con la capacidad de filtración (por ejemplo, superficies impermeables tienen el más alto coeficiente de escurrimiento y viceversa).
12. **Corona.** Parte más alta de la cortina que, en ciertos casos, se usa para construir una vía de comunicación (carretera, vía de ferrocarril).
13. **Cortina.** Estructura que tiene por objetivo interponerse al paso de la corriente para crear un almacenamiento o aprovechar parte de su escurrimiento hacia otro sitio.
14. **Cuenca.** Área que aporta el agua precipitada hasta un determinado punto sobre una corriente, a través de un sistema de corrientes. Está delimitada por el parteaguas.
15. **Cuerpo de agua.** Formación hídrica que en conjunto forman la hidrosfera como charcos temporales, estanques, lagunas, lagos, mares, océanos, ríos, arroyos, manantiales, reservas subterráneas, acuíferos, casquetes polares y masas nubosas. (Sarmiento, 2001).
16. **Cubierta vegetal.** Conjunto de plantas localizadas en un área geográfica definida que forman una capa protectora para el suelo; puede ser total, parcial, rala, dispersa, etc. (Sarmiento, 2001).
17. **Desbordamiento.** Volumen de agua que sale por los lados de un río, cuando la capacidad de conducción de éste ha sido superada.
18. **Dique.** Véase bordo de protección.
19. **Embalse.** Es la zona donde se acumula el agua una vez que la cortina ha detenido el flujo de la corriente.

20. **Escotadura.** Abertura grande que se hace sobre la cortina de presas pequeñas que no cuentan con vertedor.

21. **Estaciones Hidrométricas.** Sitio junto a un río donde periódicamente se lleva a cabo la medición del escurrimiento, para conocer su régimen hidráulico a lo largo del año.

22. **Estiaje.** Periodo del año en el que las precipitaciones son mínimas, provocando como consecuencia los menores escurrimientos.

23. **Evaporación.** Es el proceso por medio del cual el agua que se encuentra en los grandes cuerpos de agua y en el suelo, cerca de la superficie, pasa del estado líquido al gaseoso y se transfiere a la atmósfera.

24. **Evapotranspiración.** Es la combinación de evaporación y transpiración.

25. **Gasto.** Es la cantidad de escurrimiento que pasa por un sitio determinado en un cierto tiempo, también se conoce como caudal. Este concepto se usa para determinar el volumen de agua que escurre en un río.

26. **Hidrograma.** Es la representación gráfica de la variación continua del gasto en el tiempo. En cada instante se conoce el gasto que está pasando en el sitio de medición.

27. **Hietograma.** Es una gráfica de barras que muestra la variación de la altura o de la intensidad de la precipitación en intervalos de tiempo, usualmente de una hora.

28. **Intensidad de precipitación.** Es la cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo (altura de precipitación por unidad de tiempo). Sus unidades son mm/h, mm/día, etc.

29. **Inundación.** Evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica que provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, genera invasión o penetración de agua en sitios donde "usualmente" no la hay.

30. **Infiltración.** Proceso que varía en el tiempo a través del cual, el agua de lluvia es absorbida por el suelo, haciendo que los huecos de éste se llenen.

31. **Limnigrafo.** Aparato automático con el que se obtiene un registro continuo de los niveles del agua en los ríos.

32. **Limnimetro.** Es una regla graduada que se coloca en una de las márgenes del cauce, en la que normalmente se lee la elevación de la superficie del agua en los ríos cada dos horas, durante la época de avenidas, y cada 24 h en época de estiaje.

33. **Llanuras de inundación.** Zonas ubicadas a cada lado del lecho del río por donde usualmente no escurre agua; sin embargo, cuando se presentan crecidas, son invadidas por el agua excedente que se desborda del cauce principal.

34. **Lluvia.** Véase precipitación.

35. **Lluvias Convectivas.** Lluvias con una extensión territorial pequeña, de corta duración pero muy intensas. Típica de zonas urbanas.

36. **Marea de tormenta.** Es el ascenso del nivel medio del mar originado por la disminución de la presión atmosférica en el centro del ciclón tropical y los vientos de este fenómeno que inciden sobre la superficie mar.

37. **Meandros.** Curvas que describe un río en una planicie.

38. **Orografía.** Parte de la geografía que trata del estudio de las montañas.

39. **Paramento.** Cara de la pared que forma la frontera del cuerpo de la cortina con el entorno.

40. **Parteaguas.** Es una línea ima-ginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico que separa una cuenca de sus vecinas.

41. **Peligro.** Es la cuantificación, en términos de probabilidad, de la ocurrencia, en un lapso dado, de un fenómeno potencialmente dañino para los bienes expuestos.

Para caracterizar adecuadamente al fenómeno, es conveniente hacer referencia a su "intensidad".

42. **Periodo de retorno.** Es el tiempo que, en promedio, debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor a una cierta magnitud. Normalmente, el tiempo que se usa son años y la magnitud del evento puede ser el escurrimiento, expresado como un cierto gasto, una lámina de precipitación o una profundidad de inundación (tirante). Se subraya que el evento analizado no ocurre exactamente en el número de años que indica el periodo de retorno, ya que éste puede ocurrir el próximo o dentro del periodo especificado.

43. **Pluviómetro.** Sirve para conocer la lluvia acumulada en intervalos de 24 horas.

44. **Precipitación**. Proceso por el cual el vapor de agua que forma las nubes se condensa, formando gotas de agua que al alcanzar el tamaño suficiente se precipitan, en estado líquido como lluvia o sólido como nieve o granizo, hacia la superficie terrestre. La precipitación pluvial se mide en milímetros (Ahrens, 2000).

45. **Presa.** Obra de infraestructura hidráulica que ayuda a evitar o mitigar los daños provocados por una inundación, almacenando los escurrimientos generados en la cuenca y dejándolos salir de una manera controlada para no ocasionar daños aguas debajo de la misma.

46. **Régimen Hidráulico.** Variación temporal de una corriente. Normalmente hay dos regímenes: el estiaje y la temporada de lluvias.

47. **Regulación.** Capacidad de un río, en un cierto tramo y para un instante dado, de sacar más agua de la que entra, es decir, almacenar instantáneamente un cierto volumen.

48. **Riesgo.** Es la combinación de tres factores: el valor de los bienes expuestos, C, la vulnerabilidad, V, y la probabilidad, P, de que ocurra un hecho potencialmente dañino para lo expuesto.

49. **Sotavento.** Lado hacia el que corre el viento al incidir sobre una cadena montañosa. El opuesto a donde incide.

50. **Tirante.** Elevación de la superficie del agua sobre un punto en el terreno.

51. **Transpiración.** Se refiere al agua despedida, en forma de vapor, por las hojas de las plantas.

52. **Vertedor.** Es la estructura de una obra hidráulica de almacenamiento a través de la cual se descargan los volúmenes que exceden la capacidad del embalse, con objeto de evitar fallas por desborbamiento.

53. **Vulnerabilidad.** La vulnerabilidad es la medida de la susceptibilidad de un bien expuesto ~~a~~ ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. De dos bienes expuestos uno es más vulnerable si, ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad, éste sufre mayores daños (Ordaz, 1996).

Bibliografía y Referencias

Libros Consultados

Ahrens, D., (2000), «Meteorology today», An introduction to weather; climate and the environment, sixth edition, Brooks-Cole, California, USA.

Aparicio, F., (1987), "Apuntes de Hidrología de superficie", UNAM, División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica, Departamento de Ingeniería Hidráulica, México.

Aparicio, F., (1998), revista "Tlaloc", Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Hidráulica. No. 11, Inundaciones: la otra cara de la moneda, enero-abril, año V, pp. 15-20, México.

Bitrán D., "Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México" Nos. 1, 2, 3, 4 y 5. Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México, CENAPRED, Coordinación de investigación, México.

Domínguez, R., *et al*, (1999), "Inundaciones", serie fascículos, no. 3, segunda edición, CENAPRED, México.

Domínguez R. y Sánchez, J.L., (1990), "Las inundaciones en México", Proceso de formación y formas de mitigación, CENAPRED, Coordinación de Investigación, Área de Riesgos Hidrometeorológicos, México.

Francke, S. *et al*, (1998), "Manual de control de erosión", Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida, Corporación Nacional Forestal, Programa de Ordenación y Manejo de Cuencas, Proyecto Cuencas CONAF - JICA, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.

Jiménez, M., *et al*, (2003), "Ciclones Tropicales", serie Fascículos, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.

Linsley, R y Franzini, J., (1984), "Ingeniería de los recursos hidráulicos", CECSA, México.

OMM/UNESCO, (1974), "Glosario hidrológico internacional", WMO/OMM/BMO, No. 385, Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Suiza.

Ordaz, M., revista Prevención. No. 14, (1996), "Algunos conceptos del análisis de riesgo",Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, pp. 6-11.

Revista Prevención. No. 7, "Las inundaciones causadas por el huracán Gert", diciembre, 1993, SEGOB, CENAPRED, México, pp. 12-17.

Revista Prevención. No. 13, "Efectos de los Huracanes Opal y Roxanne en el estado de Veracruz", enero, 1996, SEGOB, CENAPRED, México, pp. 16-17.

Revista Prevención. No. 13, "Huracán Ismael y sus efectos sobre el estado de Sonora", enero, 1996, SEGOB, CENAPRED, México, pp. 12-13.

Revista Prevención. No. 13, "Huracán Ismael a su paso por Sinaloa", enero, 1996, SEGOB, CENAPRED, México, pp. 14-15.

Revista Prevención. No. 19, "Daños ocurridos en Acapulco por el huracán Pauline" Informe Preliminar, agosto-septiembre, 1997, SEGOB, CENAPRED, México, pp. 2-7.

Salas M.A., (s/a), "Metodología para definir funciones de vulnerabilidad por inundación en zonas urbanas", versión preliminar, CENAPRED, Dirección de Investigación, México, ***en revisión.***

Salas, M. A., (2001), "Mapas de riesgo de inundaciones con análisis espacial de eventos de falla", investigación doctoral, tercer informe, DEPFI-UNAM, México.

Vargas, J., (2002), "Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales", serie: medio ambiente y desarrollo, CEPAL, Santiago, Chile.

Referencias Bibliográficas

Bitrán, D., *et al*, (2003), "Características hidrometeorológicas y estructurales del rompimiento de las presas 'Dolores', Villa de Reyes, San Luis Potosí, y 'El Capulín', Villa García, Zacatecas, ocurrido en agosto del 2002 y su impacto socioeconómico", CENAPRED, Coordinación de Investigación, Riesgos Hidrometeorológicos - Ingeniería Estructural y Geotécnia y Estudios Sociales y Económicos, México.

CNA, (1993), "Manual de ingeniería de ríos", Estudio hidrológico para obras de protección, capítulo 3, Subdirección general de administración del agua, gerencia de aguas superficiales e ingeniería de ríos, México.

DGCOH, (1988), "El sistema del drenaje profundo de la ciudad de México", Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México.

Eslava H., Jiménez M.,Salas M. A., García F. y Vázquez, T., (2004), "Guía de elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas, con arrastre de sedimientos", versión preliminar, CENAPRED, Dirección de Investigación, Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos, México.

Franco V., Domínguez, R. y Álvarez, G., (1983), "Estudio hidrológico del arroyo El Cajoncito, Baja California Sur", UNAM, Instituto de Ingeniería, proy. 3319, México.

FEMA, (2000), "Above the Flood: Floodprone House", Mitigation Directorate, Washington, DC.

FEMA, (2004), "Flood Insurance Manual", Washington D.C., May.

Fuentes, *et al*, (2002), "Sistemas de alerta hidrometeorológica en Acapulco, Tijuana, Motozintla, Tapachula y Monterrey", serie: informes técnicos, CENAPRED, Coordinaciones de Investigación e Instrumentación, México.

Rosengaus, M., *et al*, (2002), "Atlas climatológico de ciclones tropicales en México", CENAPRED, México.

Salas, M. A., (1999), "Obras de protección contra inundaciones", serie cuadernos de investigación, no. 49, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.

Referencias en Internet

Commonwealth Bureau of meteorology
http://www.bom.gov.au/hydro/flood/vic/brochures/flood_warning/February_2001/a4.shtml

Departamento de Geofísica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile
http://www.atmosfera.cl/pyr.html

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies
http://www.ifrc.org

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
http://www.imta.mx

La Red. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina
http://www.desenredando.org

Napa Sustainable Winegrowing Group. Control de Erosion
http://www.nswg.org/controldeerosion.htm

Sarmiento, Fausto, (2001), "Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica", Ediciones Abya-Yala, Quito: CLACS-UGA, CEPEIGE, AMA, 1a. edición digital del diccionario de ecología, Octubre 2001]
http://ensayo.rom.uga.edu/critica/ecologia/diccionario

Tenax. Technical documents
http://www.tenax.net/geosinteticos/tech_doc.htm

SERIE Fascículos

No.	Título
1	La Prevención de Desastres y la Protección Civil en México
2	Sismos
3	Inundaciones
4	Volcanes
5	Huracanes
6	Riesgos Químicos
7	Incendios
8	Erosión
9	Residuos Peligrosos
10	Incendios Forestales
11	Inestabilidad de Laderas
12	Tsunamis
13	Heladas
14	Sequías
15	Tormentas Severas

Material impreso dentro del proyecto
"Conocer para Prevenir"

GOBIERNO DEL
ESTADO DE CHIAPAS

CHIAPAS

SISTEMA ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL

Inundaciones

Se terminó de imprimir en mayo de 2013, en Talleres Gráficos de Chiapas.
La edición en papel couché brillante de 135 grs. en interiores y portada en 250 grs.
Consta de 3,000 ejemplares más sobrantes para reposición.

Sistema Nacional de Protección Civil
MÉXICO

MÉXICO CENAPRED

Secretaría de Gobernación
Coordinación General de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Dirección General de Protección Civil
Dirección General del Fondo de Desastres Naturales
www.gobiernofederal.gob.mx
www.gobernacion.gob.mx
www.cenapred.unam.mx