



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ARAGON**

INUNDACIONES  
EN ZONAS URBANAS

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

**GUILLERMO PABLO FELICIANO**

DIRECTOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ

San Juan de Aragón, Edo. de México Septiembre de 2012.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **A G R A D E C I M I E N T O S**

Al M. en I. Patrocinio Arroyo Hernández, por su grato apoyo y asesoría durante el desarrollo de esta tesis.

A mis Padres, por su valioso apoyo durante mi estancia en la facultad, que finalmente se ve reflejado en este trabajo.

A mi Familia más cercana, por su inmensa ayuda y compañía.

A mis Amigos y Compañeros, por su agradable apoyo y compañía durante estos últimos años en la facultad.

En general a mis Maestros y a la FES ARAGON, por todo lo recibido y aprendido para el futuro de mi carrera y vida personal.

## **D E D I C A T O R I A**

A mi padre Guillermo Pablo Flores (†), por ser mi guía y apoyarme hasta el último día de su existencia, ayudándome a lograr mis metas.

En hora buena, muchas gracias...

***GUILLERMO PABLO FELICIANO***

# I N D I C E

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>OBJETIVO</b> .....	4
<b>ALCANCES</b> .....	4
<b>I. CONSIDERACIONES GENERALES</b> .....	6
1.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES.....	6
1.2 TIPOS DE INUNDACIONES.....	6
1.3 CICLO HIDROLÓGICO.....	8
1.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES EN MÉXICO .....	9
1.5 INUNDACIÓN VISTA COMO DESASTRE NATURAL .....	13
1.6 FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS QUE ORIGINAN INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS.....	14
<b>II. EFECTOS DE LAS INUNDACIONES URBANAS</b> .....	24
2.1 ASPECTOS GENERALES.....	24
2.2 BREVE REGISTRO HISTORICO EN MÉXICO Y EL MUNDO .....	25
2.3 LA URBANIZACION Y SUS EFECTOS HIDROLOGICOS .....	34
2.4 EFECTOS DE LAS INUNDACIONES SEGÚN SU ORIGEN .....	35
2.5 REPERCUSIÓN DE LAS INUNDACIONES EN EL MEDIO FISICO Y BIÓTICO.....	41
<b>III. ANÁLISIS HIDROLOGICO URBANO</b> .....	45
3.1 GENERALIDADES.....	45
3.2 PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA COMO BASE PARA EL DISEÑO.....	47
3.3 CONSTRUCCIÓN Y ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF .....	50
3.4 TORMENTAS DE DISEÑO .....	56
3.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	57
3.6 ESTIMACIÓN DE CRECIENTES O GASTOS MÁXIMOS .....	61
3.7 APLICACIONES.....	75
<b>IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN</b> .....	81
4.1 MEDIDAS ESTRUCTURALES.....	82
4.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES .....	90
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	95
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	96

## I N T R O D U C C I Ó N

Las inundaciones como eventos naturales suceden en casi todos los territorios, pero principalmente en aquellas zonas cuyas condiciones propias son favorables para que se originen, por ende la lucha por combatir este fenómeno ha sido constante año tras año con el fin de prevenir y mitigar los daños originados, puesto que durante su ocurrencia han causado daños millonarios y cobrado cientos de víctimas.

Debido a la inquietud de ver como la ciudadanía se ve seriamente afectada ante una inundación, nace la idea de poder recabar cierta información que sirva de soporte técnico a los interesados en la materia y con ello poder hacer algo al respecto.

Contando con esta información se pretende abordar ciertos temas con un grado de certidumbre que permita la realización de proyectos que coadyuven a dar soluciones ante un desastre como la inundación.

De acuerdo con lo anterior, la elaboración de la presente tesis tiene por:

## O B J E T I V O

Ofrecer al lector especializado, una guía o referencia para comprender y realizar un análisis de las inundaciones considerando las diversas alternativas propuestas y así lograr mediante un buen diseño de la infraestructura prevenir y mitigar los daños ocasionados por las mismas.

## A L C A N C E S

Para lograr el objetivo, la realización del presente trabajo tiene como alcances:

En el capítulo I *Consideraciones generales*, exponer los aspectos más relevantes acerca del origen y tipos de inundaciones que pueden presentarse en la actualidad en México y el mundo.

En el Capitulo II *Efectos de las inundaciones urbanas*, presentar una breve recopilación de algunos daños ocasionados por las inundaciones con registros en la Republica Mexicana y el Mundo, asiendo énfasis especial en zonas principales del país como el Distrito Federal, así como describir los efectos que producen las inundaciones según el origen de estas y el medio físico y biótico en que repercuten.

En el capitulo III *Análisis hidrológico urbano*, se tratan y mencionan algunos métodos de autores reconocidos en el medio y algunos modelos internacionales mas comunes, los cuales son útiles para la estimación de crecientes en cuencas urbanas, así como ciertas herramientas necesarias para la aplicación de los métodos.

Capitulo IV *alternativas de solución*. En este apartado se plantean 28 acciones las cuales son recomendables para que se lleven a cabo ante una inundación, con lo cual se pretende prevenir y mitigar los daños originados.

Finalmente se emiten las conclusiones más importantes a las que se llega en el presente trabajo de recopilación de información.

# I. CONSIDERACIONES GENERALES

## 1.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES

Entendemos por **INUNDACION** a la acumulación de niveles de agua que incluso sumergen las zonas bajas y planas o de poca elevación de una región.

Las inundaciones pueden clasificarse de acuerdo a diversos parámetros, pero comúnmente se hace a través del *tiempo de duración* de la misma y al *mecanismo que las generan (origen)*.

Respecto al tiempo, éstas pueden ser **lentas o rápidas**, y por el mecanismo que las genera pueden ser, **pluviales**, debidas a un exceso de lluvia ordinario o extraordinario sobre los cuerpos de agua existentes o de manera directa en regiones bajas y se asocian al mal funcionamiento del drenaje y a la basura; **fluviales**, estrechamente ligadas al desbordamiento de los ríos y arroyos debido a una lluvia excedente, así como por el control de presas o ruptura de las mismas o *de bordos y diques* que aumentan su nivel medio; **lacustres**, por desbordamiento de lagos y lagunas; por **marea de tormenta**, debida a lluvias inducidas por ciclones tropicales en las costas; por **derretimiento de glaciares** los cuales provocan el ascenso del nivel medio del mar; por **tsunamis**, o por la **operación de obras o sistemas hidráulicos** en las descargas de agua de los embalses o la ruptura de tuberías.

## 1.2 TIPOS DE INUNDACIONES

Es posible distinguir distintos tipos de origen para cada clasificación de las inundaciones, dentro de las cuales podemos señalar las siguientes:

## Por precipitación

**De verano:** Producidas por precipitaciones intensas de volumen alto y bajo pero duradero.

**Frentes fríos.** Se desarrolla bajo condiciones climáticas de baja presión y frentes fríos que producen precipitaciones excepcionales con duración de 24 hrs.

**Sistemas urbanos de drenaje insuficiente.** Este tipo de inundaciones quizás no se deba en gran parte a los fenómenos hidrometeorológicos sino a la intervención de la mano del hombre, ya que en ocasiones debido a los inadecuados u obsoletos sistemas de drenaje, conducen a serios problemas, incluso bajo condiciones de precipitación normal y de bajo volumen.

**Derretimiento de nieve:** Se originan por el acelerado derretimiento de nieve al inicio de la primavera en conjunto con precipitaciones intensas.

## Costeras

Son producidas por olas de gran altura, o tsunamis, así como por el incremento del nivel medio del mar durante las mareas y actualmente a consecuencia del derretimiento de glaciares en los polos (originado por el calentamiento global).

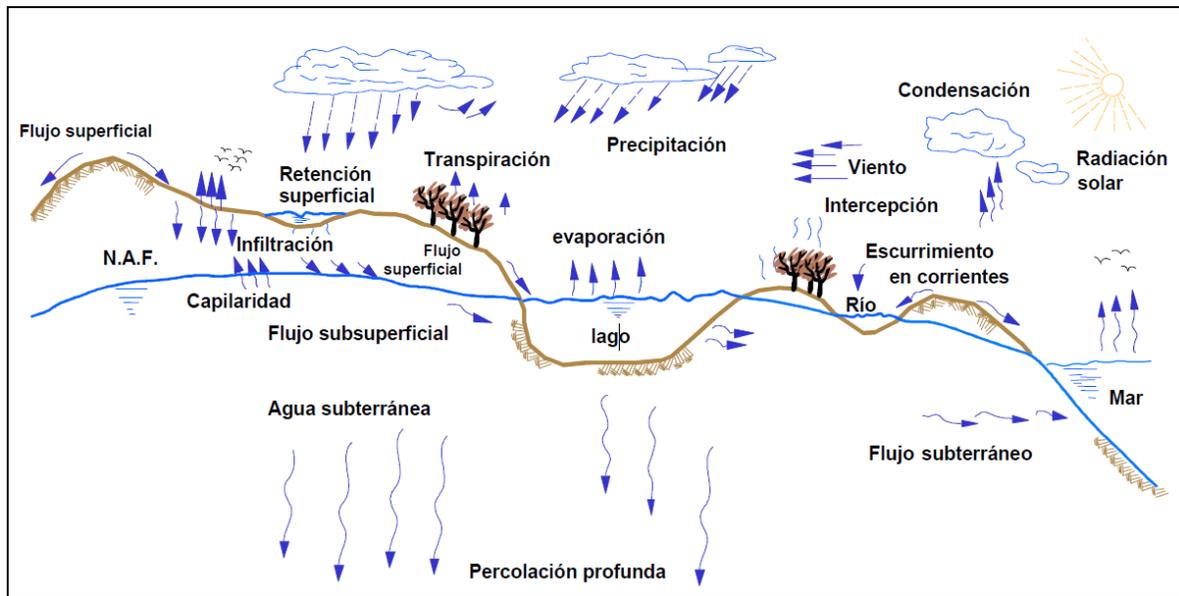
## Fluviales

Se generan cuando el agua se desborda de algún cuerpo de agua y queda en los lugares cercanos a ellos. La fuerza del agua es capaz de arrastrar todo lo que encuentre en su paso. Aunque se caracterizan por su baja probabilidad de ocurrencia, el número de muertes causadas suele ser bajo, pero producen un gran número de damnificados y daños materiales a las zonas anegadas.

De acuerdo con lo arriba señalado, es necesario entender varios conceptos que son de gran utilidad para comprender el proceso y origen de las inundaciones y uno de ellos es el ciclo hidrológico, el cual nos describe el almacenamiento y circulación del agua sobre la tierra, y que se detalla a continuación.

### 1.3 CICLO HIDROLÓGICO

Para entender el procedimiento que describe el ciclo, podemos visualizarlo proponiendo un punto de partida:



**Fig. 1** Esquema que muestra las diferentes etapas del Ciclo hidrológico.

Centro Nacional de Prevención de Desastres, "CICLO HIDROLOGICO", Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, 2001.

Imagen tomada del sitio: [www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf)

Fecha de actualización: Martes, 24 de enero de 2012

Por ejemplo, iniciando con la evaporación del agua de los océanos, lagos, lagunas, etc., la cual es transportada por las masas móviles de aire y bajo condiciones adecuadas se condensa para formar las nubes, las cuales, a su vez, pueden transformarse en *precipitación* que ocurre como lluvia, granizo o nieve que cae sobre la tierra y se dispersa de diversas maneras, la mayor parte de ésta es retenida temporalmente por el suelo, en las cercanías del lugar donde cae y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción de agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo o a través de éste hasta alcanzar los canales de las corrientes.

La porción restante penetra más profundamente en el suelo para formar parte del suministro del agua subterránea. Bajo la influencia de la gravedad, tanto el escurrimiento superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas mas bajas y con el tiempo pueden incorporarse a los océanos.

Mientras tanto, una parte importante del desagüe superficial y del agua subterránea regresa a la atmósfera por medio de evaporación y transpiración, antes de alcanzar los océanos.

Dentro del proceso descrito, la precipitación es un elemento de interés para el estudio de las inundaciones, ya que es el principal origen directo o indirecto de la misma.

#### **1.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES EN MÉXICO**

En México las inundaciones ocurren cuando el suelo y la vegetación no pueden absorber toda el agua que llega al lugar y escurre sobre el terreno muy lentamente; casi siempre tiene una capa de más de 25 cm de espesor, pero algunas veces alcanzan varios metros. Cuanto más tiempo permanece el agua y más grande es el espesor de su volumen, causa mayores daños.

Existen diversos factores importantes que condicionan a las inundaciones en nuestro país y entre los más destacados podemos mencionar la *distribución espacial de la lluvia, la topografía de la región, las características físicas de los arroyos y ríos; así como las formas y longitudes de los cauces, el tipo y uso de suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, las elevaciones de los bordos de los ríos; y en menor grado para el caso de las zonas urbanas la ubicación de presas cercanas.*

Debido a la ubicación geográfica de México en una región intertropical, los ciclones tropicales que se generan en el océano Pacífico y Atlántico producen lluvias intensas que generan inundaciones y deslaves. De los 25 ciclones que en promedio llegan cada año a los mares cercanos al país, cuatro o cinco suelen penetrar en el territorio y causar daños severos.

En la figura 2 se muestran las principales ciudades y zonas de la República Mexicana, de las cuales se tienen registro y que son propensas a inundaciones.



**Fig. 2 zonas con posibilidad de sufrir grandes riesgos de inundación en México.**

Centro Nacional de Prevención de Desastres, “CIUDADES CON MAYOR RIESGO DE INUNDACIONES EN LA REPUBLICA MEXICANA”, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, 2001.

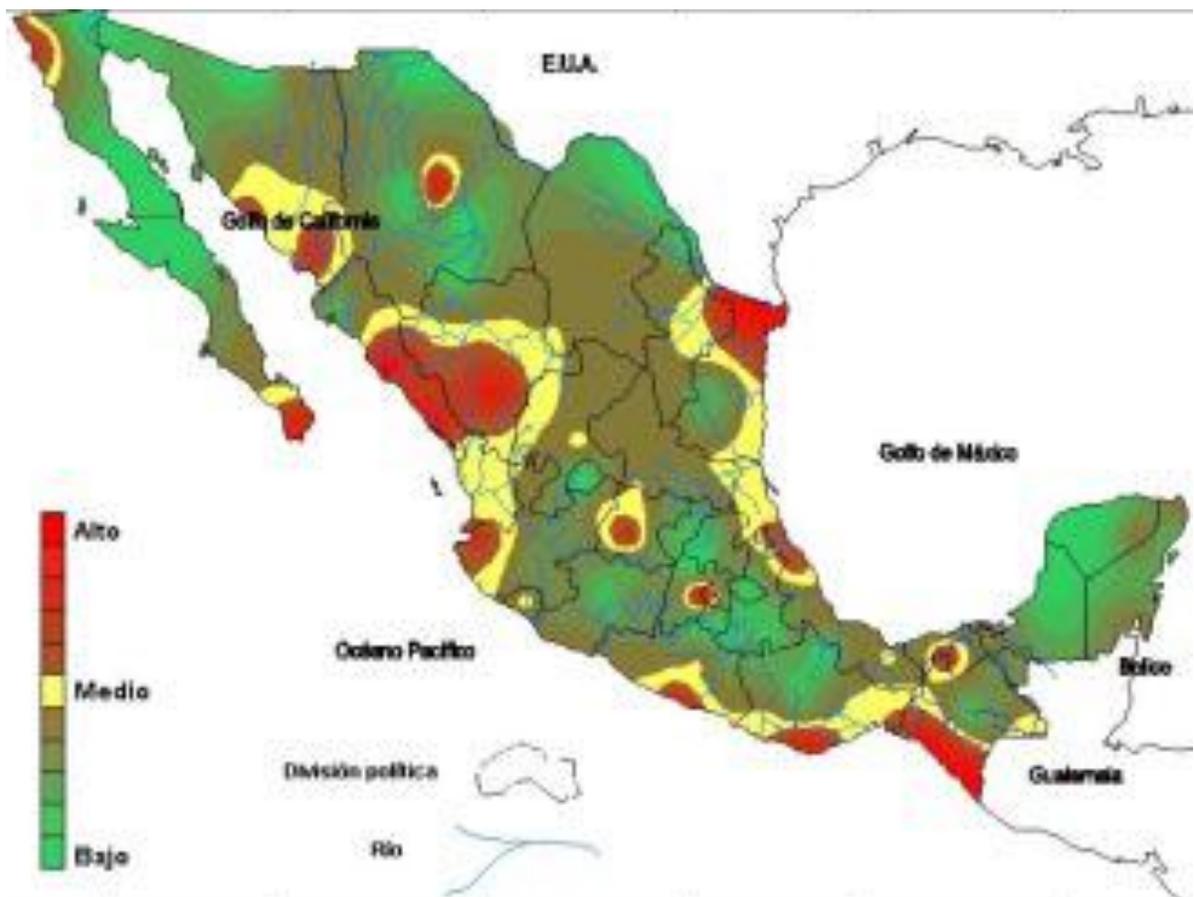
Imagen tomada del sitio: [www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf)

Fecha de actualización: Martes, 24 de enero de 2012

Si se analiza la información mostrada en la figura 2, se puede afirmar que en cualquier región de México, existe la posibilidad de sufrir inundaciones; sin embargo, las inundaciones más frecuentes se dan en las partes bajas o frente a las costas. Se estima que aproximadamente 150 personas fallecen anualmente en México por esta causa, siendo lo más común, el ahogamiento.

Por otro lado la influencia de las sierras de México es tan marcada que los patrones de las tormentas tienden a parecerse a su conformación topográfica de la precipitación media anual. Por este motivo se llegan a producir las mayores precipitaciones en la República Mexicana.

La figura 3 muestra los territorios del país que pudieran tener un nivel de peligro muy importante a causa de una inundación.



**Fig. 3** Lugares de México que poseen cierto peligro ante una inundación.

Centro Nacional de Prevención de Desastres, "ZONAS DE PELIGROS POR LAS INUNDACIONES EN LA REPÚBLICA MEXICANA", Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, 2001.

Imagen tomada del sitio: [www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf)

Fecha de actualización: Martes, 24 de enero de 2012



## 1.5 INUNDACIÓN VISTA COMO DESASTRE NATURAL

Si consideramos a la inundación como un desastre natural, podemos fundamentar que se trata de un evento destructivo, que suele ser puntual o no, además de que se desarrolla en un cierto tiempo y que afecta significativamente a la población en términos de vida, fuentes de sustento y funcionamiento. Este desastre puede ocurrir sobre todo en zonas pobladas, afectando a sitios vulnerables que han sido ocupados por una sociedad para su residencia u otros fines.

En muchos de los casos las inundaciones como desastre, no suelen ser naturales, por ello el hecho de que se presente una inundación en zonas urbanas, no depende solo de la naturaleza, sino también de la decisión de instalar un asentamiento o actividad humana en zonas anegadizas, sin tomar en cuenta las amenazas que presenta este desastre y las vulnerabilidades a que este expuesto.

Las inundaciones según su origen o tipo de amenaza suele catalogarse como un *desastre natural* o *socio-natural*, debido a que resulta ser un fenómeno natural originado por la dinámica de la naturaleza y potenciado por la intervención humana

A su vez las inundaciones pueden clasificarse como *previsibles* e *imprevisibles*, en el primer caso porque pueden ser previstos con poca anticipación como es el caso de las inundaciones provocadas por lluvias o desbordamiento de ríos, ruptura de embalses, presas, etc., donde puede observarse notablemente el aumento del caudal; en cuestión de las inundaciones imprevisibles, podemos mencionar el caso de las inundaciones causadas por los tsunamis (maremotos tectónicos).

Por otro lado una marea de tormenta, puede generar desastres a escala mundial, esto debido a que es la principal causa de pérdidas de vidas humanas asociadas a los huracanes. En México, afortunadamente no tiene la importancia que adquiere en otros países, por ejemplo E.U. de Norteamérica o Bangladesh, debido a que la plataforma continental es muy abrupta en la mayor parte de nuestros mares y el perfil costero adquiere rápidamente pendientes pronunciadas; sin embargo, no siempre se da la situación anterior, que además no evita que en huracanes intensos haya inundaciones importantes en la franja mas cercana a la costa.

## 1.6 FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS QUE ORIGINAN INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Una de las propiedades que tienen las inundaciones, es que tienen origen *meteorológico* y *topográfico*, es decir, se pueden deber a fenómenos meteorológicos y también a las características superficiales y/o a la estructura de la corteza terrestre.

Existen fenómenos hidrometeorológicos también llamados fenómenos extremos que se presentan en el país y que actualmente alguno de ellos han resultado ser una amenaza para las ciudades, debido a que tienen cierta participación en el desarrollo de las inundaciones.

Existen lugares afectados por varios tipos de fenómenos hidrometeorológicos que pueden provocar la pérdida de vidas humanas o daños materiales de gran importancia; pero principalmente pueden estar expuestos a lluvias, granizadas, nevadas, heladas y sequías.

En la República Mexicana se presentan los Fenómenos hidrometeorológicos siguientes:

-  PRECIPITACION PLUVIAL
-  TORMENTAS DE GRANIZO Y NIEVE
-  HELADAS
-  CICLONES TROPICALES
-  SEQUIA
-  EROSION
-  VIENTO
-  MAREA DE TORMENTA

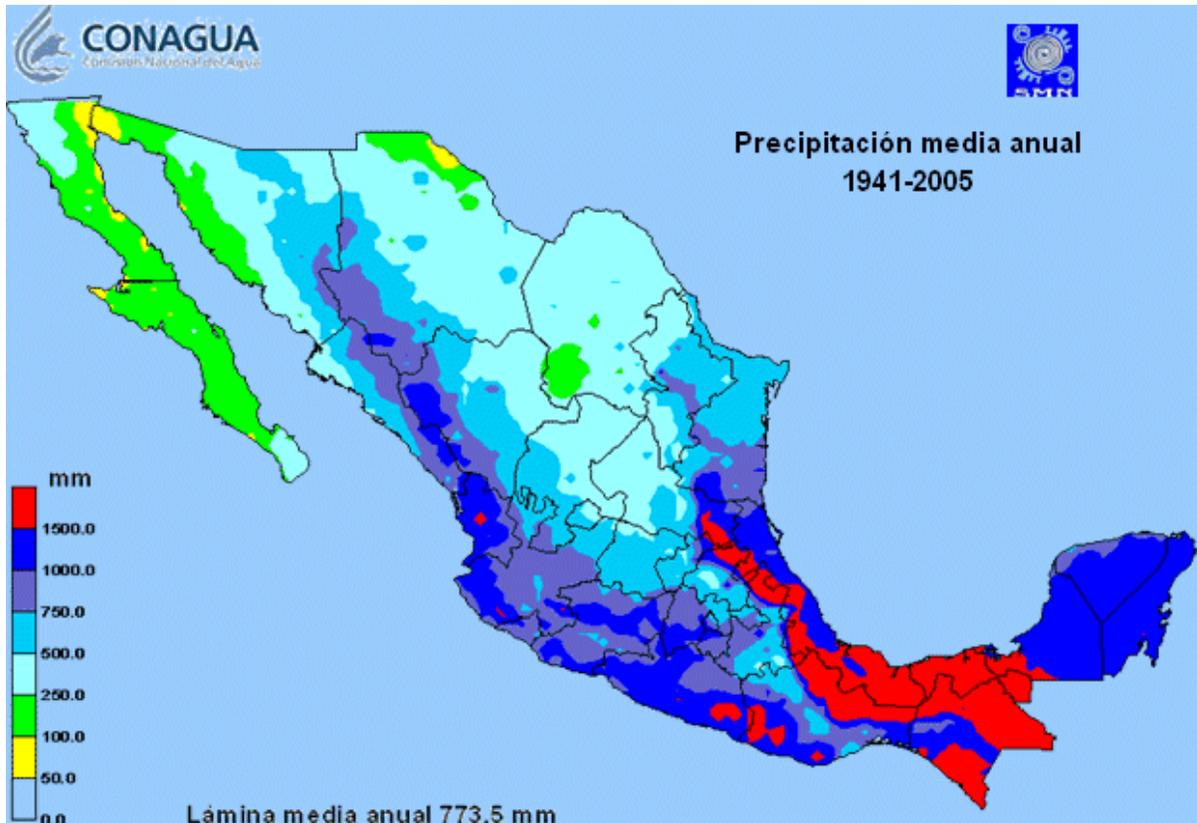
De los cuales, no todos tienen intervención en el desarrollo de las inundaciones, sino solo alguno de ellos, que a continuación se detallan para tener un panorama de cómo se presentan y su influencia hacia las inundaciones:

### **PRECIPITACION PLUVIAL:**

Se refiere a cualquier forma de agua, sólida o líquida, que cae de la atmósfera y alcanza a la superficie de la Tierra; ésta puede manifestarse como **lluvia**, **llovizna**, **nieve**, **granizo** o **cellisca**. La primera consiste en gotas de agua líquida con diámetro mayor a 0.5 mm; mientras que la llovizna está formada por gotas más pequeñas de 0.25 mm o menos que caen lentamente, por lo que rara vez la precipitación de este tipo supera 1 mm/h; con respecto a la nieve, ésta se compone de cristales de hielo que comúnmente se unen para formar pequeños grumos; a su vez, el granizo está constituido por cuerpos esféricos, cónicos o irregulares de hielo con un tamaño que varía de 5 a más de 125 mm; y finalmente la cellisca, que se forma por granos sólidos de agua cuando se congela al atravesar una capa de aire con temperatura cercana a los 0° C.

Antes de que ocurra la precipitación, debemos saber, que la **humedad** siempre está presente en la atmósfera y se produce por la evaporación en la superficie del agua de océanos, mares, lagos, lagunas, ríos, arroyos y de los suelos, así como por la evapotranspiración de plantas y animales, aun en los días en que el cielo está despejado; ella corresponde a la cantidad de **vapor de agua** que está presente en el aire; cuando existe un mecanismo que enfría a este último, el vapor se condensa y se transforma al estado líquido en forma de gotas, o bien, al estado sólido como cristales de hielo; ambos estados dan lugar a cuerpos muy pequeños que comúnmente tienen un diámetro del orden de 0.02 mm, que en conjunto constituyen las nubes.

Ahora bien para que ocurra la precipitación se requiere que en las nubes exista el **núcleo de condensación o de congelamiento**, que propicie la unión de pequeños cuerpos como pueden ser gotas de agua o cristales, que forman las nubes a un tamaño tal que su peso exceda a los empujes debidos a las corrientes de aire ascendentes; estas gotas al caer también hacen que se junten otras, por lo que el proceso se extiende como una reacción en cadena.



**Fig. 5 Distribución y Zonificación de la precipitación media anual en México.**

SISTEMA METEOROLÓGICO NACIONAL, CONAGUA. SEMARNAT. Climatología. Temperatura y precipitación “PRECIPITACION MEDIA ANUAL”, México, 20.

Imagen tomada del sitio: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/precipitacion/estados/precipit.gif>

Fecha de actualización: Lunes, 16 de abril de 2012.

### **TORMENTAS DE GRANIZO:**

La magnitud de los daños que puede provocar este tipo de precipitación depende de su cantidad y tamaño. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas. Específicamente hablando de nuestro país las zonas más afectadas por tormentas de granizo son el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora.

### **TORMENTAS DE NIEVE:**

Las nubes se forman con cristales de hielo cuando la temperatura del aire es menor al punto de congelación y el vapor de agua que contiene pasa directamente al estado sólido. Para que ocurra una tormenta de nieve es necesario que se unan varios de los cristales de hielo hasta un tamaño tal que su peso sea superior al empuje de las corrientes de aire. En las ciudades, los efectos negativos de las nevadas se manifiestan de distintas maneras entre ellas podemos mencionar el taponamiento de drenajes.

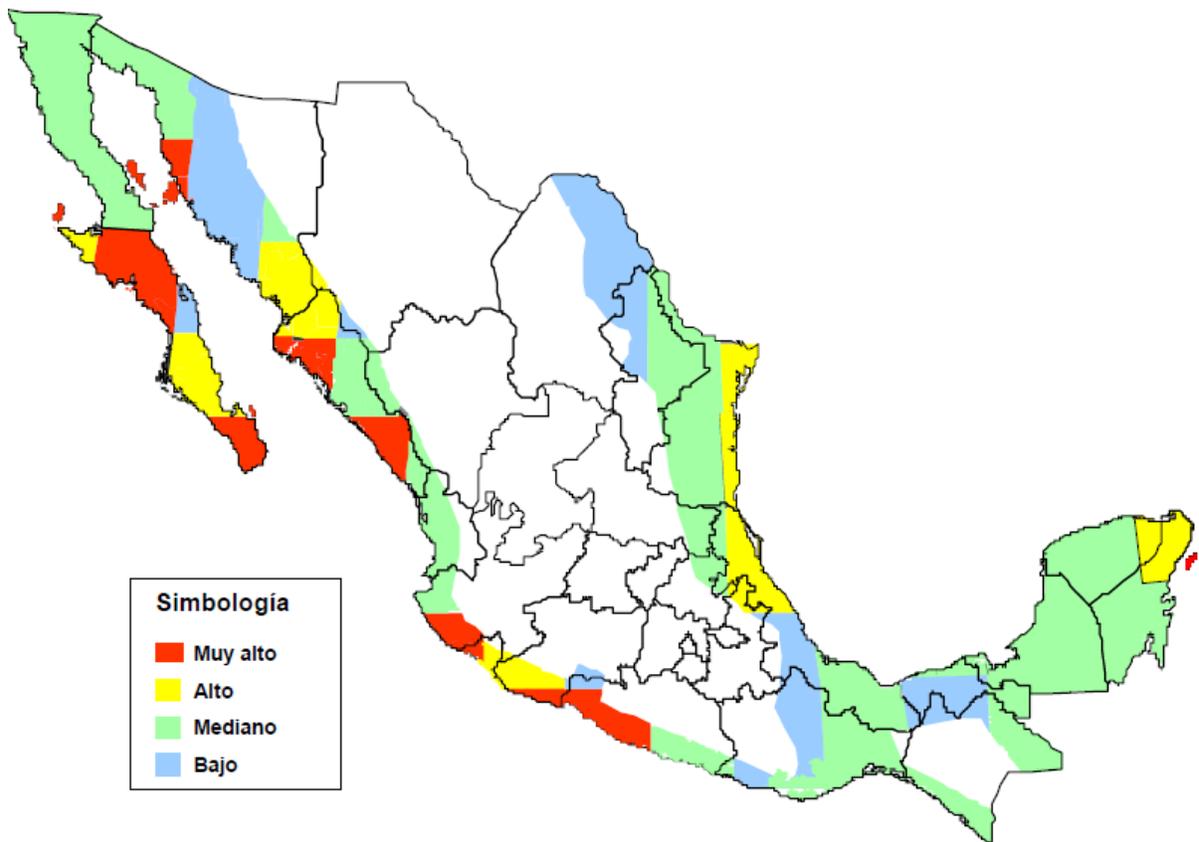
### **CICLONES TROPICALES:**

Este fenómeno consiste en una gran masa de aire cálida y húmeda con vientos fuertes que giran en forma de espiral alrededor de una zona que en planta presenta un área central casi circular de baja presión, y que frecuentemente se desplazan con velocidades comprendidas entre los 10 a los 40 km/h, donde su energía es mayor conforme es más grande la diferencia de presiones entre su centro y su periferia; esta última es del orden de los 1013 milibares (mb).

Comúnmente se clasifican de acuerdo a la presión que existe en su centro o bien a la intensidad de sus vientos. De acuerdo a ello se les denomina **depresión tropical** cuando poseen una presión que va desde los 1008 hasta 1005 milibares (mb) o bien cuando la velocidad de los vientos son menores a 63 km/h; por otra parte se les designa el nombre de **tormenta tropical** cuando generan velocidades de viento que oscilan entre los 63 y 118 km/h y su presión es de 1004 a 985 milibares (mb); y finalmente reciben el nombre de **huracán** cuando su presión es menor a 984 mb y su velocidad del viento es mayor a 119 km/h.

Se originan en el mar entre las latitudes 5° a 15°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor a los 26° C.; y a las regiones donde se originan se les conoce como zonas ciclogénicas o matrices.

Las trayectorias que describen están en función de las condiciones climatológicas existentes y pueden o no entrar a tierra. Su trayectoria promedio o aproximada puede ser más o menos conocida, aunque en algunos casos presentan trayectorias erráticas. Ahora bien el pronóstico sobre sus trayectorias, sirve de guía para la toma de decisiones sobre la protección a la población, ya que se puede tener una idea de las posiciones que tendrá en un futuro inmediato y de la evolución de su intensidad; a partir de ello se establecen tiempos de alerta y se prepara la eventual evacuación de los habitantes en las zonas de riesgo.



**Fig. 6 Mapa de riesgos por incidencia de ciclones en México**

Centro Nacional de Prevención de Desastres, "MAPA DE PELIGRO POR INCIDENCIA DE CICLONES TROPICALES", Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, 2001.

Imagen tomada del sitio: [www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf)

Fecha de actualización: Martes, 24 de enero de 2012

Particularmente hablando de los ciclones que llegan a México, debido a su gran extensión de litorales con que cuenta y a su ubicación, se sabe que provienen de la sonda de Campeche; del Golfo de Tehuantepec; también del Caribe, alrededor de los 13° latitud norte y 65° longitud oeste; y del sur de las islas Cabo Verde cerca de los 12° latitud norte y 57° longitud oeste, región Atlántica.

La temporada en que suele iniciarse es en la primera quincena del mes de mayo para el océano Pacífico, mientras que en el Atlántico durante el mes de junio, terminando en ambos océanos a principios de noviembre; siendo septiembre el mes más activo.

Por lo mismo, los asentamientos humanos cercanos a las costas, están expuestos a la influencia de las perturbaciones ciclónicas. Las áreas afectadas regularmente abarcan más del 60 % del territorio nacional.

Se ha observado que en la Republica Mexicana, entre mayo y noviembre, se presentan 25 ciclones en promedio con vientos mayores de 63 km/h, de los cuales aproximadamente 15 ocurren en el océano Pacífico y 10 en el Atlántico. De éstos, anualmente 4 ciclones, dos del Pacífico y dos del Atlántico, inciden a menos de 100 km del territorio nacional.

Respecto a los peligros principales que generan se pueden mencionar las lluvias intensas, los vientos fuertes, el oleaje grande y las mareas de tormenta.

Pueden ocasionar un desastre de diversas proporciones. Su impacto destructivo depende no sólo de su intensidad, sino también de la conformación urbana que tengan las poblaciones

Por otra parte, un importante fenómeno hidrometeorológico asociado a las precipitaciones intensas que ha sido poco estudiado en México y que puede causar grandes daños, son los **escurrimientos súbitos** que se generan improvisadamente.

### ***ESCURRIMIENTOS SÚBITOS:***

Se trata de escurrimientos repentinos e inesperados con un cambio muy rápido en la cantidad de agua que está fluyendo.

Comúnmente se generan a partir de diversas causas dentro de las cuales destacan las **lluvias intensas** que pueden durar varias horas, también la **falla o ruptura de alguna estructura de contención** ya sea natural o artificial, o bien, por la **descarga del agua desde una presa**. En cualquiera de estos eventos las corrientes que se generan tienen una gran velocidad.

Entre los principales factores que contribuyen a la realización de este fenómeno podemos destacar a los siguientes componentes:

- ✓ **Intensidad de la lluvia:** Se refiere a la altura de la lámina de precipitación que se presenta en un intervalo de tiempo corto, el cual puede ser menor de 24 horas.
- ✓ **Saturación del suelo:** Es el estado que presenta el suelo cuando se ocupan sus vacíos con agua y la infiltración es pequeña, lo que usualmente se le conoce como *capacidad de campo*.
- ✓ **Pendiente del terreno.** Este describe que en los suelos con fuerte inclinación de la superficie, el escurrimiento superficial se desarrolla con grandes velocidades, por lo que se pueden transportar distintos tipos de sólidos.

Este fenómeno frecuentemente produce inundaciones. Ocurren inmediatamente después de que se inicia la precipitación, o poco después de la falla de una presa o del desbordamiento de un río.

Debido a la naturaleza del fenómeno, su pronóstico es difícil de realizar. Sin embargo, se ha estudiado la relación entre las lluvias intensas de las estructuras físicas de las nubes que provocan precipitaciones de más de 100 mm en 24 horas.

Para su análisis se determinan las características de las precipitaciones (intensidad, duración, extensión y efectos) y se clasifican los sistemas de nubes asociados.

Además, para el pronóstico de inundaciones es necesario conocer ciertos datos como por ejemplo el *estado inicial del suelo*, el *contexto morfológico de la cuenca en estudio*, la *ocupación del suelo* y las *poblaciones e infraestructuras expuestas*, de tal manera que se tenga una base de datos permanente.

En ciudades como la de México, en la zona poniente, se presenta con frecuencia una precipitación intensa en zonas de topografía abrupta. De igual modo, en la costa de Chiapas, Acapulco, Guerrero, Sierra Norte de Puebla y en la península de Baja California existen regiones que son afectadas por este tipo de eventos que son de peligro para los habitantes.

### **MAREA DE TORMENTA:**

La superficie del mar no varía sólo por el oleaje sino también por otros fenómenos que alteran su nivel medio.

El más regular es el de las **mareas astronómicas** que se deben a variaciones en las fuerzas de atracción entre la Tierra y la Luna, y en menor grado entre la Tierra y el Sol; estas fuerzas, dependen de la distancia entre los cuerpos celestes y producen variaciones periódicas en el nivel de la superficie del mar.

Otras variaciones se deben a **fenómenos extraordinarios**, como los terremotos que producen tsunamis o mejor llamados maremotos tectónicos generando olas de gran altura que se desplazan verticalmente.

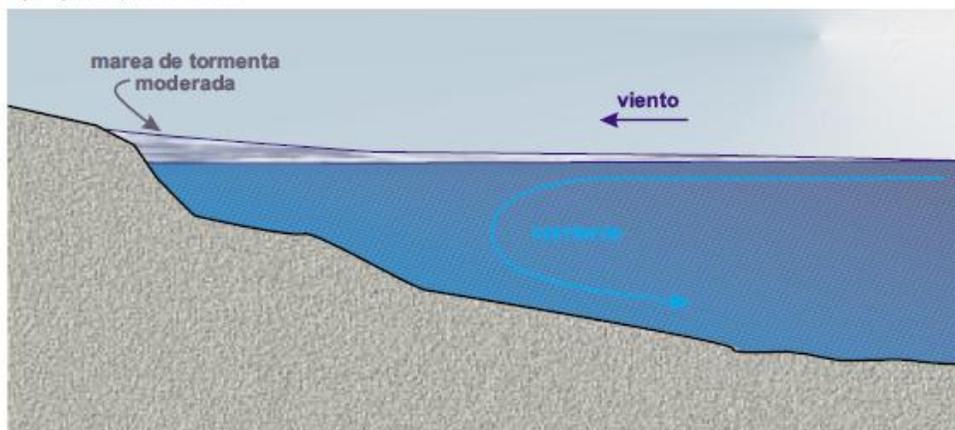
En particular, la **marea de tormenta** se considera peligrosa, puesto que se produce por efecto de los **ciclones tropicales** y **tormentas marinas**, en la parte de la costa en la que los vientos soplan desde el mar hacia Tierra, en forma casi perpendicular por la fuerza de los vientos que giran alrededor de una tormenta o huracán.

Se trata de una elevación en el nivel del mar debido al empuje que sobre la superficie del mar ejerce el viento en su trayecto hacia la costa; en menor medida se debe a la disminución de la presión atmosférica asociada a los huracanes, la cual produce una succión sobre la superficie del mar.

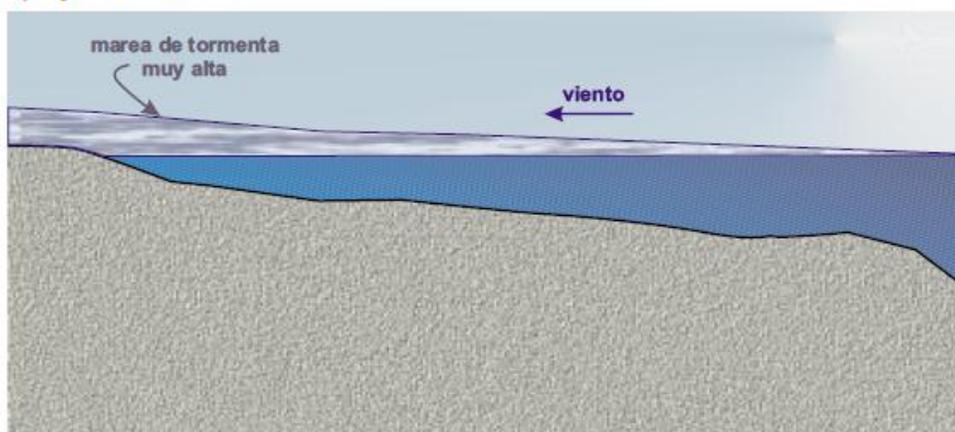
Aunque otras tormentas con fuertes vientos también pueden producir una cierta marea de tormenta, ésta es usualmente de menor magnitud que la producida por ciclones tropicales.

La elevación del nivel del mar produce una invasión de las aguas marinas sobre la costa, la cual se desarrolla en tiempos relativamente breves, de pocas horas. El tamaño de la elevación depende, desde luego, de la *intensidad de los vientos*, pero también del *perfil del fondo submarino* en las inmediaciones de la costa, es decir, de la batimetría de la plataforma continental; y *del ángulo de incidencia* de la tormenta sobre la costa.

a) Aguas profundas



b) Aguas someras



**Fig. 7 Representación de Marea de Tormenta en Aguas Profundas y Someras**

Centro Nacional de Prevención de Desastres, "DIFERENCIA CONCEPTUAL DEL EFECTO DEL VIENTO AL SOPLAR SOBRE AGUAS PROFUNDAS VS. AGUAS SOMERAS", Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, 2001.

Imagen tomada del sitio: [www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf)

Fecha de actualización: Martes, 24 de enero de 2012

Cuando la plataforma es muy tendida, hay poca profundidad del fondo marino cerca de la costa, por lo tanto, el empuje del viento produce una mayor acumulación de agua y una mayor sobrelevación. La distancia en que el agua penetra dentro de la costa depende de la sobrelevación del nivel del mar y del perfil topográfico de la costa; por lo mismo cuando el perfil costero es muy tendido, el agua penetra muchos cientos de metros o hasta algunos kilómetros.

Existen otras características geográficas que influyen en la importancia de la marea de tormenta; por ejemplo, ésta se vuelve particularmente grave en la desembocadura de ríos y, en las bahías pequeñas cuando existen depresiones en zonas cercanas a la costa. Una configuración litoral que dificulta que las aguas acumuladas drenen aumenta la magnitud de este efecto.

Esta elevación en el nivel del agua también puede ocasionar graves inundaciones en las áreas costeras, en particular cuando la marea de tormenta coincide con la marea alta normal.

## II. EFECTOS DE LAS INUNDACIONES URBANAS

### 2.1 ASPECTOS GENERALES

Los desastres o eventos relacionados con pérdidas que incluyen daños humanos y materiales significativos han ocurrido desde que la humanidad existe como tal. Suceden cuando un grupo social, país o región no toma las medidas para evitarlo, pero también cuando estos no son capaces de recuperarse por sus propios medios para restaurar (salvo las irrecuperables pérdidas de vidas humanas) las condiciones previas al desastre. En México, en las últimas décadas los fenómenos naturales han dejado daños con un costo promedio anual de 100 vidas humanas y cerca de 700 millones de dólares.

Específicamente las inundaciones generan grandes daños a las propiedades en las ciudades, provocan la muerte de personas, causan la erosión del suelo y depósito de sedimentos, además deja una secuela infecciosa que ocasiona enfermedades y epidemias. También afectan a los cultivos y a la fauna. Como suele presentarse en extensas zonas de terreno, es uno de los fenómenos naturales que provoca mayores pérdidas de vidas humanas y económicas.

Los efectos que causan se han categorizado como primarios, secundarios, y terciarios a largo plazo:

- ✓ **Los primarios** se producen en el momento de la inundación, incluye los heridos, pérdida de vidas y daño causado por corrientes rápidas, detritos y sedimentos, erosión y deposición de sedimento.

- ✓ **Secundarios:** son los que ocurren luego de la inundación y se pueden incluir la contaminación a corto plazo de los cuerpos de agua, hambre, enfermedades transmisibles y el desplazamiento de personas.
- ✓ **Terciarios:** estos se refieren a los efectos que surgen a largo plazo y pueden durar varios días o incluso años; entre estos se mencionan la disminución del turismo, daños económicos, escases de alimentos, gastos de reconstrucción, entre otros.

Sin duda alguna los mayores efectos que pueden causar en las ciudades son: los daños a viviendas, vías de comunicación y drenaje, este último se vuelve lento causando problemas sanitarios.

En cuanto al impacto ambiental, pueden causar pérdida de hábitat de flora y fauna si la inundación permanece por mucho tiempo; erosión del terreno por donde fluye la inundación repentina y sedimentación del agua; así como la contaminación de los cuerpos de agua debido al movimiento de materia orgánica e inorgánica.

En general, en los daños producidos por las inundaciones influyen ciertos factores, de los cuales se pueden mencionar a:

- Uso del terreno en la llanura de inundación.
- Profundidad y velocidad de las aguas de inundación.
- Ritmo de subida y duración de la inundación.
- Estación del año en la que tiene lugar la inundación.
- Cantidad y tipo de sedimento depositado por las aguas de inundación.
- Efectividad del pronóstico, alerta y evacuación.

## 2.2 BREVE REGISTRO HISTORICO EN MÉXICO Y EL MUNDO

Desde el comienzo del Neolítico, cuando comenzó la sedentarización y, por tanto, ocupación de zonas llanas costeras o en los valles fluviales, el hombre se ha encontrado con el reto de hacer frente a las inundaciones.

En el caso particular de la Ciudad de México, por tratarse de una cuenca cerrada, ha sufrido a lo largo de la historia fuertes inundaciones que han ocasionado graves daños y alteración en la vida de la ciudad.

Las obras de drenaje realizadas desde fines del siglo pasado, y sobre todo el drenaje profundo terminado en 1974, han reducido notablemente el riesgo de inundaciones generalizadas; sin embargo, el crecimiento de la población y los problemas relacionados con el hundimiento del subsuelo tienden a aumentar los riesgos asociados a estos fenómenos.



**Fig. 8** Imagen que muestra problemas en las principales calles de la Ciudad de México ocasionados por Inundaciones en el pasado.

Centro Nacional de Prevención de Desastres, *"INUNDACIONES HISTORICAS EN LA CIUDAD DE MEXICO (1930-1940)"*, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, 2001.

Imagen tomada del sitio: [www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf)

Fecha de actualización: Martes, 24 de enero de 2012



**Fig. 9 Estragos originados en el pasado en la ciudad de México.**

Centro Nacional de Prevención de Desastres, *"INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CIUDAD DE MEXICO (1930-1940)"*, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, 2001.

Imagen tomada del sitio: [www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/.../diagnostico.pdf)

Fecha de actualización: Martes, 24 de enero de 2012

En el caso de la República Mexicana en la actualidad los huracanes y lluvias torrenciales provenientes de los Océanos Atlántico y Pacífico ocasionan beneficios importantes para el país porque permiten la recuperación del sistema hidrológico. En contrapartida, producen: inundaciones y vientos de tal magnitud que generan daños a las personas y a sus bienes patrimoniales, cuando no son oportunamente pronosticados, o no se toman las medidas preventivas para mitigar sus efectos o bien cuando el patrón de ocupación del territorio genera altas vulnerabilidades.

En México y el Mundo se han presentado serios efectos originados por grandes Inundaciones, de los cuales se tiene el siguiente registro:

**INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

<b>AÑO</b>	<b>ESTADO</b>	<b>COMENTARIOS</b>
1905-jul	Guanajuato	Pérdidas por más de un millón de pesos
1906-oct	Jalisco	Desbordamiento del río Tuxpan, más de 100 personas ahogadas en Guadalajara
1909-sep	Nuevo León	Pérdidas por veinte millones de pesos y cerca de 2,000 personas ahogadas en Monterrey.
1912-jul	Querétaro	Pérdidas por dos millones de pesos
1927-sep	Michoacán	20,000 damnificados, en Acámbaro
1932	Coahuila	En Piedras Negras y otras ciudades, 16,000 damnificados. Dos puentes internacionales destruidos, numerosos sembradíos arrasados
1934 jun	Coahuila	12,000 damnificados en Allende de Coahuila
1949-ene	Sinaloa y Sonora	Pérdidas estimadas en 1,745 millones de dólares; 150,000 damnificados en Sonora y 9,000 en Sinaloa
1958-sep	Michoacán	Pérdidas por 25 millones en Acámbaro, 12 pueblos desaparecieron
1959-oct	Tabasco	Pérdidas por cientos de millones de pesos; 20,000 damnificados por el norte
1960-ene	Sinaloa y Sonora	Pérdidas estimadas en 18,815 millones de dólares; 24,000 damnificados, 30 pueblos inundados por desbordamiento del río Fuerte
1963-sep	Tabasco	40,000 damnificados, 2 pueblos inundados y 3 campos petroleros
1969-sep	Veracruz y Oaxaca	150,000 damnificados en Oaxaca; y 30,000 en Cosamaloapan

**Tabla 1. Grandes inundaciones en México durante los años 1900 a 1999.**

**INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

<b>AÑO</b>	<b>ESTADO</b>	<b>COMENTARIOS</b>
1980-ene	Baja California	30,000 damnificados en Tijuana y Ensenada.
1981-ago	Veracruz y Guerrero	Más de 30,000 damnificados.
1981-oct	Sinaloa	Desbordamiento del río Fuerte provocado por la tormenta tropical Lidia, cerca de 63,000 damnificados.
1983-jul	México	30,000 damnificados en el Valle de Toluca
1986-jun	Veracruz	8,000 damnificados al desbordarse el rio Ostula.
1990-Dic- 1991-Ene	Sonora, Baja California Sur, Sinaloa y Chihuahua	Pérdidas estimadas en más de 53,000 millones de dólares; 40,000 damnificados.
1991-jul	Zacatecas	10,500 damnificados y dos puentes caídos por el desbordamiento de una presa.
1992-ene	Nayarit	Pérdidas estimadas en más de 161,000 dólares; 10,000 damnificados.
1993-ene	Baja California	Pérdidas estimadas en 600 millones de pesos en el sector industrial; 92 muertos y 10,000 damnificados en Tijuana.
1993-nov	Baja California Sur	Pérdidas estimadas en más de 63 millones de dólares y 10,000 damnificados en Los Cabos.
1999-oct	Puebla, Hidalgo, Veracruz, Tabasco y Oaxaca	329 muertos, mas de 295,000 damnificados y 178 municipios afectados. Los daños estimados en más de 10,000 millones de pesos. Las ciudades de Villahermosa, Tabasco y Tulancingo Hidalgo estuvieron inundadas por varios días. Un alud sepultó casas en Teziutlán, Puebla.

**Tabla 2 (Continuación). Grandes inundaciones en México durante los años 1900 a 1999.**

**INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

<b>FECHA</b>	<b>HURACAN</b>	<b>ESTADOS AFECTADOS</b>	<b>VICTIMAS</b>	<b>DAMNIFICADOS</b>	<b>DATOS</b>
4-6/09/ (1955)	Gladys	Veracruz y Tamaulipas			Inundaciones en las zonas bajas de la ciudad de Tampico
10/09	Hilda	S.L.P.		1200	Inundación de la ciudad de Tampico, con una altura máxima de 3.30 m sobre la media marea, el 25 de septiembre.
21-30/09	Janet	Yucatán y Quintana Roo	12000	52530	La cortina de la presa San José, S. L. P. fue sobrepasada sin fallar ésta. Parte de la Cd. de S.L.P. se inundó. Puentes dañados. Viviendas en Soledad D. Gutiérrez fueron destruidas por el desbordamiento del río Santiago el 30 de septiembre. Inundación en Tampico con un nivel máximo de 5.88 m, el 6 de octubre. Pérdidas de aproximadamente 20 000 cabezas de ganado.
8-23/09 (1967)	Beulah	Tampico, N.L., Yucatán y Quintana Roo	19	100000	Severas inundaciones en las ciudades de Reynosa y Matamoros. Vientos de hasta 200 km/h. Daños severos en Cozumel con el 40 % de las casas destruidas. Fueron dañados barcos y muelles en la costa este de Yucatán. Hubo pérdida en cultivos de maíz.
10-13/09 (1968)	Naomi	Col., Sin., Dgo., Jal., Coah., Son. y Chih.	10	50000	60 000 ha. de cultivo afectadas. Severas inundaciones en Torreón, Gómez Palacio, Chihuahua y otras ciudades en Jalisco y Sin. Caminos y zonas agrícolas dañadas.

**Tabla 3. Inundaciones severas en México provocados por huracanes.**

**INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

<b>FECHA</b>	<b>HURACAN</b>	<b>ESTADOS</b>	<b>VICTIMAS</b>	<b>DAMNIFICADOS</b>	<b>DATOS</b>
29/09-1/10/ (1976)	Liza	B.C.S. y Son.	>1000	10000- 12000	Se produjo una avenida súbita en la ciudad de La Paz con graves inundaciones. Ello se debió a la falla de un bordo de protección de la ciudad.
17-21/09 (1993)	Gert	Ver., Hgo., S.L.P. y Tamps.	40	75000	En Tamaulipas se inundaron 22 municipios, 17 colonias en Tampico y 11 colonias en Altamira. Veracruz resultó dañada por inundaciones sin pérdida de vidas
12-16/09 (1995)	Ismael	Son., Sin. Y B.C.S.	150-200	24111	Una intensa lluvia se registró sobre Guasave la cual provocó la inundación de algunas áreas por espacio de varias semanas. En Ahome resultaron destruidas 373 casas por el efecto del viento. Murieron pescadores en Sinaloa. 40 embarcaciones fueron hundidas. Se interrumpieron los principales servicios públicos. 4728 casas destruidas por inundación y 21500 ha. de cultivos afectadas
27/09-5/10 (1995)	Opal	Ver., Camp., Tab., Q. Roo y Yuc.	45	250000	19 personas murieron debido a inundaciones. 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.
05/10/2010 (1997)	Paulina	Gro. Y Oax.	393	>50000	54000 casas dañadas, 122282 ha. de cultivos dañados y 80000 ha. de bosques y selva perdidos en Oaxaca. Se presentaron inundaciones, 20 puentes carreteros y varias carreteras se dañaron. Hubo 350 deslizamientos e interrupción de servicios públicos.

**Tabla 4 (Continuación). Inundaciones severas en México provocados por huracanes.**

**INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

<b>FECHA</b>	<b>ESTADOS AFECTADOS</b>	<b>DAÑOS</b>	<b>DATOS RELEVANTES</b>
Agosto 27, 1976	Occidente del Distrito Federal.	Doce muertos e inundaciones, 26 personas lesionadas y 300 quedaron sin hogar. Varias vecindades en Tacubaya fueron dañadas y algunas se colapsaron por las malas condiciones en que se encontraban. El mercado de Las Américas sufrió el desplome del techo. Otras estructuras en Mixcoac y Villa Obregón tuvieron la misma suerte. El Metro paró sus actividades, hubo caos vial y la corriente eléctrica se cortó en la parte occidental de la ciudad.	La tormenta duró 17 minutos y dejó una capa de granizo de 24 cm.
Mayo 28, 1987	Parte Norte del Distrito Federal (Gustavo A. Madero y Azcapotzalco), México.	Nueve muertos e inundaciones, deslizamiento en el cerro del Chiquihuite, en la Delegación Gustavo A. Madero. Doce heridos. Varios techos de viviendas, fábricas, estacionamientos y mercados derribados. Se suspendió el transporte público, hubo caos vial y varios postes de teléfonos cayeron. Colapsaron varias casas pobremente construidas.	La tormenta duró 40 minutos y dejó una capa de granizo de 60 cm en algunas partes de la ciudad.
Mayo 06, 1996	Estados de México e Hidalgo.	Causó el derrumbe del techo de dos naves industriales en el poblado de Calpulalpan y la inundación de varias casas.	La granizada duró 60 minutos.

**Tabla 5. Inundaciones originadas por granizadas en México.**

AÑO	PAÍS	VÍCTIMAS
1928	EUA	2000
1931	China	1, 400,000
1938	China	500,000
1939	China	20,000
1945	Japón	1,200
1949	China	57,000
1953	Alemania (Mar del Norte)	1,800
1954	China	40,000
1959	China	2, 000,000
1991	China	3,047
1992	Paquistán/India	2,500
1992	Afganistán	3,000
1993	Región del Himalaya	4,300
1993	China	1,000
1993	India/Nepal	2,560
1994	China	1,410
1995	China	1,400
1997	Corea del Norte	más de 100,000
1997	Burma	más de 1,000
1997	Somalia/Kenia/Etiopía	2,000
1998	China (Yang-tse y Songhua)	3,656
1998	Bangladesh/India/Bengala/Nepal	4,750

**Tabla 6. Inundaciones en el mundo en términos de víctimas (1900 a 1998).**

## **2.3 LA URBANIZACION Y SUS EFECTOS HIDROLOGICOS**

El crecimiento de las ciudades es inducido por el aumento de la población, de manera que las ciudades y su población constituyen un círculo vicioso de crecimiento, y como consecuencia básica de este crecimiento urbano y en relación con el agua, se tiene que la demanda de agua crece constantemente y por lo tanto, las aguas residuales también.

Debido a la urbanización se origina un mayor escurrimiento de las aguas de lluvia provocadas por las tormentas frecuentes y las severas más esporádicas; en ambos casos los gastos generados deben ser recolectados y transportados a través de los sistemas de drenaje inicial y mayor, respectivamente, de lo contrario pueden producir inundaciones, daños a propiedades y suspensión de las actividades cotidianas.

Cuando una cuenca es urbanizada, una gran parte de la superficie que tenía vegetación o suelo natural se vuelve impermeable, debido a la construcción de casas con techos y patios de concreto impermeables, calles pavimentadas, banquetas sin jardines y estacionamientos pavimentados.

Los efectos que trae consigo esta impermeabilización son varios, el más común es que el agua de lluvia ya no se infiltra hacia el subsuelo y por lo tanto el volumen de escurrimiento se incrementa, esto debido a que la superficie es más lisa, de manera que transporta más eficientemente el flujo. Y si todavía los cauces naturales son rectificadas o sustituidos por tuberías (red de drenaje) que hacen el flujo más eficientemente, el resultado es un incremento en el volumen y la velocidad del escurrimiento, lo cual origina gastos máximos mayores.

De acuerdo a lo antes señalado, la impermeabilización del suelo tiene efecto sobre los volúmenes escurridos y la modificación de la red de drenaje sobre los caudales máximos. Esto deja en evidencia que la solución basada exclusivamente en evacuar las aguas lluvias mediante colectores no hace sino agravar el problema hacia aguas abajo, generando caudales de crecidas cada vez mayores.

## 2.4 EFECTOS DE LAS INUNDACIONES SEGÚN SU ORIGEN

✚ **PLUVIAL:** por precipitaciones de verano, frentes fríos y ciclones tropicales



**Fig. 10** Imagen que muestra inundación por lluvias de temporada.

México.cnn.com, “EL MUNICIPIO DE CUATITLAN, ESTADO DE MEXICO CONCENTRA LA REGION CON MAS DAÑOS POR LAS LLUVIAS DEL PRIMER FIN DE SEMANA DE SEPTIEMBRE”. México, 2011.

Imagen tomada del sitio: <http://mexico.cnn.com/nacional/2011/09/05/mexico-40000-damnificados-por-lluvias-e-inundaciones-asegura-gobierno>

Fecha de actualización: Sábado, 02 de junio de 2012.



**Fig. 11** Imagen que muestra inundación por lluvias y granizada

Azteca Noticias, “GRANIZADA PROVOCA INUNDACIONES”. México, 02 de julio de 2012.

Imagen tomada del sitio: <http://www.aztecanoticias.com.mx/notas/estados-y-df/120313/granizada-provoca-inundaciones-en-interlomas>

Fecha de actualización: Sábado, 08 de septiembre de 2012.



**Fig. 12** Imagen que muestra inundación por huracán.

Blog sobre inundaciones y ambiente, “VISTA AÉREA DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR EL HURACÁN EL DÍA DESPUÉS QUE GOLPEARA LA CIUDAD”, México, 30 de agosto de 2011

Imagen tomada del sitio: [http://noqueremosinundarnos.blogspot.mx/2011\\_08\\_01\\_archive.html](http://noqueremosinundarnos.blogspot.mx/2011_08_01_archive.html)

Fecha de actualización: jueves 30 de agosto de 2012.

✚ **SISTEMAS DE DRENAJE:** inadecuados, obsoletos, insuficientes y obstrucciones en él:



**Fig. 13** Imagen que muestra inundación debido a un drenaje insuficiente.

Vértigo Político, “INUNDACION EN EL DISTRITO FEDERAL”, México, 2012.

Imagen tomada del sitio: <http://www.vertigopolitico.com/es/vertigo/noticia?id=n1331881>

Fecha de actualización: sábado 22 de septiembre de 2012.



**Fig. 14** Imagen que muestra basura obstruyendo una alcantarilla, una de las causas de inundación.

Tabasco Hoy, "BOTELLAS Y BOLSAS DE PLÁSTICO ARRASTRADAS POR EL AGUA DURANTE LA LLUVIA SE ACUMULAN EN EL DESAGUE PLUVIAL", México, septiembre de 2008.

Imagen tomada del sitio: [http://www.tabascohoy.com.mx/noticia.php?id\\_nota=162083](http://www.tabascohoy.com.mx/noticia.php?id_nota=162083)

Fecha de actualización: martes 11 de septiembre de 2012.



**Fig. 15** Imagen que muestra atascos en la compuerta de un canal.

El Sol de México, "AHORA SE NECESITA TRABAJAR PARA EVITAR NUEVAMENTE QUE TONELADAS DE BASURA VUELVAN A TAPAR LAS COMPUERTAS Y ALCANTARILLAS", México, Junio de 2011.

Imagen tomada del sitio: <http://www.oem.com.mx/elsoldemexico/notas/n2126889.htm>

Fecha de actualización: martes 11 de septiembre de 2012.



**Fig. 16** Imagen que muestra una calle afectada por la ruptura del emisor

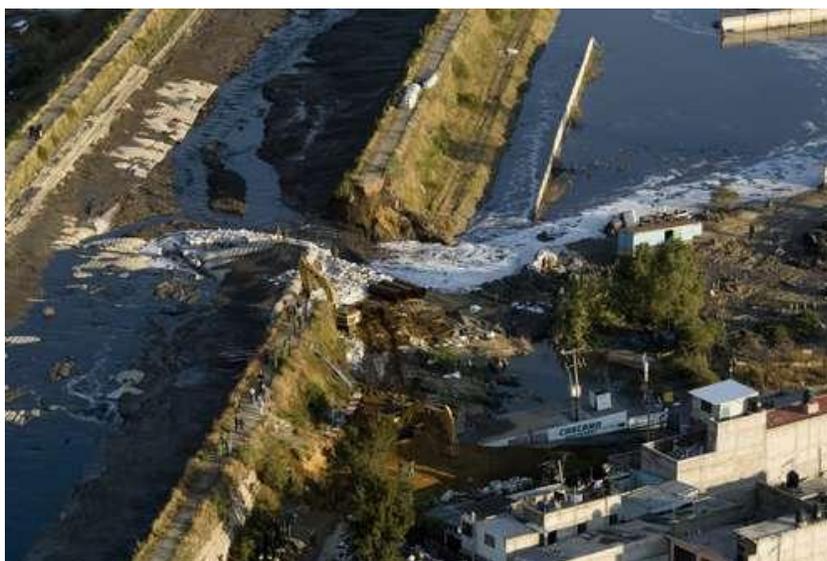
Terra.com, "CAUSA INUNDACIONES LA FRACTURA DEL EMISOR PONIENTE", México 2009.

Imagen tomada del sitio:

<http://www.terra.com.mx/noticias/fotos/20123/Causa+inundaciones+la+fractura+del+Emisor+Poniente>

Fecha de actualización: Miércoles, 06 de junio de 2012

✚ **FLUVIAL:** originados por ruptura y desbordamiento de cuerpos de agua:



**Fig. 17** Imagen que muestra una ruptura de un canal de aguas negras.

La Jornada UNAM, "ASPECTO DE LA FRACTURA EN UNO DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN DEL CANAL DE AGUAS NEGRAS LA COMPAÑÍA, UBICADO EN VALLE DE CHALCO", México, 2010.

Imagen tomada del sitio: <http://www.jornada.unam.mx/2010/02/06/fotos/022n1est-2.jpg>

Fecha de actualización: sábado, 22 de septiembre de 2012.



**Fig. 18** Imagen que muestra dificultades en la población por desborde de un río.

La Jornada UNAM, "LAS COLONIAS IMPULSORA, VALLE Y PLAZA DE ARAGÓN SIGUEN ANEGADAS POR EL DESBORDAMIENTO DEL RÍO LOS REMEDIOS, EN NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO", México, 2010.

Imagen tomada del sitio: <http://www.jornada.unam.mx/2010/02/06/estados/022n1est>

Fecha de actualización: Domingo, 23 de septiembre de 2012.



**Fig. 19** Imagen que muestra problemas para circular debido a desborde de un río.

Vanguardia, "LAS LLUVIAS EN EL VALLE DE MÉXICO PROVOCARON EL DESBORDAMIENTO DEL RÍO LOS REMEDIOS", México, 01 de Julio de 2011.

Imagen tomada del sitio: <http://www.vanguardia.com.mx/afectados65milencatepecynezaporinundaciones-1037076.html>

Fecha de actualización: Miércoles, 29 de agosto de 2012.

- ✚ **COSTERA:** Producidas por olas de gran altura, o tsunamis, así como por el incremento del nivel del mar durante las mareas:



**Fig. 20** Imagen que muestra el trazo de calles e infraestructura deformes debido a un tsunami.

CNN, "LA LUZ DEL DÍA DESVELA LA MAGNITUD DE LA DESTRUCCIÓN EN JAPÓN POR EL TERREMOTO DE 8.9 GRADOS Y UN CONSECUENTE TSUNAMI", México, MARZO DE 2011.

Imagen tomada del sitio: <http://mexico.cnn.com/mundo/2011/03/11/el-mundo-permanece-en-estado-de-alerta-tras-el-devastador-sismo-de-japon>

Fecha de actualización: miércoles 29 de agosto de 2012.



**Fig. 21** Imagen que muestra la inmensa extensión cubierta por agua originada por una marea de tormenta.

BlogSpot.mx, "NUEVA ORLEANS EL 2 DE SEPTIEMBRE DE 2005", México, 5 de Julio de 2011.

Imagen tomada del sitio: <http://noqueremosinundarnos.blogspot.mx/2011/07/la-fotografia-y-las-inundaciones-16.html>

Fecha de actualización: miércoles 29 de agosto de 2012.

## 2.5 REPERCUSIÓN DE LAS INUNDACIONES EN EL MEDIO FÍSICO Y BIÓTICO

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 condiciones que frecuentemente dan lugar a inundaciones más severas. Debido principalmente a dos situaciones: un desarrollo urbano mal organizado y deterioro ambiental.

Cada vez se desarrollan más asentamientos humanos en zonas aledañas a los cuerpos de agua sin contar con una adecuada infraestructura de drenajes, trayendo consigo problemas de inundaciones cuando llueve en exceso o se desborda una corriente. Por otro lado, se ha incrementado el número de personas que viven o trabajan en zonas que originalmente formaban parte de algún cauce que ocasionalmente vuelve a llevar escurrimientos.

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.

De esta forma, la población cree que el escurrimiento pluvial se ha eliminado y ya no es una amenaza o algo que deba preocuparles, pero cada vez es más frecuente que los drenajes se saturen porque se acumula la basura que lleva el escurrimiento y provoca inundaciones.

### **IMPACTO SOBRE EL MEDIO FÍSICO**

Si bien es cierto las inundaciones son un peligro de origen natural, sin embargo la modificación de los canales de ríos, la erosión de las áreas montañosas de captación y la urbanización creciente de los valles, han aumentado la frecuencia de este desastre.

Como ya se menciona la inundación puede ocurrir de manera *rápida o lenta*.

Con respecto a la inundación rápida, los principales impactos sobre las actividades humanas se pueden mencionar a: el enterramiento de infraestructura urbana, vehículos y obras públicas; además de que en ocasiones es necesario el cierre de puentes, carreteras y demás vías de comunicación terrestre los cuales pueden ser vías de gran importancia.

Por su parte en una inundación lenta, muchas de las actividades comerciales, industriales, de servicios, educacionales, hospitales, etc. tienen que ser suspendidas, hasta por semanas. Aún en zonas no inundadas las actividades se interrumpen por falta de transporte, agua, fluido eléctrico u otras razones, entre ellas, por ejemplo, los trabajadores de un sector del valle, aunque no haya sido inundado no puedan trasladarse a sus trabajos por lo que los pequeños negocios y grandes industrias se ven obligados a cerrar.



**Fig. 22** Ejemplo que muestra un servicio publico afectado a causa de inundación.

Terra, "EN TLACOTALPAN SE HAN DESALOJADO A 16 MIL PERSONAS", México, 2010.

Imagen tomada del sitio:

<http://www.terra.com.mx/noticias/articulo/954386/Asciende+a+200+mil+el+numero+de+damnificados+en+Veracruz.htm>

Fecha de actualización: domingo 23 de septiembre de 2012

Por otro lado las plantas potabilizadoras de agua pueden ser inundadas, con la interrupción del servicio hasta tanto no se habiliten los estanques, sistemas de bombeo, etc. Esto impone otra amenaza, que es la falta de agua para combatir incendios lo que pudiera parecer absurdo.

### **IMPACTO SOBRE EL MEDIO BIÓTICO**

Uno de los principales impactos resulta del derrame de tanques de las plantas de tratamientos de aguas que son inundadas, así como por la flotación de lodos fermentados de las letrinas y pozos negros, incluso, de tanques sépticos. Desgraciadamente muchos de los sistemas de tratamiento están ubicados cerca de corrientes, donde se vierten los efluentes finales.

En algunas ciudades los sistemas de drenaje dañados e inundados, la materia y las bacterias fecales así dispersadas afectan directamente tanto a los damnificados como a las brigadas de rescate.



**Fig. 23** Imagen que muestra un cerco sanitario en una zona después de una inundación.

ADELANTE El diario de los Mexiquenses, *"CON LA FINALIDAD DE EVITAR ENFERMEDADES EPIDEMIOLÓGICAS, EL GOBIERNO, MANTIENE UN CERCO SANITARIO EN LAS COMUNIDADES QUE RESULTARON AFECTADAS POR LAS INUNDACIONES"*, México, 2009.

Imagen tomada del sitio: <http://adelanteweb.wordpress.com/2009/09/17/mantienen-cerco-sanitario-en-seis-colonias-afectadas-por-inundaciones/>

Fecha de actualización: martes 06 de noviembre de 2012.

Según la Organización Mundial de la Salud, las causas de muerte más comunes son las diarreas (a causa del cólera) y las infecciones respiratorias agudas, asociados al consumo de los alimentos, la carencia de agua potable y aguas contaminadas con restos de cadáveres, basura y tóxicos que se convierten en caldo de cultivo para las epidemias. La humedad condiciona también otro tipo de enfermedades sobre todo en la piel.

Sin embargo, estas enfermedades no son las únicas. Las lagunas y charcos que puedan quedar luego de la inundación, eventualmente servirían como hábitat para el criadero de mosquitos, lo que puede generar enfermedades como el dengue y el paludismo.

Muchos productos químicos almacenados en recipientes, cisternas o tanques se pueden derramar, por colapso de las estructuras y/o arrastre y rotura de contenedores, generando una enorme dilución de los contaminantes, por la misma inundación. Sin embargo, algunos agentes tóxicos se pueden fijar fuertemente en los sedimentos y permanecer en ellos largo tiempo, con consecuencias biológicas.

### **MEDIO PERCEPTUAL**

Aunado a lo anterior, de una región inundada solo se aprecia desde el aire los techos que no han sido cubiertos por el agua, o por unas cuantas personas y animales que en las primeras horas de la emergencia logran llegar a ellos; también se observan las copas de los árboles. Tristemente el panorama cambia completamente.

### **OTROS IMPACTOS**

La inundación de sótanos y primeros pisos de residencias, empresas, oficinas de gobierno, centros de educación, que poseen librerías, archivos u otros valores de interés histórico y artístico, es causa de importantes daños al patrimonio cultural e histórico de una empresa, una familia, una institución, biblioteca, museo e incluso de la humanidad.

## III. ANÁLISIS HIDROLOGICO URBANO

### 3.1 GENERALIDADES

En el aprovechamiento del agua y para brindar protección contra el efecto o el exceso que pueda generar ésta, se requieren de las imprescindibles **obras de infraestructura hidráulica también conocidos como hidrosistemas**, la cual comprende los sistemas de aprovechamiento de las aguas tanto superficiales como subterráneas, los de distribución, control y protección contra crecientes y *los de drenaje urbano*.

Sin embargo este último es considerado el menor, pero a su vez el más complejo, puesto que incluye como componentes principales el abastecimiento de agua, la descarga de aguas residuales, el drenaje pluvial, el control de crecientes dentro de la zona urbana y el manejo de áreas inundables con influencia en las zonas suburbanas. Indispensablemente se construyen para eliminar las inundaciones y los riesgos asociados con las aguas generadas por las tormentas.

Desde el pasado y hasta la actualidad, las aguas de tormenta en las zonas urbanas son consideradas como “un enemigo público”, por ello el objetivo fundamental siempre ha consistido en eliminar tan rápido como sea posible, dicho escurrimiento.

Por ello, los sistemas de drenaje urbano han sido diseñados para recolectar y conducir las aguas de tormenta hacia aguas abajo rápidamente.

Los sistemas de drenaje urbano pueden considerarse constituidos por dos componentes diferentes:

- ✓ *El drenaje primario o inicial:* diseñado para evitar la interrupción de las actividades normales y económicas de la población durante las tormentas frecuentes; el cual está constituido por drenaje de las calles hacia sus costados junto a las banquetas, hasta llegar a una alcantarilla que conduce tal escurrimiento al colector o alcantarillado que está enterrado en el centro de esa calle o de la más cercana
- ✓ *Y el Drenaje mayor:* El cual transporta el escurrimiento que originan las tormentas severas. El agua de tormentas que se acumula y transporta en el alcantarillado, se descarga en una salida que la conduce al sistema mayor. Esta salida comúnmente en los sistemas, son cauces naturales que han sido destinados y/o modificados para tal función.

Para lograr un buen funcionamiento de lo antes señalado, es necesario realizar ciertas estimaciones y diseños que realizan los hidrólogos e hidráulicos urbanos:

Los **Hidrólogos Urbanos**, por su parte realizan cuantificaciones de los procesos fundamentales del ciclo hidrológico evaluándolos en condiciones normales y extremas, y se refieren básicamente a:

**Escurrecimiento:** donde se determinan los volúmenes mensuales y anuales, así como los gastos máximos o crecientes de diseño.

**Precipitación:** Aquí se cuantifican las intensidades máximas a través de las cuales se estiman las crecientes de diseño en cuencas sin datos hidrométricos.

**Y evaporación:** En la cual se estima la que ocurre en una superficie de agua y conjuntamente desde el suelo y la vegetación o evapotranspiración.

Siendo sus principales diseños los siguientes:

- Presas o embalses para abastecimiento de agua potable.
- Presas de control de crecientes
- Alcantarillas y puentes
- Obras de protección contra crecientes
- Drenaje Urbano.

Por otra parte el **hidráulico urbano** efectúa los siguientes diseños, donde participan los especialistas en el campo de la hidráulica fluvial:

- Obras de protección contra crecientes
- Planicies de inundación
- Alcantarillas y puentes

Por ello la estimación de *crecientes de diseño* es uno de los análisis hidrológicos más importantes ya que sus resultados sirven como base para el diseño hidráulico de todo tipo de presas o embalses para el control de crecientes, bordos de protección contra inundaciones, rectificación de causes así como alcantarillas y puentes

Entonces cuando exista información hidrométrica, es decir, los *gastos máximos anuales* en un sitio de estudio, la estimación de *crecientes de diseño* se realiza con base en los procedimientos del **análisis de frecuencia de crecientes**, que consiste en realizar la predicción de crecientes asociadas a periodos de retorno, presentado en dos enfoques diferentes, el local y regional.

### **3.2 PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA COMO BASE PARA EL DISEÑO**

La hidrología superficial ha sido considerada como una ciencia interpretativa, puesto que sus resultados están basados en el procesamiento estadístico o probabilístico de la información hidrométrica (gastos máximos anuales), pluviográfica y pluviométrica disponibles.

Dado que la planeación y el diseño de las obras hidráulicas están siempre relacionadas con eventos hidrológicos futuros cuyo tiempo de ocurrencia o magnitud no pueden predecirse, debemos recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia con la cual un determinado caudal o volumen de flujo puede ser igualado o excedido.

Comúnmente un evento muy fuerte ocurre con menor frecuencia en comparación con un evento más moderado, por ello el objetivo del análisis de la información hidrológica, es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad; dicha información debe seleccionarse cuidadosamente de tal manera que satisfagan las suposiciones de independencia y de distribución idéntica, en la práctica esto se lleva a cabo seleccionando el máximo anual de la variable que está siendo analizada con la expectativa de que observaciones sucesivas de esta variable de un año a otro sean independientes.

De acuerdo a lo antes señalado el análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar *precipitaciones, intensidades o caudales máximos* según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, esto mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser *discretos o continuos*.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes:

- a) Distribución Normal
- b) Distribución Log Normal 2 parámetros
- c) Distribución Log Normal 3 parámetros
- d) Distribución Gamma 2 parámetros
- e) Distribución Gamma 3 parámetros
- f) Distribución Log Pearson tipo III
- g) Distribución Gumbel
- h) Distribución Log Gumbel

De hecho, existen muchas, y obviamente no es posible utilizar todas para un problema particular.

Por lo tanto, es necesario escoger de esas funciones, las que se adapten mejor al problema bajo análisis.

Entre las funciones de distribución de probabilidad comúnmente más usadas en hidrología, se encuentran las siguientes:

- a) *Normal.*
- b) Log normal.
- c) *Log Pearson tipo III.*
- d) *Gumbel.*
- e) Funciones para dos poblaciones.

No obstante, las funciones normal y log-normal son generalmente apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles del experimento bajo análisis, como por ejemplo los volúmenes de escurrimiento mensual en un río; las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de dichos resultados, como los gastos máximos o mínimos anuales; y la función Pearson III ocupa un lugar intermedio.

Para esto, antes de hacer uso de los métodos probabilísticos que nos permiten obtener predicciones o valores asociados a determinadas probabilidades de no excedencia, cuyo recíproco es el periodo de retorno en años, es necesario revisar varios conceptos básicos, desde poblaciones y muestras hasta el error estándar de ajuste y la prueba de independencia de los datos, basada ésta en su duración.

Algunas de las técnicas de la estadística resultan ser herramientas básicas de los análisis hidrológicos urbanos, como es el caso de la regresión y correlación lineales utilizados para deducir datos faltantes o ampliar registros pluviométricos e hidrométricos con base en una o varias estaciones cercanas; cuya aplicación se describen con base en la relación que guardan los gastos máximos anuales y el volumen de su respectivo hidrograma.

Los resultados pueden utilizarse para determinar el beneficio económico de proyectos de control de crecientes; para delinear planicies de inundación y determinar el efecto de invasiones o construcción de éstas.

Por otra parte, como bien se sabe los efectos y el impacto que genera la *urbanización* en los últimos años, ha alterado la fase terrestre del ciclo hidrológico, incrementando el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial, esto debido a la reducción de la infiltración en los suelos, constantemente a causa de la pavimentación de calles y jardines; y a la mayor eficiencia hidráulica de los elementos de drenaje para conducir las aguas de tormenta; por ello, la estimación de crecientes en áreas y cuencas urbanas depende enormemente del estado de desarrollo que lleguen a alcanzar estas, el cual generalmente difiere de sus condiciones actuales.

Esto implica que la estimación de crecientes mediante el uso de métodos probabilísticos, es irrelevante, pues tales registros no corresponden a las condiciones futuras de desarrollo de su cuenca.

De acuerdo a lo antes señalado, el enfoque más confiable y eficiente para tal estimación en zonas urbanas, y que sirven de base para el diseño hidrológico de la infraestructura necesaria en los sistemas de drenaje inicial o de aguas pluviales y mayor o de evacuación y protección contra crecientes, es la aplicación de los **métodos hidrológicos** que transforman lluvias de diseño en **escurrimiento o gastos máximos**, al tomar en cuenta las condiciones físicas actuales y/o futuras de las áreas o cuencas urbanas.

La aplicación de estos métodos comienza con la construcción o estimación de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), según si se dispone de información pluviográfica o únicamente de información pluviométrica.

Para la construcción de las curvas IDF, se procesan datos del **pluviógrafo**, mientras que para su estimación se procesan datos del **pluviómetro**.

### **3.3 CONSTRUCCIÓN Y ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF**

El diseño hidráulico de las obras de drenaje urbano, requiere el uso de las llamadas *curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias (IDF)*.

Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia y son útiles para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída. Estas curvas tienen usualmente una forma de tipo exponencial, donde la intensidad, para una misma frecuencia, disminuye a medida que aumenta la duración de la precipitación.

A su vez representan las características de las tormentas de la zona, seleccionando primero el periodo de retorno  $T_r$  que tendrá el gasto máximo que se estima. Dichas curvas determinarán la magnitud de diseño de la *intensidad* de lluvia utilizado en el método racional.

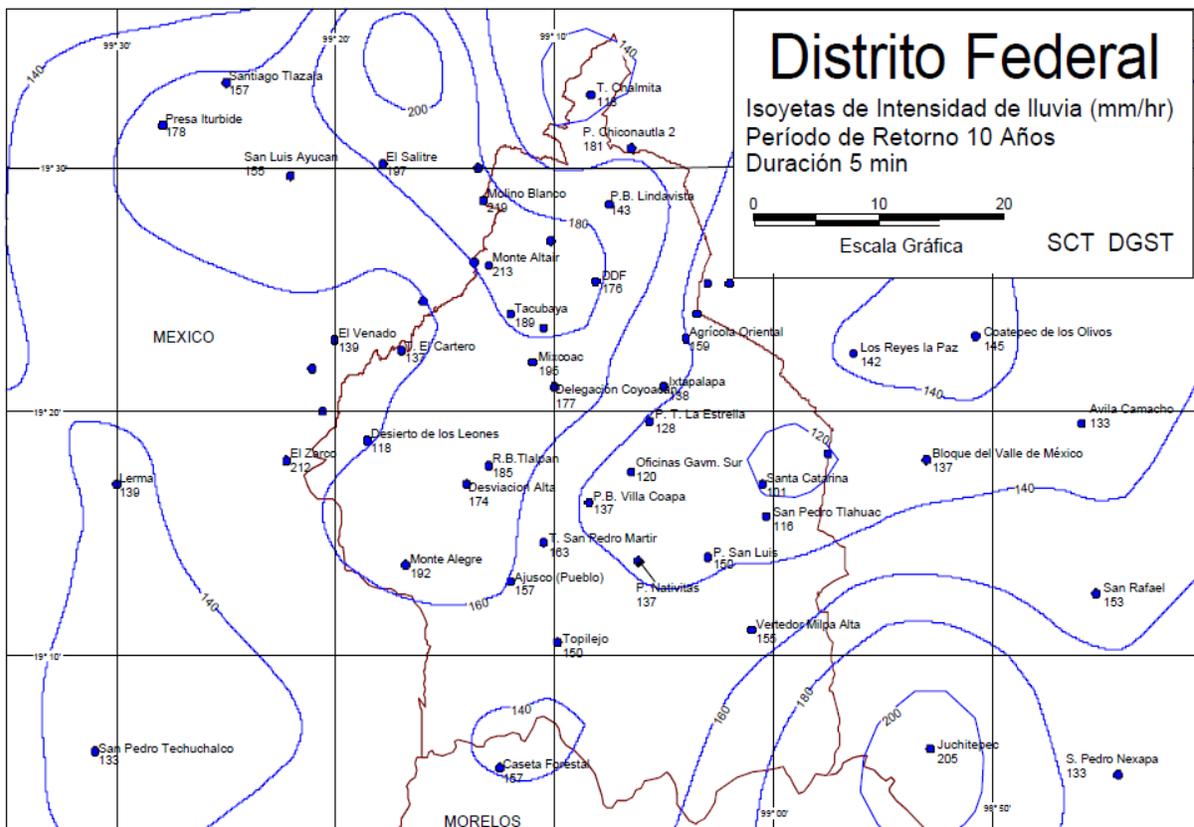
La **construcción de las curvas IDF**, comienza con en el registro de la precipitación contra el tiempo y se realiza en los pluviografos, el cual constan de un pluviómetro que descarga en un cilindro de latón, dentro del cual hay un flotador con eje central al que va unido un brazo con plumilla, la cual va trazando las curvas del diagrama sobre el papel enrollado en un tambor que es movido por el mecanismo de relojería, dando una vuelta cada 24 hrs. Cuando el agua del cilindro llega a los 10 mm, éste se descarga por un sifón y continua el registro de la precipitación en la banda pluviográfica, a partir de esta banda se dibuja primeramente la llamada curva masa de la tormenta, en la cual se buscan los mayores incrementos de lluvia en los 10 intervalos estándar que son: 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100 y 120 minutos. Con esta información se forma una tabulación para las 10 tormentas más severas del año, cuando ocurrieron más, o bien exclusivamente con las que fueron registradas; dicha tabulación permite adoptar las alturas de lluvia más grandes ocurridas en cada intervalo durante el año analizado.

Posteriormente con los modelos probabilísticos como la función de distribución de probabilidad *Valores Extremos*, se lleva a cabo el análisis probabilístico de los registros pluviográficos ajustando una función de distribución de probabilidades a cada una de las 10 series anuales máximos de intensidades que corresponden a las duraciones estándar, para obtener las predicciones asociadas a los periodos de retorno que tendrán las curvas IDF que se construyen.

Y finalmente se dibujan los resultados y se trazan las curvas.

Por otra parte, el proceso de *estimación de curvas IDF*, comienza cuando a partir de datos de lluvia máxima diaria anual se obtienen sus predicciones con duración 24 horas y tales datos se utilizan conjuntamente con una fórmula empírica que representa a las curvas IDF.

La figura 24 es un ejemplo de un mapa de isoyetas de intensidad de lluvia en mm/hr, para el caso del distrito federal con periodo de retorno de 10 años, disponible en el cuaderno de isoyetas (SCT):



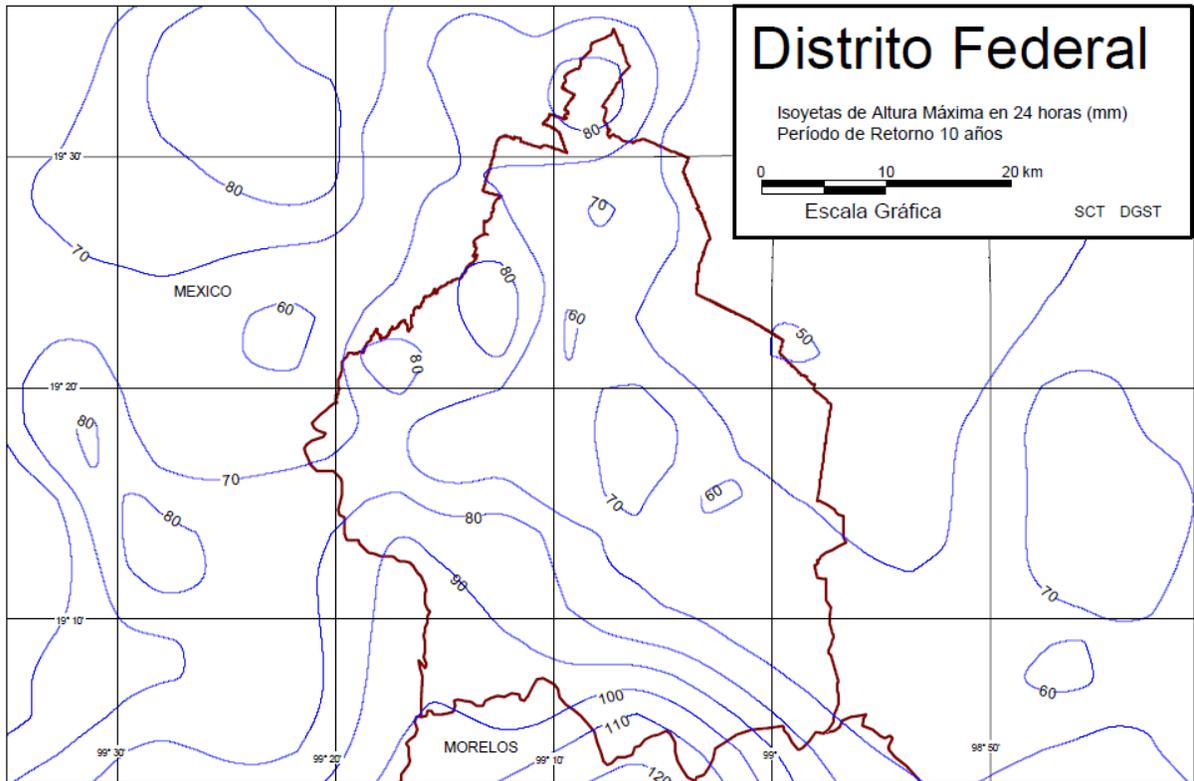
**Fig. 24 Isoyetas de Intensidad de Lluvia en mm/hr.**

Secretaría de Comunicaciones y transportes. Dirección General de Sistemas Técnicos., *"ISOYETAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, REPUBLICA MEXICANA"*, México, 2000.

Imagen tomada del sitio: <http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=452>

Fecha de actualización: Viernes, 30 de marzo de 2012

La figura 25 es otro ejemplo de un mapa de isoyetas, pero de altura máxima en 24 horas (en mm), con periodo de retorno de 10 años:



**Fig. 25 Isoyetas de altura máxima en 24 horas (milímetros)**

Secretaría de Comunicaciones y transportes. Dirección General de Sistemas Técnicos., “ISOYETAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, REPUBLICA MEXICANA”, México, 2000.

Imagen tomada del sitio: <http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=452>

Fecha de actualización: Viernes, 30 de marzo de 2012.

En muchos casos existen curvas estándar de *intensidad-duración-frecuencia IDF* disponibles para un sitio, tal es el caso de nuestro país que en la actualidad cuenta con un cuaderno de curvas isoyetas editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), y simplemente no hay que llevar a cabo este análisis (Figura 24 y 25).

Sin embargo es necesario y conveniente entender el procedimiento utilizado para desarrollar estas relaciones.

En la Republica Mexicana los mapas estatales de isoyetas constan de un cuaderno de curvas isoyetas, el cual los presenta por estados para las duraciones siguientes: 10, 30, 60, 120 y 240 minutos, cada una con periodos de retorno de 10, 20, 25 y 50 años.

El procedimiento propuesto para la *estimación de las curvas IDF*, cuando no se dispone de información pluviografica, hace uso de las curvas isoyetas citadas, así como de la información pluviométrica disponible en forma de precipitación máxima diaria anual (PMD) o precipitación máxima en 24 horas ( $P_{24}$ ). Y está basado en la formula de Chen, que es la siguiente:

$$i_D^{Tr} = \frac{a * P_1^{10} * \log(10^{2-F} * Fr^{F-1})}{(D+b)^c} = \frac{a_{Tr}}{(D+b)^c} \quad \text{----- (1)}$$

Donde:

- $i_D^{Tr}$ : es la intensidad buscada en mm/h
- $P_1^{10}$ : en milímetros
- $D$ : es la duración en minutos ( $5 \leq D \leq 1,440$ )
- $Tr$ : periodo de retorno en años ( $5 \leq Tr \leq 100$ ).

Dicho procedimiento consiste en combinar la información de isoyetas de intensidad con la disponible de precipitación máxima diaria (PMD), para estimar los cocientes lluvia-duración (R) y lluvia-frecuencia (F) necesarios para aplicar la formula de Chen (1).

Se comienza por recabar en los mapas de isoyetas las intensidades con duración de 60 minutos y periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, que se designan por  $P_1^{10}$ ,  $P_1^{25}$ ,  $P_1^{50}$  respectivamente, ya que por tener una duración de una hora corresponden a precipitaciones o láminas de lluvia en milímetros.

Posteriormente las predicciones de lluvia máxima diaria de periodos de retorno 10, 25, 50, y 100 años se multiplican por 1.13 para convertirlas a lluvias en 24 horas ( $P_{24}^{Tr}$ ), con las cuales se obtienen los cocientes lluvia-duración (R) y lluvia-frecuencia (F) necesarios para aplicar la formula (1), dichos cocientes son:

$$R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}} \quad \text{----- (2)}$$

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}} \quad \text{----- (3)}$$

Con el valor promedio ( $R_{prom}$ ) de los tres cocientes  $R$  que se pueden evaluar (una para cada periodo de retorno de 10, 25 y 50 años), se obtienen los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $c$  en las graficas propuestas por Chen (Ver anexo I), para sustituirlas en la formula de Chen (1).

Los valores calculados de  $i_D^{Tr}$  permiten dibujar las curvas IDF; los valores de los cocientes  $R$  y  $F$  definen respectivamente, la forma de las curvas IDF y su separación entre ellas; y, la lluvia  $P_1^{10}$  establece el escalamiento.

Por lo tanto, con base en la formula de chen y conociendo las predicciones de lluvia máxima diaria para sus respectivos periodos de retorno en años, se pueden estimar las curvas IDF para algún sitio en estudio. Para ello es necesaria la ayuda de las isoyetas de Intensidad-Duración-Frecuencia para conocer las curvas isoyetas de duración 60 minutos y periodo de retorno 10, 25 y 50 años, de las cuales se obtienen los valores de la intensidad o lámina de lluvia en tal duración con dichos periodos de retorno ( $P_1^{Tr}$ ).

Con base a estos valores y conocidas las predicciones de lluvia máxima diaria en milímetros con sus respectivos periodos de retorno, previamente transformados a lluvias en 24 hrs ( $P_{24}^{Tr}$ ), se obtienen, el cociente ( $F$ ) y los tres valores del cociente ( $R$ ) y su promedio ( $R_{prom}$ ), con tales parámetros de diseño se obtienen los valores de  $a$ ,  $b$  y  $c$  en las graficas propuestas por Chen (ver anexo), para finalmente obtener las curvas IDF con intensidades en mm/hr.

Usualmente los datos se presentan en forma gráfica, con la duración en el eje horizontal y la intensidad en el eje vertical, mostrando una serie de curvas, para cada uno de los periodos de retorno de diseño.

El diseño hidrológico estima variables como lluvias y escurrimientos o crecientes, necesarias para dimensionar obras hidráulicas o estudio de medidas no estructurales; por ello es necesario de registros climáticos e hidrométricos; de lo contrario cuando no exista dicha información, el proceso lluvia-escurrimiento comienza con un modelo de precipitación, es decir, una *tormenta de diseño*.

### 3.4 TORMENTAS DE DISEÑO

Uno de los primeros pasos en muchos proyectos de diseño es la determinación del evento de lluvia a usar, por ello se desarrollo el concepto de ***tormenta de diseño***, el cual incide en la cuenca urbana y es el punto de partida de las estimaciones hidrológicas de crecientes.

Se trata de un modelo de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escurrimiento y tránsito de caudales.

Comúnmente puede definirse mediante *un valor de profundidad de precipitación en un punto*, mediante *un hietograma* de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta o bien mediante un *mapa de isoyetas* que especifique el patrón espacial de la precipitación.

Se consideran dos tipos fundamentales:

- ✓ Basadas en información ***histórica***, la cual se refiere a eventos extremos o extraordinarios que ocurrieron en el pasado y que fueron registrados.
- ✓ Y las ***sintéticas o hipotéticas***, que se obtienen a partir del estudio de un gran número de tormentas severas observadas para estimar un *hietograma* que represente a las tormentas de la zona.

Dicho hietograma define un valor de profundidad de precipitación de diseño que puede ser puntual o promedio sobre un área, además de que especifica la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

Los hietogramas de diseño pueden ser utilizando *análisis de eventos de tormenta* empleando el método del hietograma triangular; y utilizando las *relaciones IDF* con el método del *bloque alterno* y el método de la *intensidad instantánea*.

Para fines prácticos en el diseño hidrológico de estructuras para el control de agua, puede estimarse un límite superior, es decir un valor límite estimado que se refiere a la magnitud máxima posible de un evento hidrológico. Dichos valores son: la *precipitación máxima probable PMP*, la *tormenta máxima probable TMP* y la *creciente máxima probable CMP*. La primera proporciona solamente una profundidad de precipitación, cuya distribución temporal debe definirse para formar una *TMP*; la cual a su vez puede utilizarse como entrada a un modelo de lluvia-escorrimento de un sistema de drenaje de cuencas, que puede utilizarse posteriormente para desarrollar una *CMP* para el diseño de estructuras de control de escurrimiento.

### 3.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Los métodos hidrológicos de estimación de crecientes generalmente requieren como dato un parámetro asociado al tiempo, como son: el tiempo de concentración, el tiempo al pico, el tiempo de retraso, o bien el tiempo de equilibrio.

El Tiempo de concentración  $T_c$ , es comúnmente el más usual. Es básico para la determinación del gasto máximo y un parámetro relevante del tiempo de respuesta de la cuenca. Es el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio; es decir, el tiempo que tarda una gota de agua para fluir desde el punto hidráulicamente más alejado en la cuenca hasta el punto de interés o la salida.

Naturalmente depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y de la velocidad promedio que adquiere dentro de la misma. Esta velocidad está en función de las pendientes del terreno y los cauces, y de la rugosidad de la superficie de los mismos.

Puede ser estimado por 3 componentes de flujo:

- ✓ En lámina o sobre el terreno se utiliza la formula de **kerby-Hathaway** , propuesta en 1959 y desarrollada con base en datos de drenaje de aeropuertos publicados en 1945, cuya expresión es:

$$tv = \left( \frac{2.198 * n_r * L}{\sqrt{S}} \right)^{0.467} \text{----- (4)}$$

Donde:  $tv$ = esta en minutos.

$n_r$ = es el coeficiente de resistencia al flujo sobre el terreno.

Los valores se proponen en la tabla 7.

$L$ = es la longitud del flujo, cuyo valor debe ser menor a 91.5 metros.

$S$ = la pendiente del terreno en m/m.

TIPO DE SUPERFICIE:	$n_r$
Pavimentos lisos	0.020
Asfalto o concreto	0.05-0.15
Suelo desnudo compacto, sin piedras	0.10
Terreno moderadamente rugoso o cobertura de pasto disperso	0.30
Cobertura dispersa de césped	0.20
Cobertura moderada de césped	0.40
Cobertura densa de césped	0.17-0.80
Pasto denso	0.17-0.30
Pasto bermuda	0.30-0.48
Bosque maderable	0.60

**Tabla 7. Factor de resistencia al flujo sobre terreno ( $n_r$ )**

- ✓ *Concentrado en vauadas y cauces o canales*, es común utilizar la formula empírica de **Kirpich**:

$$tv = \frac{0.0195 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \text{----- (5)}$$

Donde:  $tv$ = esta en minutos.

$L$ = es la longitud del tramo de canalización en metros, cuya pendiente es  $S$  estimada como el desnivel total del tramo ( $H$ ) en metros entre  $L$ .

- ✓ *En canales revestidos, tuberías o alcantarillados y cunetas de calles*, se puede estimar como el cociente de la longitud del tramo entre la velocidad de Manning en condiciones de flujo lleno:

$$tv = \frac{L}{(60/n) * R^{2/3} * S^{1/2}} \text{----- (6)}$$

Donde:  $tv$ = esta en minutos.

$n$ = es el coeficiente de rugosidad de Manning.

$L$ = se expresa en metros.

$S$ = la pendiente en m/m

$R$ = es el radio hidráulico, aproximado igual al tirante en causes cunetas y canales y 0.25 del diámetro en tuberías.

Asimismo puede calcularse con las siguientes formulas empíricas de las 13 disponibles, con  $Tc$  en minutos:

- *De la Agencia Federal de Aviación*; desarrollada con datos de drenaje en aeropuertos:

$$Tc = \frac{0.7035 * (1.1 - C) * \sqrt{L}}{S^{0.333}} \text{----- (7)}$$

Donde: C= coeficiente de escurrimiento del método racional  
 L=en metros  
 S=en m/m

- *Carter*; se utilizo en cuencas con cauces naturales y áreas con alcantarillado:

$$Tc = \frac{45.636 * L^{0.60}}{S^{0.30}} \text{----- (8)}$$

Donde: L= expresado en kilómetros  
 S=en m/Km  
 Ambos se miden en el cauce o recorrido mas largo.

- *Eagleson* en cuencas menores de 20.7 km<sup>2</sup>:

$$Tc = \frac{0.0165 * n * L}{R^{2/3} * \sqrt{S}} \text{----- (9)}$$

Donde: L y R = expresado en metros  
 S=en m/m.

- *Espey-Winsolw* en cuencas rurales y urbanizadas. Tomando en cuenta la suma de la vegetación  $\Phi_1$  y el grado de mejoramiento del cauce  $\Phi_2$ :

$$Tc = \frac{43.752 * \Phi * L_c^{0.29}}{S_c^{0.145} * I^{0.60}} \text{----- (10)}$$

Donde: L<sub>c</sub>= expresado en metros  
 S<sub>c</sub>=en m/m.

- *Putnam* basada en 34 cuencas de Carolina del Norte:

$$Tc = \frac{352.5}{I^{0.57}} \left( \frac{L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.50} \text{----- (11)}$$

Donde:  $L_c$ = expresado en kilómetros  
 $S$ =en m/Km.  
 $I$ = en porcentaje.

- 1 McCuen, Wong y Rawls; la aplicación implica tanteos puesto que la intensidad depende del valor del  $T_c$  y viceversa:

$$T_c = \frac{12.202 * L^{0.5552}}{i_2^{0.7164} * S_c^{0.2070}} \text{-----} (12)$$

- 2 McCuen, Wong y Rawls; Transformada al incluir el factor de canalización de Espey; debe usarse cuando se realizan cambios en el cauce:

$$T_c = \frac{L^{0.4450} * \Phi^{0.5517}}{i_2^{0.7231} * S_c^{0.2260}} \text{-----} (13)$$

Donde:  $i_2$ = intensidad de lluvia en mm/h de duración igual a  $T_c$  y periodo de retorno 2 años.  
 $L$ =longitud total del flujo en metros.  
 $S_c$ = pendiente del cause en m/km.

### 3.6 ESTIMACIÓN DE CRECIENTES O GASTOS MÁXIMOS

El ciclo escurrimiento es un proceso que describe la transformación lluvia-escurrimiento, contando con varios métodos o procedimientos alternativos para llegar a definir el *caudal de diseño*, el cual resulta indispensable para una obra de drenaje urbano; estos métodos son adecuados dependiendo de la información hidrológica disponible y de las características de la cuenca.

Todos y cada uno de ellos tienen un cierto grado de subjetividad y suponen distintas hipótesis.

Comúnmente se cuenta con procedimientos directos, regionales e indirectos, siendo este último los encargados de estimar las crecidas en base a la relación que existe entre la precipitación y el escurrimiento, permitiendo además aprovechar la mayor cantidad de información de precipitación existente, para extender registros más escasos de caudal y mejorar así los métodos para estimar crecidas en aquellos puntos que no cuentan con información.

Dentro de estos modelos disponibles existe gran variabilidad, pues abarcan desde relaciones empíricas muy simples hasta complejos modelos de simulación que representan las variaciones espaciales y temporales del proceso de transformación. A medida que aumenta la complejidad del método se incrementan también las necesidades de información básica para aplicarlo.

Generalmente son considerados determinísticos debido a que no incorporan el riesgo asociado a los resultados. Adicionalmente requieren ya definida la tormenta de diseño y la precipitación efectiva, ya que el método considera solamente una transformación.

De todos los métodos existentes cabe mencionar dos de los procedimientos más usuales: el método racional y los métodos basados en el concepto del hidrograma unitario o derivaciones, que son los más útiles para el diseño de los sistemas de drenaje urbano.

### **3.6.1. MÉTODO RACIONAL**

Es ampliamente usado desde mediados del siglo XIX y tiene la ventaja de ser aparentemente muy simple, formulando que el caudal máximo es proporcional a la lluvia caída en el área, multiplicada por un coeficiente de escurrimiento.

Es apropiado para ser usado en áreas pequeñas, preferentemente impermeables como es el caso de las cuencas urbanas. Sus limitaciones principales se relacionan con el hecho de suponer un coeficiente de escurrimiento constante independiente de las condiciones de humedad de la cuenca y la hipótesis de igualar el período de retorno de la tormenta al de la crecida.

Su aplicación es un aspecto básico para la determinación de gastos máximos en cuencas urbanas.

A su vez puede utilizarse para seleccionar el diámetro que tendrán las tuberías, una vez que se ha seleccionado una distribución o localización de la red para un sistema de alcantarillado de aguas lluvias, el cual está conformado por una red utilizada para conducir el escurrimiento de una tormenta a través de una ciudad.

Su idea fundamental establece que si una lluvia con cierta intensidad  $i$  empieza en forma instantánea y continua indefinidamente, la cantidad de escurrimiento se va incrementando hasta que llegue al tiempo de concentración  $T_c$ , en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. Por lo tanto la intensidad  $i$  tiene una duración igual al tiempo de concentración  $T_c$  y corresponde al periodo de retorno de la creciente o gasto máximo que se estima. El producto de la intensidad de lluvia  $i$  y el área de la cuenca  $A$  es el caudal que entra al sistema  $iA$ , y el cociente entre este caudal y el gasto máximo  $Q$  que ocurre al llegar al tiempo de concentración  $T_c$ , se le denomina coeficiente de escurrimiento  $C$  el cual varía de 0 a 1. En el sistema métrico la fórmula racional se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 0.2778 * C * i * A \quad \text{----- (14)}$$

Donde:

$Q$ : gasto en  $m^3/s$ .

$C$ : coeficiente de escurrimiento.

$i$ : intensidad en  $mm/h$ .

$A$ : área de la cuenca en  $km^2$ .

En las zonas urbanas las cuencas de drenaje usualmente tienen áreas o subcuencas con características superficiales diferentes; por ello se requiere de un análisis parcial de cada subcuenca comúnmente denominado  $A_j$ , cuyo coeficiente de escurrimiento será  $C_j$ , de tal forma que el gasto máximo se calcule como:

$$Q = i \sum_{j=1}^m C_j * A_j \quad \text{----- (15)}$$

Donde:  $m$ : es el número de subcuencas que se consideraron en la cuenca cuya creciente o gasto máximo se estima.

El **área de la cuenca** debe determinarse en tamaño y forma. Comúnmente se hace utilizando planímetros una vez que se haya definido su parte-aguas en un plano topográfico; o bien mediante trabajos topográficos de campo, cuando los datos han cambiado o cuando el intervalo entre las líneas de nivel en los mapas es demasiado grande para distinguir la dirección del flujo. El parteaguas de la cuenca debe corresponder a las fronteras físicas y reales del flujo, las cuales pueden estar afectadas por diferentes obras introducidas por la urbanización.

La estimación de la **intensidad de lluvia** se determina con base a las curvas Intensidad-Duración-frecuencia, que representan las características de las tormentas de la zona, seleccionando primero el periodo de retorno  $Tr$  que tendrá el gasto máximo que se estima. Debe ser el promedio factible de ocurrir en la subcuenca o cuenca analizada con el periodo de retorno seleccionado y con una duración igual al tiempo de concentración  $Tc$  estimado para tal área.

O bien, será la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser instantánea o promedio y se expresa:

$$i = \frac{P}{T_d} \text{ ----- (16)}$$

Donde:  $P$ = es la profundidad de lluvia en mm.

$T_d$ = es la duración, usualmente en horas.

Y el **coeficiente de escurrimiento**, posiblemente la variable menos precisa y mas difícil de estimar en el método. Varía de 0 a 1 y refleja la habilidad de la cuenca para convertir la lluvia en escurrimiento. Sin embargo una parte de la lluvia que llega a la salida de la cuenca depende del porcentaje de superficie impermeable, de su pendiente, y de las características de la superficie ante el encharcamiento.

Debe escogerse un coeficiente razonable para representar los efectos integrados de todos estos factores. Inspecciones de campo y fotografías aéreas son muy útiles en la estimación de la naturaleza de la superficie dentro del área de drenaje.

La tabla 8 muestra una serie de valores del coeficiente de escurrimiento *C*, los cuales dependen de las condiciones físicas de la superficie y del periodo de retorno de diseño:

Características de la superficie:	Periodo de retorno en años						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Urbanizada</b>							
<b>Superficie asfáltica</b>	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
<b>Concreto y/o azoteas</b>	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<b>Áreas con pasto (Parques, jardines, etc.)</b>							
<b>Condición pobre (el pasto cubre menos del 50% del área)</b>							
<b>Plano (0 al 2%)</b>	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
<b>Promedio (2 al 7%)</b>	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
<b>Con pendiente (&gt;al 7%)</b>	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<b>Condición media (el pasto cubre del 50% al 75% del área)</b>							
<b>Plano (0 al 2%)</b>	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
<b>Promedio (2 al 7%)</b>	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
<b>Con pendiente (&gt;al 7%)</b>	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Condición buena (el pasto cubre más del 75% del área)</b>							
<b>Plano (0 al 2%)</b>	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
<b>Promedio (2 al 7%)</b>	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
<b>Con pendiente (&gt;al 7%)</b>	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58

**Tabla 8. Valores de coeficiente de escurrimiento *C* sugeridos en áreas urbanas**

En la tabla 9 se presentan los coeficientes de escurrimiento *C* recomendados para zonas urbanas, con la particularidad de indicar el % de área impermeable en cada uso.

<i>Uso del terreno</i>	<i>% de área impermeable</i>	<i>Periodos de retorno en años</i>			
		<i>2</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>100</i>
Comercial	95.0	0.87	0.87	0.88	0.89
Alrededor de las zonas comerciales	70.0	0.60	0.65	0.70	0.80
Residencial de familias individuales	50.0	0.40	0.45	0.50	0.60
Edificios de apartamentos (separados)	50.0	0.45	0.50	0.60	0.70
Edificios de apartamentos (juntos)	70.0	0.60	0.65	0.70	0.80
½ campo edificado o más	45.0	0.30	0.35	0.40	0.60
Apartamentos	70.0	0.65	0.70	0.70	0.80
Industrial disperso	80.0	0.71	0.72	0.76	0.82
Industrial denso	90.0	0.80	0.80	0.85	0.90
Parques y cementerios	7.0	0.10	0.25	0.35	0.60
Campos de juego	13.0	0.25	0.25	0.35	0.65
Escuelas	50.0	0.45	0.50	0.60	0.70
Patios de ferrocarril	20.0	0.40	0.45	0.50	0.60
Calles pavimentadas	100.0	0.87	0.88	0.90	0.93
Calles empedradas	40.0	0.15	0.25	0.35	0.65
Avenidas y paseos	96.0	0.87	0.87	0.88	0.89
Techos o azoteas	90.0	0.80	0.85	0.90	0.90
Césped en suelos arenosos	2.0	0.00	0.01	0.05	0.20
Césped en suelos arcillosos	2.0	0.05	0.10	0.20	0.40

**Tabla 9. Magnitudes de coeficiente de escurrimiento *C* propuestos exclusivamente a zonas urbanas.**

Comúnmente en las zonas urbanas los pavimentos y los concretos de asfalto producen un escurrimiento casi en su totalidad cuando están mojados sin importar la pendiente. Otros factores que intervienen en este coeficiente son: la intensidad de lluvia, el contenido de humedad del suelo, su grado de compactación, la proximidad del nivel freático entre otras.

Este método describe el proceso lluvia-escurrimiento, en la cual los efectos de la lluvia y del área de la cuenca son tomados explícitamente y las consecuencias de las condiciones físicas de la cuenca se consideran de manera indirecta a través del tiempo de concentración y del valor del coeficiente de escurrimiento; por lo que la infiltración y otras pérdidas no se toman en cuenta de una manera física real, sino indirectamente en dicho coeficiente.

A su vez se ignora el almacenamiento temporal del escurrimiento sobre el terreno y en los causes, así como las variaciones temporales y espaciales de la lluvia, por lo cual el método solo es aplicable cuando tales efectos son pequeños.

De acuerdo a lo anterior el método solo es aplicable en cuencas pequeñas donde las variaciones espaciales de lluvia son reducidas y donde los efectos del almacenamiento en los causes son aun despreciables. Por ello se ha establecido un tamaño máximo de cuenca de 80.9 ha, o bien 12.5 km<sup>2</sup>.

### **3.6.2. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO**

Este método es una extensión del procedimiento racional para lluvias que tengan una duración mayor que el tiempo de concentración del área, desarrollado para determinar los hidrogramas utilizables y no sólo una estimación del gasto máximo.

De esta forma, se puede emplear el procedimiento racional en situaciones que necesitan hidrogramas, tales como para dimensionar embalses de detención de las aguas lluvias o diseño de alcantarillados de aguas lluvias.

La forma del hidrograma producido es un trapecio que se construye ajustando la duración de las rectas de ascenso y de recesión hasta igualarlas al tiempo de concentración. De esta manera el hidrograma aumenta linealmente hasta alcanzar el gasto máximo para el tiempo igual al de concentración. Luego el caudal permanece constante hasta el instante en que termina la lluvia. La última rama es lineal y el caudal disminuye hasta un valor nulo.

Procediendo de esta manera se calculan hidrogramas para diferentes duraciones de lluvia, dado que para cada duración se utiliza la intensidad de lluvia correspondiente a dicha duración seleccionada de la curva IDF.

Cuando la duración elegida es igual al tiempo de concentración el hidrograma se transforma en un triángulo isósceles.

Los volúmenes de detención necesarios para no sobrepasar un caudal de diseño, se calculan efectuando la propagación de los hidrogramas correspondientes a varias duraciones de lluvia a través del embalse y se elige aquel que maximiza el volumen requerido sin que se sobrepase el caudal máximo de salida especificado.

### 3.6.3. HIDROGRAMAS

Estos se refieren a gráficas que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica, típicamente representa el caudal frente al tiempo.

#### ➤ Hidrograma unitario

Es un método lineal propuesto por Sherman en 1932, y en la actualidad es ampliamente utilizado. Se denomina unitario puesto que, el volumen de escurrimiento bajo el hidrograma se ajusta generalmente a 1 cm. En general describe la forma en que una cuenca devuelve un ingreso de lluvia distribuido en el tiempo; basado en el principio de que dicha relación entrada-salida es lineal, es decir, que pueden sumarse linealmente.

Su aplicación es muy simple y confiable en cuencas relativamente pequeñas y su obtención parte de valores naturales registrados. Esta basado en el *tiempo base constante*, *linealidad o proporcionalidad* y una *superposición de causas y efectos*.

Se puede considerar como un impulso unitario en un sistema lineal. Por lo tanto es aplicable el principio de superposición, es decir, 2 cm de escurrimiento producirán un hidrograma con todas las ordenadas dos veces más grandes que aquellas del hidrograma unitario, es decir, la suma de dos hidrogramas unitarios.

Matemáticamente, el hidrograma unitario es la función Kernel U (t-T) dada por:

$$q(t) = \int i(t)U(t-T)dt \quad \text{----- (17)}$$

Donde:

$q(t)$ : función del hidrograma de salida

$i(t)$ : función del hidrograma de entrada

Aun cuando las características físicas de la cuenca permanezcan relativamente constantes, las características variables de las tormentas producen cambios en la forma de los hidrogramas resultantes.

Las características de una tormenta son: La duración de la lluvia, el patrón intensidad – tiempo, la distribución espacial de la lluvia y la cantidad de escurrimiento.

El mejor hidrograma unitario es aquel que se obtenga a partir de una tormenta uniforme en intensidad y distribución espacial, que genere una lámina de un centímetro y que tiene una duración unitaria.

Entonces el hidrograma unitario es el hidrograma de un centímetro (o una pulgada) de escurrimiento directo de una tormenta con una duración especificada.

En los casos en que los datos de caudales son escasos se puede recurrir a los métodos de hidrogramas unitarios sintéticos para estimar las características principales del hidrograma en función de propiedades geomorfológicas de la cuenca.

### ➤ **Hidrogramas sintéticos**

Además de los hidrogramas naturales, existen hidrogramas sintéticos que son simulados, artificiales y se obtienen usando únicamente datos de las características generales (fisiográficas y parámetros) de la cuenca de interés, esto cuando no se cuenta con una estación hidrométrica o bien con los registros pluviográficos necesarios. Con base en el hidrograma unitario, la construcción de estos de manera sintética, define las características como *gasto pico*, *tiempo pico* y *tiempo base* con relación a las propiedades físicas de la cuenca

Su finalidad es representar o simular un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico para diseñar.

Debido a su importancia, se ha desarrollado una gran cantidad de hidrogramas unitarios sintéticos, de los cuales aquí se mencionan 3 mas utilizados:

- ***H Unitario sintético triangular***: método desarrollado por Mockus para cuencas pequeñas cuya forma del hidrograma es triangular. El gasto pico se obtiene con:

$$Q_p = \frac{0.208 A}{t_p} \text{----- (18)}$$

Conjuntamente el tiempo base  $t_b$ , el tiempo pico  $t_p$  y el tiempo de concentración  $t_c$  se calculan con:

$$t_b = 2.67t_p \text{----- (19)}$$

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6t_c \text{----- (20)}$$

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \text{----- (21)}$$

En el cual  $t_c$  se puede calcular mediante la formula de Kirpich, donde  $S$  es la pendiente del cause principal y  $L$  se expresa en m.

A su vez el tiempo pico se expresa como:

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \text{----- (22)}$$

Asimismo el tiempo de recesión puede aproximarse a:

$$T_r = 1.67T_p \text{----- (23)}$$

Además, la duración en exceso con la que se tiene mayor caudal pico, a falta de mejores datos, se puede calcular aproximadamente para:

Cuencas grandes (horas)  $d_e = 2\sqrt{t_c}$  ----- (24)

Cuencas pequeñas (horas)  $d_e = t_c$  ----- (25)

- **H Adimensionales SCS:** en el cual el caudal se expresa por la relación del caudal  $q$  con respecto al caudal pico  $qp$  y el tiempo por la relación del tiempo  $t$  con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario  $Tp$ . Dados el caudal pico y el tiempo de retardo para la duración de exceso de precipitación, el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional para la cuenca dada.
- **H Unitario sintético de Snyder:** que tiene utilidad cuando no se cuenta con los datos necesarios de caudal y precipitación históricos para la deducción del hidrograma unitario de una cuenca.

La deducción de los parámetros para definir los hidrogramas unitarios sintéticos se basan en las características geométricas y morfológicas de la cuenca hidrográfica.

Snyder estableció que, para cuencas de 16 a 16,100 km<sup>2</sup> el tiempo de retardo de la cuenca  $t_p$  (en horas) se puede expresar como:

$$t_p = 0.7517C_t(L * L_c)^{0.3} \text{ ----- (26)}$$

Donde:

$C_t$ : Coeficiente adimensional variando entre 1.8 y 2.2, tomando los valores menores para cuencas con grandes inclinaciones.

$L$ : Longitud del río principal desde la divisoria de aguas hasta el punto en consideración (en km).

$L_c$ : Longitud desde el punto del río principal más próximo al centro geométrico de la cuenca hasta el punto en consideración (en km).

A su vez el valor para la duración  $t_r$  de la lluvia neta (en horas) como:

$$t_r = t_p / 5.5 \quad \text{-----} \quad (27)$$

Para lluvias con esta duración, el caudal pico  $q_p$  del hidrograma unitario por milímetro de lluvia neta ( $m^3/s/ (mm)$ ), esta dado por:

$$q_p = \frac{0.275 C_p A}{t_p} \quad \text{-----} \quad (28)$$

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca (en  $km^2$ ).

$C_p$ : Coeficiente adimensional variable entre 0.56 y 0.69 tomando valores mayores para cuencas con grandes inclinaciones.

El hidrograma unitario sintético obtenido corresponde a un milímetro de precipitación neta sobre toda la cuenca y *adopto el* Tiempo base del escurrimiento  $T$  como:

$$T = 3 + \frac{t_p}{8} \quad \text{-----} \quad (29)$$

Entonces con los factores tiempo de retardo  $t_p$ , caudal pico  $q_p$  y tiempo base del escurrimiento  $T$ , se puede construir el Hidrograma Unitario para una duración  $t_r$ .

O bien para cualquier otra duración de lluvia neta  $tR$  diferente al tiempo de retardo  $t_p$ , el tiempo de retardo modificado  $t_pR$ , el caudal pico  $q_pR$  y el caudal base  $TR$ , respectivamente están dados por:

$$t_pR = t_p + \frac{T_R - t_r}{4} \quad \text{-----} \quad (30)$$

$$T_r = 3 + \frac{t_pR}{8} \quad \text{-----} \quad (31)$$

$$q_p R = \frac{0.275 C_p A}{t_p R} \text{----- (32)}$$

Adicionalmente las siguientes características necesarias:

- ✓ Ancho del hidrograma unitario en unidades de tiempo al 50% del gasto pico,  $W_{50}$
  - ✓ Ancho del hidrograma unitario en unidades de tiempo al 75% del gasto pico,  $W_{75}$ .
- (El ancho de  $W_{50}$  y  $W_{75}$  están ubicados 1/3 antes y 2/3 después del  $q_p$ )

Además de los hidrogramas unitarios sintéticos existen algunos tipos de hidrogramas complejos tal es el caso de la *separación del hidrograma* o *análisis de hidrograma* mediante la Separación del Caudal Base y el Caudal de Escurrimiento Directo a través del método de la *Línea Recta* el cual consiste en ubicar el punto donde empieza a crecer la gráfica (comienzo de incremento de caudal) y luego se traza una línea hasta interceptar el comienzo de la curva de agotamiento. El caudal por debajo de esa línea corresponde al aporte del agua subterránea y el resto al escurrimiento superficial total. El cálculo del hidrograma de escurrimiento total directo consiste en restar el caudal base del caudal observado para la tormenta en particular.

Aunado a esto existen otras alternativas para el cálculo de crecientes de diseño como los **software** para el desarrollo de tormentas máximas probables *TMP* y crecientes máximas probables *CMP*, tal es el caso del HMR 52 descrito por el Center (1984), el cual calcula la precipitación promedio sobre la cuenca para la TMP de acuerdo con los criterios planteados en el reporte hidrometeorológico No. 52 (según fuentes de información para cálculos de precipitación máxima probable en los Estados Unidos).

Asimismo se han desarrollado una gran cantidad de **modelos determinísticos de simulación hidrológica** que incluyen los siguientes modelos:

- ✓ *De simulación de eventos:* que pueden modelar un evento único de lluvia-escorrimento, de los cuales se pueden mencionar a: el U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering (1981) HEC-1, el cual es un modelo de hidrograma de crecientes; el Soil Conservation Service (1965) TR-20, el cual es un programa de computador para el calculo de la hidrología de un proyecto; el U.S. Environmental Protection Agency (1977) SWMM, que es un modelo para el manejo de aguas de tormenta; el modelo ILLUDAS, Illinois State Water Survey desarrollado por Terstriep y Stall (1974); entre otros mas.
- ✓ *De simulación continua:* los cuales incluyen procedimientos para tener en cuenta el contenido de humedad del suelo con el fin de simular el escurrimiento causado por lluvias con intervalos de días u horas a lo largo de grandes periodos, por ejemplo: el U.S. National Weather Service Runoff Forecast System, que es un sistema para el pronostico de escurrimiento (1985); el U.S. Army Corps of Engineers (1976) STORM; el U.S. Army Corps of engineers (1972) SSARR, el cual es un modelo para la síntesis de caudales y la regulación de embalses.

Los modelos antes mencionados no son todos los métodos disponibles, sin embargo cubre la mayoría de los modelos comúnmente utilizados en la práctica hidrológica, siendo el modelo **HEC-1** el modelo de simulación de evento mas probablemente utilizado.

Este Sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers); el cual puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos, dichos componentes son: escurrimiento superficial, transito de caudales y embalse.

Cada uno modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca comúnmente referida como una subcuenca, además pueden representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o embalse.

Asimismo la representación de cada uno requiere de un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. Finalmente el resultado del proceso del modelaje son los hidrogramas de escurrimiento directo para varias sub áreas y los hidrogramas del caudal en lugares predeterminados de la cuenca.

#### **3.6.4. OTRAS METODOLOGÍAS**

Otra metodología es la identificación en el campo de indicadores de altura de agua durante la inundación que, junto con las características geométricas de la sección del sitio, son usados en cálculos hidráulicos estándar para estimar los picos de caudal.

### **3.7 APLICACIONES**

En la planeación y diseño hidrológico de los sistemas de colectores pluviales, es aplicable el método racional. Pero antes de hacer uso del método es necesario revisar algunos tópicos relativos a estos sistemas que se refieren a:

- ✓ *Trazo o configuración*, es decir la selección de la localización o distribución de la red de tuberías, el cual requiere de un análisis de muchos aspectos subjetivos y por ello se deben estudiar diferentes alternativas.
- ✓ *Normas de seguridad con respecto a otras instalaciones subterráneas, referente a distancias mínimas a tuberías subterráneas*, esto con el fin de minimizar el potencial de contaminación con respecto a las tuberías de drenaje sanitario y el peligro por humedecimiento por inducido por fugas en tuberías de abastecimiento de agua potable.

- ✓ Consideraciones y restricciones básicas en el diseño.

Una vez revisado los puntos anteriores, se puede entrar al método racional haciendo uso en:

- ***Subdivisión de cuencas.***

Para su aplicación al diseño hidrológico de los colectores pluviales, conviene hacer las observaciones siguientes en relación con las subcuencas ( $A_j$ ) y el tiempo de concentración ( $T_c$ ).

Indicar en los planos topográficos de las cuencas urbanas las *microcuencas parciales* que corresponden a: zanjas de evacuación o conducción de los escurrimientos, colectores pluviales o tuberías de alcantarillado, todos los causes y ríos que cruzan el área urbana y el resto de elementos del sistema de drenaje urbano como estanques de detención y retención.

Dichas microcuencas forman las subcuencas, las cuales integran elementos del drenaje urbano que fluyen hacia un cauce o río formando un sistema asociado a este; a su vez las subcuencas integran la cuenca.

Su aplicación para estimar el gasto pico, restringe que la cuenca urbana sea pequeña y relativamente homogénea en sus usos de suelo; esto debido a que se han observado dos tipos de áreas impermeables: *directamente conectadas* donde el escurrimiento de las áreas impermeables como calles y estacionamientos llega directamente a un sumidero de un colector o a un canal o zanja de drenaje sin atravesar terrenos permeables. E *indirectamente conectadas* donde su escurrimiento fluye a través de zonas permeables.

- ***Estimación del tiempo de concentración.***

Con respecto al tiempo de concentración se presentan dos casos:

- ✓ Cuando existen diversas trayectorias factibles para el flujo de un sistema de alcantarillado, se debe buscar el  $T_c$  máximo para asegurar que toda la cuenca contribuye al gasto máximo.

- ✓ Y el Tc de cualquier punto de una red de colectores, que es la suma del tiempo de entrada (te) o lapso que tarda el agua en llegar desde el punto mas lejano hasta una estructura de entrada o pozo de inspección y el tiempo de viaje del flujo (tv) en las tuberías de aguas arriba conectadas con las que se analiza y se expresa como:

*Tiempo de concentración = tiempo de entrada + tiempo de viaje de flujo.*

- ***Diámetro de las tuberías.***

Una vez estimado con el método racional, el gasto máximo Q que entrará a la tubería, su diámetro D necesario para transportar el gasto a tubo lleno y fluyendo por gravedad, se puede estimar mediante la formula de Manning:

$$Q = a * V = a * \left(\frac{1}{n} R^{2/3} * S_f^{1/2}\right) \text{ ----- (33)}$$

Donde:

Q=gasto máximo, en l/s.

a =área de la tubería en m<sup>2</sup>, igual a  $\pi D^2/4$ .

V=velocidad del flujo uniforme, en m/s.

n=coeficiente de rugosidad de manning.

R=radio hidráulico en m, coeficiente del área entre el perímetro mojado, igual a: D/4.

S<sub>f</sub>= pendiente de fricción del flujo, igual a la pendiente de la tubería (S<sub>0</sub>).

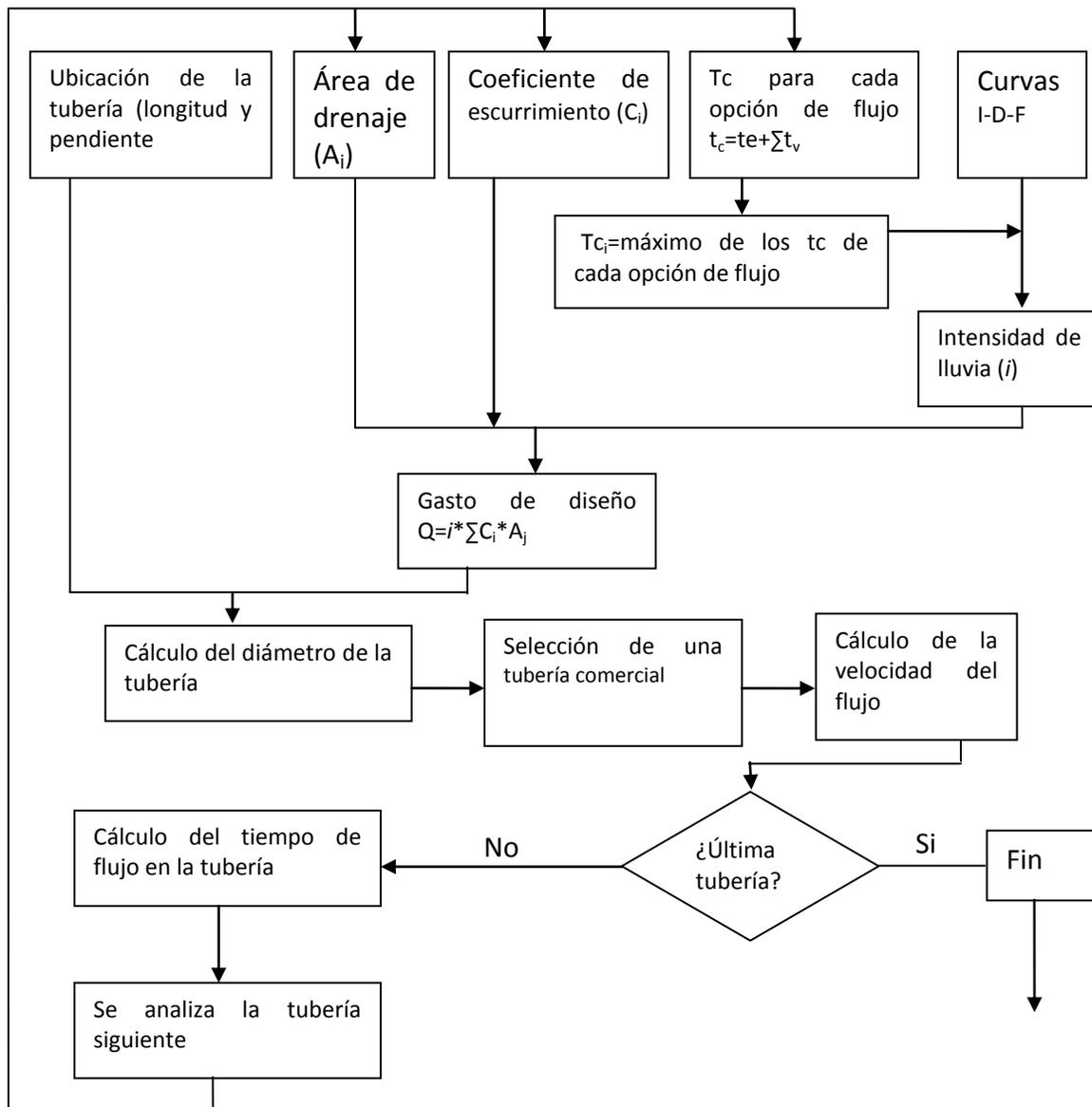
Al sustituir a, R y S<sub>f</sub>, se puede despejar y obtener D en cm:

$$D = \left(\frac{691.22 * Q * n}{\sqrt{S_0}}\right)^{3/8} \text{ ----- (34)}$$

Y finalmente se selecciona el diámetro comercial.

• **Algoritmo de cálculo.**

Tomando en cuenta los tiempos de viaje en cada tubería, se ha establecido un diagrama de flujo del algoritmo de diseño hidrológico e hidráulico de un sistema de alcantarillado pluvial a través del método racional, representado de la siguiente manera:

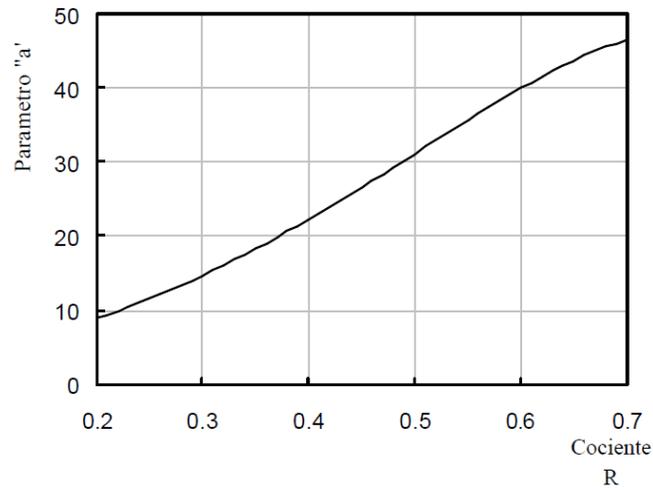


Esquema 1. Algoritmo para el diseño de un sistema de colectores pluviales.

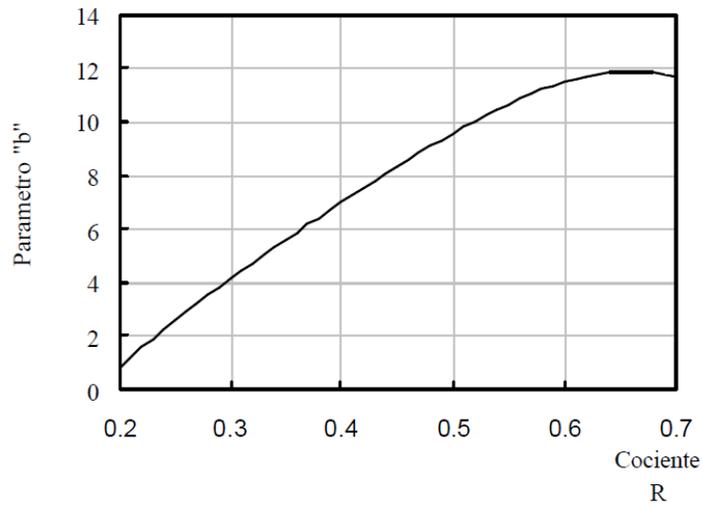
# **ANEXO A**

**GRAFICAS DE CHEN (PARAMETROS  $a$ ,  $b$  y  $c$ . Ecuación 1)**

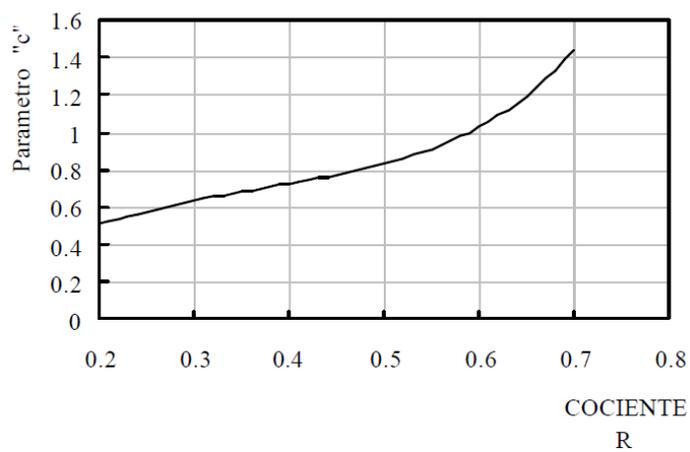
GRAFICA  
PARAMETRO REGIONAL "a"



GRAFICA  
PARAMETRO REGIONAL "b"



GRAFICA  
PARAMETRO REGIONAL "c"



## IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Las inundaciones se han convertido en una problemática ambiental muy común y frecuente, puesto que casi siempre han estado presentes en la vida del hombre, en la sociedad y en la evolución de las ciudades.

Como es de saberse, en la mayoría de los casos la inundación es causada por lluvias en exceso, condición topografía del terreno y desbordamiento de cuerpos de agua, salvo en los casos como los maremotos y rompimiento repentino de presas, que tristemente han traído grandes consecuencias. Pero en otros casos también son causados por falta de infraestructura y un desarrollo urbano desorganizado, en este último caso se identifican principalmente: la carencia de planes de ordenamiento urbano y ecológico; así como la ocupación desordenada y sin autorización de los cauces, zonas federales y zonas inundables.

Es por ello que el hombre se ha visto en la necesidad de buscar soluciones ante este gran problema que cada vez cobra más vidas y daños económicos, esto quizás sumado a causa de un problema que nos afecta en la actualidad, el calentamiento global, el cual ha sido parte en la intensidad de la magnitud de este desastre, aunado a la intervención humana.

Es así entonces que para llevar a cabo acciones que ayuden a brindar protección, combatir y reducir los daños causados por este desastre, es indispensable emprender ciertas medidas de protección, las cuales dependerán del origen y la magnitud de la inundación. Asimismo en la selección del valor de diseño dependen de dos factores importantes, el costo y la seguridad, sin embargo la decisión óptima para el diseño es aquella que equilibre estos dos factores.

Por ello actualmente se puede contar tanto con **medios estructurales**, así como los **no estructurales (instituciones)**, que dan protección o reducen los riesgos de inundación.

#### 4.1 MEDIDAS ESTRUCTURALES

Estas se refieren a la construcción de obras de protección que permitan prevenir y mitigar los daños provocados. Por lo general son obras de retención, almacenamiento, modificaciones a cauces tales como canalizarlo o entubarlo y construcción de bordos o muros de encauzamiento.

De acuerdo a lo antes señalado, para implementar las medidas urgentes a fin de prevenir, controlar, disminuir o bien tratar de eliminar en su totalidad las inundaciones, se sugieren y recomiendan llevar a cabo medidas de protección como las que se proponen a continuación, las cuales serán de gran ayuda a zonas urbanas. Aunque cabe aclarar que no son en su totalidad, pero si las principales e importantes y que sus resultados y buen funcionamiento dependerán de su adecuada construcción, operación y mantenimiento:

- ✚ *Construir Presas o embalses para el control de crecientes:* Con el fin de atenuar los efectos del volumen y la velocidad de escurrimiento; esto debido al efecto regulador que tiene su vaso o embalse, ya que conforme entra el volumen de la creciente, este se acumula en toda el área del vaso arriba de la cresta del vertedor llegando a un máximo desde el cual comienza a vaciarse. Este efecto de almacenamiento hace que el gasto máximo del hidrograma se reduzca, de manera que entra un gasto máximo elevado y sale uno reducido.
  
- ✚ *Mantenimiento, mejoramiento y modificaciones a canales y ríos:* Esto ayudara a incrementar la capacidad y aumentar la velocidad de flujo, o bien lograra los dos efectos simultáneamente, y se podrá mantener toda el agua dentro del mismo, excepto en crecientes extraordinariamente altas.

Las modificaciones que se recomiendan realizar a canales son: dragarlo para que sea más ancho y profundo, limpiar la vegetación u otros residuos, emparejar el lecho o las paredes, y enderezarlo; todo esto ayudará a aumentar la velocidad del agua que pasa por el sistema. Al enderezarlo, eliminando los meandros, se reduce el riesgo de que el agua rompa la orilla en la parte exterior de las curvas, donde la corriente es más rápida y el nivel es más alto. Otra modificación que puede hacerse a canales y ríos, es el encauzamiento, el cual evitará rompimiento y desbordamientos durante una creciente. El mejoramiento del canal puede aliviar los problemas causados por las inundaciones en el área tratada. Una desventaja de esto, esta en que se generan gastos máximos aguas abajo, lo que desafortunadamente puede transferir el problema a otra parte.

- ✚ *Edificar Bordos de protección o diques (gaviones):* Esta estructura es de utilidad para contener el agua de una corriente no dejando que ésta salga e inunde las zonas aledañas, o bien, una vez que el escurrimiento del río ha sobrepasado la capacidad de conducción de la corriente y se ha desbordado, no alcance una determinada zona lejana, causando daños menores.
  
- ✚ *Incrementar Plantas de bombeo a las ya existentes en sitios necesarios:* asegurando su buen funcionamiento y proporcionándoles mantenimiento constante para operar al 100 %, con ello se pretende asegurar el flujo de aguas en canales y ríos, evitando que el agua estancada genere desbordamientos y por ende daños por inundación que se pueda generar.
  
- ✚ *Construir cauces de alivio en lugares estratégicos:* también llamados desvíos de caudales altos o vertederos. Son canales de desvío naturales o artificiales o bien conductos, que son de gran utilidad para enviar las aguas fuera de los centros urbanos o áreas pobladas de alta densidad. Posteriormente en otro lugar estratégico el agua puede ser devuelta a un río o bien a donde se originó, por ejemplo el Túnel Emisor Oriente en el Distrito Federal.

- ✚ *Construir depresiones de detención artificiales:* Se emplean cerca de las áreas urbanas para interceptar y recolectar el flujo antes de que llegue al río; también son efectivos para reducir los caudales picos. Una ventaja es que permiten que se asienten los sedimentos suspendidos, que de otra manera fluirían hacia el canal. Sin embargo, una desventaja es que pueden convertirse en hábitats para los vectores de las enfermedades. Se pueden construir de forma artificial y en lugares estratégicos donde la topografía del terreno lo permita, generalmente son pequeños embalses.
- ✚ *Construir estanques de detención:* Son de gran ayuda para mitigar los efectos del incremento en los gastos máximos causados por el desarrollo urbano. Pueden ser estanques secos y con almacenamiento, superficiales y subterráneos, ubicados sobre la corriente y laterales, locales y regionales o bien en serie e interconectados.

Por otro lado en muchas localidades no se realiza la diferenciación entre drenaje sanitario y pluvial y todo el material recolectado es concentrado al mismo destino causando que todos los tipos de desechos se junten. Asimismo muchos sistemas de drenaje urbano construidos bajo un cierto nivel de urbanización, operan hoy en día bajo niveles de urbanización mayores, por lo cual tienen una capacidad inadecuada.

Es por ello que una de las estructuras más importantes para la preservación y el mejoramiento de aguas urbanas, es un sistema de drenaje de aguas lluvia que funcione adecuada y correctamente, por ello se recomienda:

- ✚ *Mantenimiento al sistema de Drenaje sanitario urbano:* Se recomienda dar mantenimiento y un monitoreo constante para detectar cualquier falla u obstáculo que pudiera causar un mal funcionamiento; por ejemplo, realizar limpieza a sus diferentes componentes y así evitar acumulación de sedimentos.

En el caso de que se vaya a planificar desde un inicio, se exhorta a realizar un diseño que abarque todas las condiciones que pudieran afectar.

- ✚ *Diseñar un adecuado sistema de Drenaje pluvial:* El objetivo es disminuir al máximo los daños que las aguas de lluvia pueden ocasionar a la ciudadanía y las edificaciones en el entorno urbano, evacuando las aguas pluviales que escurren sobre calles y avenidas, evitando con ello su acumulación. También es primordial garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las ciudades, permitiendo así un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de las lluvias, reduciendo en lo menos posible la interrupción de las actividades.

Este sistema deberá estar constituido por una red de conductos e instalaciones complementarias que permiten una adecuada operación, mantenimiento y reparación del mismo.

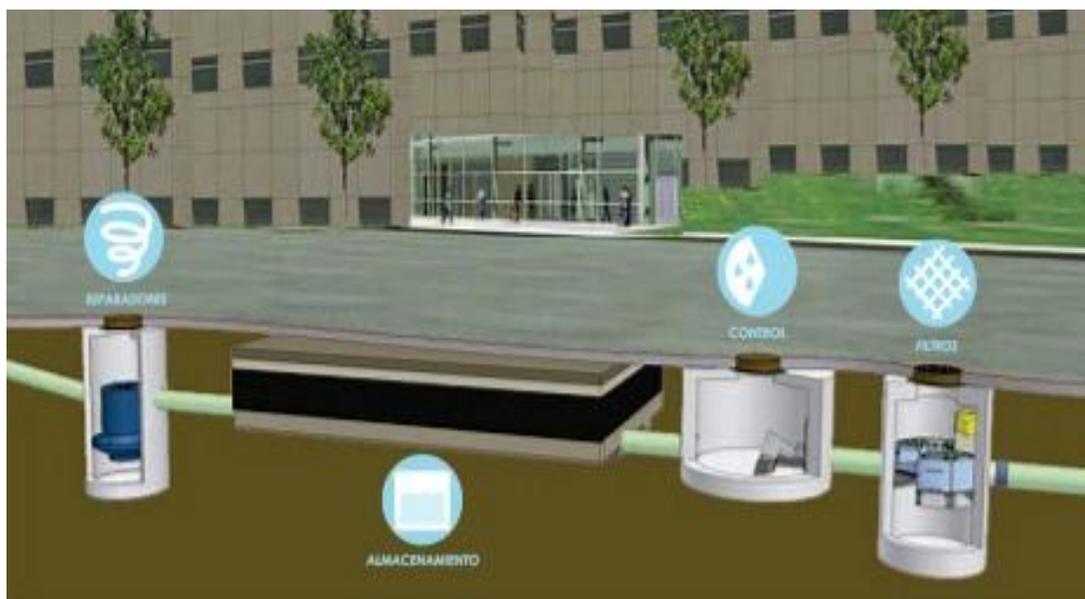
Asimismo para el diseño se deberán tener presentes cada una de las consideraciones de diseño, especialmente el gasto de diseño ya que de este valor depende la selección del diámetro de las tuberías, tomando muy en cuenta las condiciones climáticas, tal es el caso de las precipitaciones extremas.

Captar y aprovechar el agua de lluvia también es una solución para mitigar inundaciones, ya que se puede controlar y almacenar el escurrimiento pluvial, evitando que se saturen drenajes y que aumenten el flujo de agua en zonas urbanas causando los efectos que se repiten cada temporada de lluvia y que resultan ser catastróficos para la población, por ello también es conveniente:

- ✚ *Utilizar Sistemas para la prevención de inundaciones y manejo sustentable del agua aprovechando el agua de lluvia:* si se realiza una correcta gestión del agua de lluvia puede ser una solución para mitigar los efectos ocasionados por las inundaciones; además se puede tener agua de calidad en tiempo de sequía.

Sin embargo, para utilizar el agua de lluvia en entornos urbanos y para evitar que contamine ecosistemas vulnerables y las reservas subterráneas, se deben separar los contaminantes y aceites que arrastra el primer escurrimiento pluvial.

Actualmente existe un sistema llamado *Soluciones Hidro-pluviales* que ofrecen equipos que ayudan a mitigar los daños ocasionados por inundaciones; además de que aseguran la calidad y disponibilidad del agua para reutilizarla en lavado, sanitarios, recarga de acuíferos y riego, entre otros.



**Fig. 26** Imagen que muestra un sistema que ayuda a amortiguar los daños ocasionados por inundaciones, y aseguran la disponibilidad y calidad del agua.

Soluciones Hidro-pluviales, “SISTEMAS QUE AYUDAN A AMORTIGUAR LOS DAÑOS OCASIONADOS POR INUNDACIONES, Y ASEGURAN LA DISPONIBILIDAD Y CALIDAD DEL AGUA”.

Imagen tomada del sitio: <http://www.hidropluviales.com/>

Fecha de actualización: Miércoles, 05 de septiembre de 2012

Dichos equipos aprovechan el escurrimiento pluvial antes de que ocasione problemas, permitiendo:

- ❖ Su desalojo eficiente de superficies como techos o suelos.
- ❖ Detener y retener el agua permitiendo una descarga controlada.
- ❖ Retirar basura y contaminantes del flujo, evitando saturación de redes y contaminación de cauces, así como asegurando que el agua está limpia para recargar acuíferos.
- ❖ Proteger a la población y sus propiedades de las consecuencias de las inundaciones.
- ❖ Optimizar el sistema de drenaje pluvial previniendo su saturación.

El proceso completo para gestionar el agua de lluvia es por medio de:

- ❖ *Separadores* que remueven los contaminantes arrastrados por el escurrimiento pluvial.
- ❖ Sistemas de *almacenamiento* que permiten retener y detener el agua de lluvia para su posterior proceso y utilización para infiltración, tratamiento y reutilización.
- ❖ *Controladores* que regulan el flujo del agua de lluvia para prevenir inundaciones, y evitan la erosión y el desbordamiento de los ríos.
- ❖ *Filtros* que aíslan sedimentos, basuras, arrastres, grasas y aceites.
- ❖ *Barreras* que permiten prevenir los daños producidos por inundaciones. Estos sistemas son desmontables y reutilizables para proteger a las personas, sus propiedades y terrenos.

Hacer uso de la tecnología ingenieril para implementar **técnicas de reducción del escurrimiento** para volver más permeable las ciudades, resultaría una ayuda muy importante con respecto a la infiltración del agua, ya que la mayoría de los suelos en zonas urbanas están transformados actualmente en pisos de concreto impermeable. Entonces lo que se pretende es mantener las características del escurrimiento generado por las nuevas condiciones urbanas, parecidas como sea posible a las que tenía antes del desarrollo, es decir, realizar una conversión de tal forma que las superficies impermeables pudieran ser transformadas en permeables, similar a un terreno natural. En la actualidad esto es posible ya que se cuenta con:

- ✚ “Sistemas para la recuperación y aprovechamiento del agua pluvial por medios de pisos y pavimentos porosos 100 % permeables”: Esto es posible gracias a que en la actualidad existen ciertos concretos permeables comerciales, tal es el caso del ECOCRETO® y el HIDROCRETO®.

El uso de pavimentos permeables, con los sistemas constructivos adecuados permitirá ayudar a mantener nuestro medio ambiente en mejores condiciones, con la ventaja adicional de que se puede utilizar en aplicaciones de uso común como son calles, plazas, banquetas, estacionamientos, etc.

Además este sistema hace posible que el agua de lluvia se infiltre al subsuelo, ayudando así a la recarga de los mantos acuíferos de las ciudades y proporcionando otras ventajas que los pavimentos comunes no tienen, como son la eliminación de charcos y baches.



**Fig. 27** Imagen que muestra un sitio permeable a base de un sistema de pavimento poroso, lo que ayudará a reducir el escurrimiento en calles y saturación del drenaje.

Construcción y Tecnología en el concreto, “ESTACIONAMIENTO CON PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE”. México

Imagen tomada del sitio: <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

Fecha de actualización: Domingo, 30 de septiembre de 2012

Entre las ventajas de su uso, las principales son:

- ❖ Todas las superficies son 100 % permeables
- ❖ Se eliminan los charcos.
- ❖ Permite la reducción o incluso eliminación los drenajes pluviales.
- ❖ Evita el acuaplaneo de las llantas de los autos.
- ❖ Es compatible con otros materiales usados para pavimentos con el fin de que se logren superficies permeables.
- ❖ Sus bases y sistemas constructivos son más baratos que los de los pisos y pavimentos tradicionales, por lo que el costo final no es más caro.

Además de los pavimentos porosos, existen instalaciones que ayudan a la infiltración de las aguas de tormenta, dentro de las cuales serian de gran ayuda los siguientes:

- ✚ Implementar la construcción de los *cinturones de infiltración* también llamados *franjas filtrantes o áreas empastadas de amortiguamiento*: contruidos alrededor de edificios o áreas comerciales donde hay vegetación densa, con el fin de inducir la infiltración.
- ✚ *Subdrenes de percolación (drenes enterrados)*: útiles para infiltrar el agua procedente de las bajadas de aguas pluviales de diferentes techos.
- ✚ *Filtros de arena y poso seco*: de gran ayuda para retener contaminantes solidos antes de llevarse a cabo la infiltración, con lo que se reduce la cantidad de sedimentación en el drenaje común.
- ✚ Construir en sitios indispensables *Trincheras*: útil para reducir el escurrimiento a través de su trinchera de roca que genera la infiltración.

- ✚ Diseñar estanques de infiltración: indispensable para controlar una pequeña porción de agua de tormentas, generalmente en zonas comerciales, estacionamientos y parques industriales.

Por otro lado también es beneficioso:

- ✚ *Realizar actividades que ayuden a reducir o demorar el flujo de agua y aumentar la infiltración:* Formara parte de una alternativa al reducir el riesgo de inundación. Las actividades que se pueden realizar son: aumentar la cubierta vegetal especialmente en las pendientes, controlar la erosión de los arroyos, sembrar plantas junto a las orillas de los ríos y canales.

Ahora bien, es importante destacar que las obras ingenieriles que se usan para coleccionar, transportar y eliminar las aguas de tormenta en ciudades, son muy costosas y frecuentemente su construcción origina la suspensión de todos los servicios en zonas grandes de la ciudad.

Por otra parte, a pesar del gran esfuerzo realizado en construir obras de defensa, se ha visto que cada año a nivel nacional y mundial los daños siguen. Ante esta situación se ha considerado no solo tomar medidas estructurales sino también las de gestión.

## **4.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES**

La finalidad es informar oportunamente a las poblaciones de la ocurrencia de una posible avenida, para evitar riesgos y minimizar daños. Así como seguir implementando medidas que incluyen: los reglamentos de usos del suelo, ordenanzas sanitarias y de construcción mediante zonificación; las alertas oportunas, información sobre medidas de prevención, sistemas de monitoreo, programas de comunicación social y de difusión.

Para poder aplicar estas medidas, primeramente debe existir control sobre el uso del terreno, y por lo tanto, es una cuestión institucional.

Esto puede resultar efectivo siempre y cuando el gobierno sea capaz de diseñar e implementar el uso adecuado del terreno, para ello en el caso de México crear una Secretaría de ordenamiento territorial.

✚ *Reglamentación del uso en terrenos aluviales:* Esto resulta beneficioso en el caso de las ciudades que tienen un cauce cerca, el objetivo es prohibir, regular o controlar el desarrollo en la zona aluvial y proteger las estructuras existentes, a fin de reducir la posibilidad de que sufran pérdidas debido a la inundación.

Al igual que toda medida preventiva, son menos costosas que el tratamiento, es decir, la instalación de las medidas estructurales necesarias para controlar las inundaciones. Lo mejor es mantener los terrenos aluviales sin desarrollo, es decir, como áreas naturales de desbordamiento.

Al destinar el terreno a la agricultura, los parques y las áreas de conservación, se protege la zona aluvial y se previenen los daños causados por las inundaciones. Es importante implementar medidas para prohibir las actividades en estas áreas que puedan reducir su capacidad de almacenamiento de agua como las tierras húmedas.

Por su parte las ordenanzas sanitarias y de construcción pueden:

- ❖ Prohibir la eliminación de las aguas negras y los materiales tóxicos o peligrosos, requerir que las estructuras tengan protección contra inundaciones, y rechazar la construcción de los edificios y caminos privados que puedan agravar los efectos de las inundaciones.
- ❖ Reducir el riesgo de los problemas de salud, que se originarán de la contaminación del agua potable luego de una interrupción en los sistemas de alcantarillado, a causa de la inundación.
- ❖ Prohibir la instalación de sistemas de absorción por el suelo (tanques sépticos, campos de absorción, etc) o requerir un permiso para su instalación.

- ❖ Especificar los requerimientos estructurales de los edificios nuevos, para reducir su vulnerabilidad a la inundación y disminuir los riesgos sanitarios y de seguridad para los ocupantes, por ejemplo reglamentos en cuanto a instalaciones eléctricas y elevación de los pisos; y reducir al mínimo el grado en que el edificio impida el flujo de las aguas.

Sin embargo, si existe desarrollo en la zona aluvial, se deberá utilizar control no estructural, conjuntamente, con las medidas estructurales.

- ✚ *Respetar la zonificación implementada por el gobierno:* Si se cumple esta normatividad, el porcentaje dedicado al área libre, contribuirá al proceso de infiltración, lo que disminuirá la cantidad de escurrimiento en calles y sistema de drenaje.

- ✚ *Manejo y análisis de planicies de inundación:* El objetivo es efectuar una demarcación de una llanura de inundación, para minimizar los daños a la infraestructura urbana y reducir el peligro para la vida humana cuando ocurran tormentas severas que originen crecientes; sabiendo de antemano que son zonas inevitablemente propensas a inundación.

Es recomendable establecer restricciones y lineamientos sobre como aprovechar o desarrollar estas áreas para que no sean ocupadas antes por la población, y finalmente vigilar que tales limitaciones se respeten.

Cuando estas áreas ya han sido invadidas por la población, lo que puede hacerse es emprender protección mediante medidas estructurales como diques y muros y así trasladar el peligro a otra zona no habitada.

- ✚ *Crear un pronóstico de crecientes:* es decir, un área en expansión para la aplicación de técnicas hidrológicas; cuyo objetivo es obtener información en tiempo real de precipitación y caudales a través de radio o comunicación vía satélite, utilizando la información en programas de lluvia escurrimiento y transito de caudales, pronosticando los caudales de crecientes y niveles de agua.

Esto se puede utilizar para alertar a la población con el fin de evacuar áreas con amenaza de inundación, a su vez ayudando al personal encargado del manejo de aguas en la operación de estructuras para el control de inundaciones, tales como vertederos con compuertas en embalses.

- ✚ *Utilizar los sistemas de alerta temprana:* con ayuda de información en tierra y satélites, se podrá anticipar sobre el riesgo de una inundación y con ello ayudar a tomar la mejor decisión respecto a qué casas habría que evacuar primero en caso de crisis, o qué carreteras son las mejores para la circulación de bienes y personas en estado de emergencia. De gran utilidad en caso de un maremoto.
- ✚ *Apoyar a la población en cuanto a capacitación para enfrentar adecuadamente, los peligros de inundaciones:* esto no eliminara del todo este desastre, sin embargo lo que se pretende es que la ciudadanía tenga un conocimiento y saber como reaccionar ante este fenómeno.
- ✚ *Fomentar una cultura ante la población sobre el manejo adecuado de la basura:* con objeto de prevenir la obstrucción del sistema de drenaje y también evitar la acumulación de basura en canales y ríos que disminuyen su capacidad de flujo y almacenamiento.
- ✚ *Ampliar e intercambiar información sobre métodos y procedimientos para combatir las inundaciones especialmente entre los países con cuencas similares:* con ello poner en práctica mejores y sofisticados métodos implementados en otros lugares, que ayuden a mitigar los daños en los lugares carentes de métodos.
- ✚ *Poner en marcha programas de atención médica oportuna:* sumado a campañas de vacunación e implementar acciones como barrer las calles, fumigar y abatizaciones (aplicar larvicidas), para evitar la proliferación del mosquito del paludismo que origina los brotes de epidemias (dengue).

- ✚ *seguro contra inundaciones*: la mayoría de la población expuesta ante un riesgo como este, es de escasos recursos y una opción como esta será de gran ayuda para recuperar sus pertenencias.
- ✚ *Reubicación de viviendas y actividades situadas en áreas de alto riesgo ante una creciente*: con ello dedicar esas zonas a superficies permeables.

De acuerdo a lo antes escrito, pueden existir otras alternativas como las que se describieron anteriormente e incluso soluciones tecnológicas que no se conocen aun, pero que se han puesto en práctica y que pueden ayudar a mitigar los daños ante una inundación.

Todo dependerá si se llevan a cabo y si su funcionamiento y operación es correcto. Han ocurrido casos en que se pudo haber evitado este desastre, sin embargo las negligencias y otros factores más fueron los causantes. Generalmente el problema no es la falta de infraestructura sino la corrupción, soluciones hay muchas.

A pesar de ello, la lucha del hombre por tratar de mitigar los daños ante este desastre ha sido constante, y ha puesto en práctica sus recursos que tiene a su alcance. Sin embargo hay ocasiones en que el hombre no puede luchar contra la fuerza de la naturaleza ni mucho menos predecir algunos fenómenos naturales; tal es el caso de los maremotos, que en su ocurrencia han dejado enormes daños y cobrado miles de vidas.

Aunque parezca absurdo el hecho de buscar una solución ante una inundación originada por un maremoto, primeramente se tendría que predecir su aparición, cosa que hasta la fecha no se ha logrado.

Lo que si es posible es que una vez que un terremoto ya ha empezado, los dispositivos de alerta temprana pueden proporcionar una advertencia de pocos segundos antes de que los principales temblores lleguen a un lugar determinado. Esto ayudara quizás a evacuar lugares segundos antes de que se produzca el maremoto.

## V. CONCLUSIONES

Después de haber realizado el presente trabajo, se ha llegado a lo siguiente respecto a las inundaciones:

- Son un fenómeno natural.
- Tienen su origen en diversas fuentes, entre ellas:
  - La fuerza y el descontrol de algunos fenómenos hidrometeorológicos, que incluso pueden ser extremos.
  - La intervención del ser humano.
  - La falta de infraestructura.
  - Un desarrollo urbano desorganizado.
- Contrario a lo que se piensa, ocurren tanto en zonas bajas como altas.
- También tienen ocurrencia en zonas costeras y aledañas a cuerpos de agua que posteriormente pueden generar una crecida.
- Dentro de los daños más importantes que ocasionan se pueden mencionar, daños a la salud, incluso pérdidas humanas y la destrucción de la infraestructura urbana.
- Se pueden prevenir si se contempla un diseño adecuado de la infraestructura y si se toman en cuenta las medidas y acciones necesarias.
- Pueden ser previsibles si se toman en cuenta las condiciones climáticas y condiciones físicas de la infraestructura.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aparicio Mijares, Francisco Javier, “*Fundamentos de Hidrología de Superficie*”, Editorial Limusa S.A de C.V., 1ra Edición, México, 1989.
2. Campos Aranda, Daniel Francisco, “*Introducción a la Hidrología Urbana*”, San Luis Potosí, 1ra Edición., México, 2010.
3. Campos Aranda, Daniel Francisco, “*Estimación y aprovechamiento del escurrimiento*”, San Luis Potosí, 1ra Edición., México, 2007.
4. Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED), “*Diagnostico De Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México (Atlas Nacional de Riesgos de la Republica Mexicana)*”, 1ra Edición., 1ra Reimpresión 2001, Secretaria de Gobernación, México, 2001.
5. Chow, Ven te; Maidment, David R.; Mays, Larry W., “*Hidrología Aplicada*”, 1ra Edición., Editorial Mc Graw-Hill Interamericana, S.A., Impreso y encuadernado en D´ Vinni Editorial LTDA, Bogotá Colombia, 1993.
6. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), “*Agenda del Agua 2030*”, Editor: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Edición. 2011, México, 2011.
7. Facultad de Estudios Superiores de San Luis Potosí, “*Ingeniería, Investigación y Tecnología*”, México, 2010.
8. Linsley Jr., Ray K; Kohler, Max A; Paulus, Joseph L.H., “*Hidrología para ingenieros*”, Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A., 2da Edición., Bogotá Colombia, 1977. Traducido de la 2da Edición, Editorial McGraw-Hill Inc U.S.A. 1975.
9. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “*Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*”, Perú.

### MEDIO ELECTRÓNICO:

10. Construcciones Ecológicas Sustentables S.A de C.V.; Ecocreto (concreto permeable), “Sistema para la recuperación y aprovechamiento del agua pluvial por medios de pisos y pavimentos porosos”, México. Disponible en: <http://www.ecocreto.com.mx/> (27 de septiembre de 2012).
11. Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), Dirección General de Servicios Técnicos, “Isoyetas de Intensidad-Duración-Frecuencia. República Mexicana”, México 2000. Disponible en: <http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=452> (30 de marzo de 2012).