

Inundaciones

3	Introducción
5	¿Qué es una inundación? Conceptos básicos
11	¿Porqué ocurren las inundaciones?
13	El ciclo hidrológico
15	Clasificación de las inundaciones De acuerdo con su origen Por el tiempo de respuesta de la cuenca
27	Mitigación de daños por inundaciones Medidas estructurales Medidas no estructurales Acciones permanentes Acciones de operación durante la temporada de lluvias
38	Acciones preventivas para Protección Civil
41	Eventos que han generado los mayores daños por inundación en México (1943-2004)
46	Entidades más afectadas por inundaciones
47	Preguntas frecuentes
49	Glosario
51	Bibliografía y referencias

Introducción

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

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

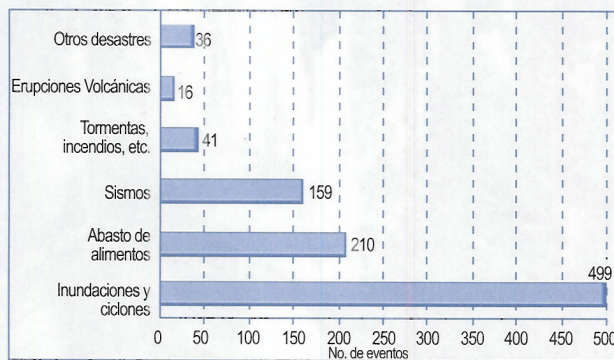


Fig. 1. Número de eventos en los que la Cruz Roja Internacional ha actuado, ayudando a las víctimas, de 1919 a 2004. (Fuente: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies).

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

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

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

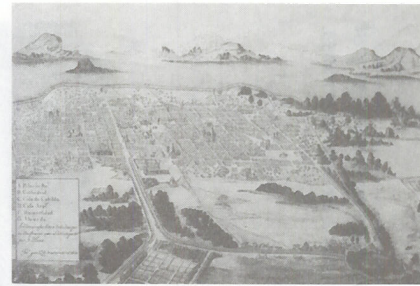


Fig. 2. Forma y levantado de la ciudad de México. Juan Gómez de Trasmonte, 1628 (DGCOH, 1988).

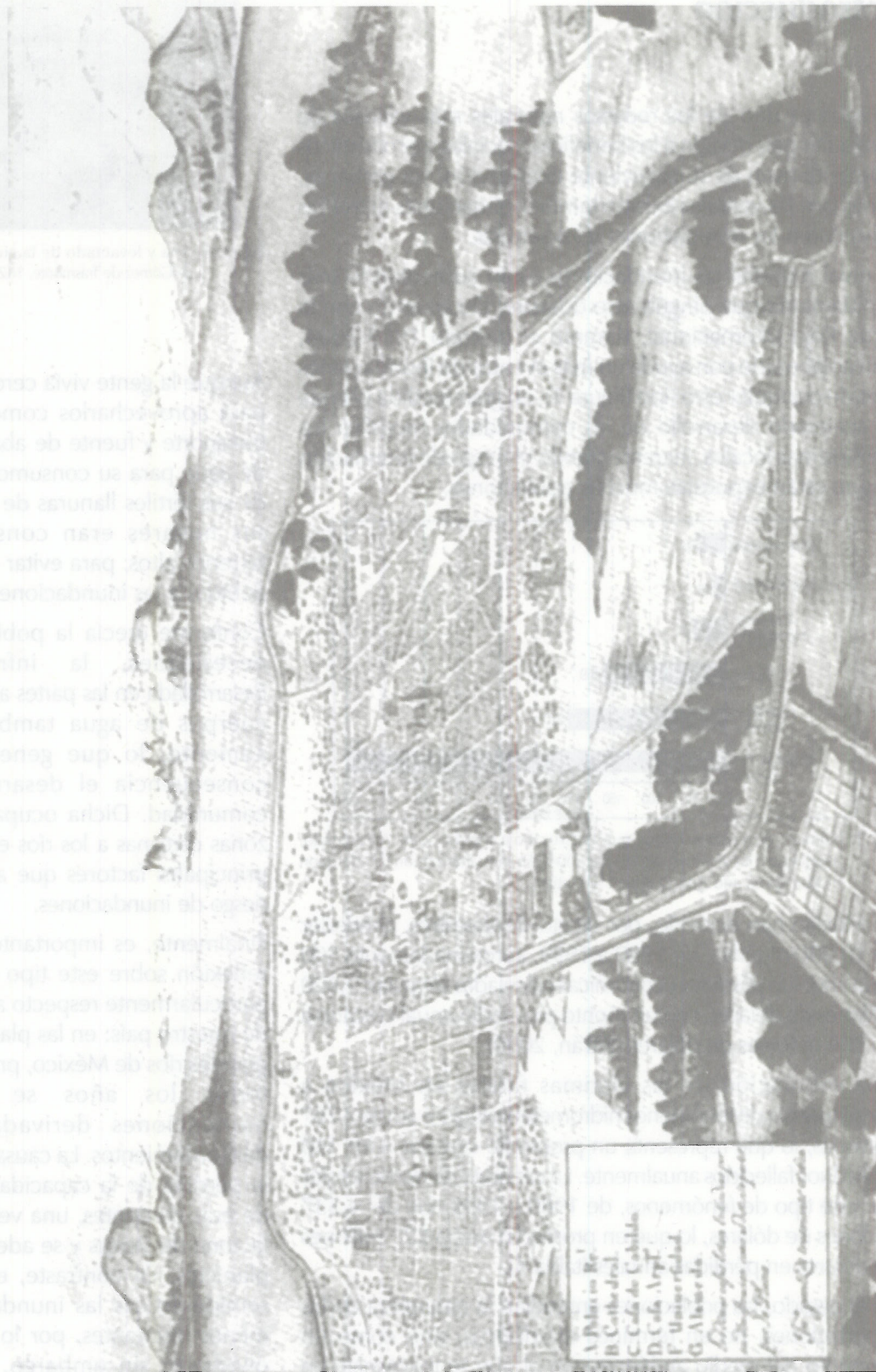
Aunque la gente vivía cerca de los ríos para aprovecharlos como medio de transporte y fuente de abastecimiento de agua para su consumo y el cultivo de sus fértiles llanuras de inundación, sus hogares eran construidos en terrenos altos, para evitar afectaciones debidas a las inundaciones (figura 2).

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

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

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

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



¿Qué es una inundación?

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

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

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



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

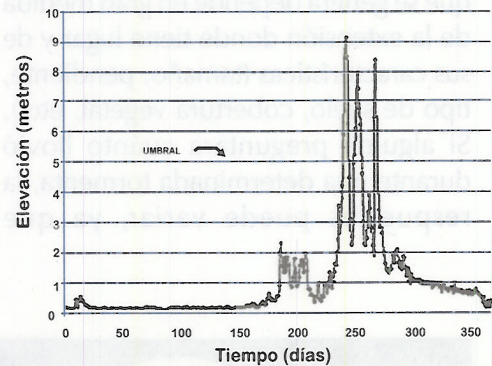


Fig. 4. Registro del nivel del río en una estación hidrométrica (medidora de escurrimiento).

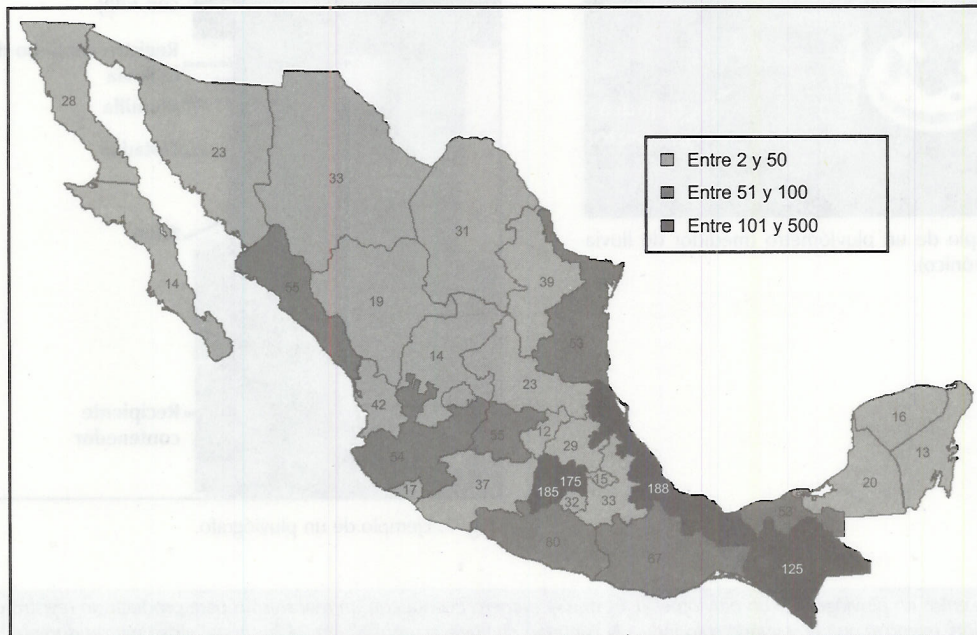


Fig. 5. Inundaciones registradas entre 1950 y 2000. (Fuente: Base de datos del área de Riesgos Hidrometeorológicos, CENAPRED).

Conceptos básicos

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

Lámina de precipitación

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

depende de la medición en cada sitio, de acuerdo con la ubicación que tenga dentro de la zona donde está lloviendo.

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

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

En ocasiones la lluvia se expresa en volumen por unidad de área, normalmente, litros por m², lo cual es equivalente a expresarlo en mm.

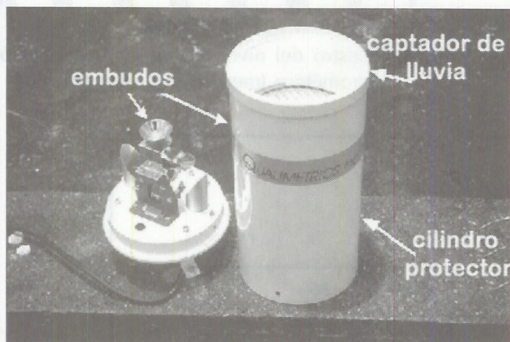


Fig. 6. Ejemplo de un pluviómetro (medidor de lluvia electrónico).

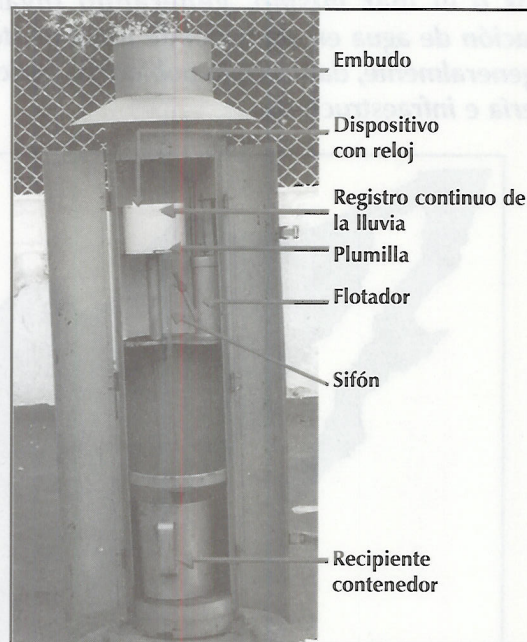


Fig. 7. Ejemplo de un pluviógrafo.

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

Intensidad de precipitación

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

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

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

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

Para las 10 h se tendrá una intensidad promedio de:

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

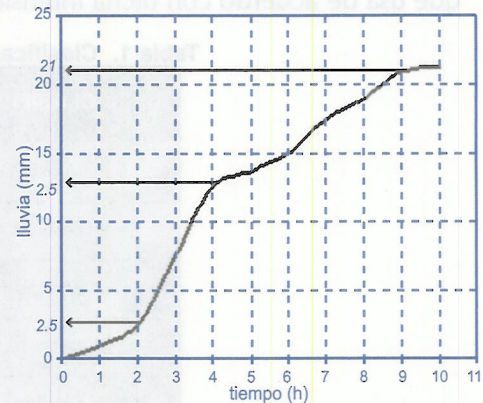


Fig. 8. Tormenta registrada mediante un pluviómetro.

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

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

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

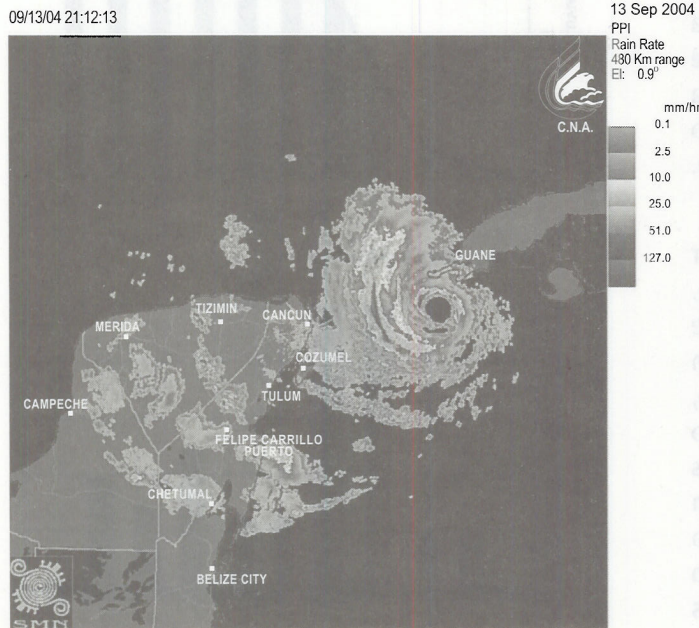


Fig. 9. Imagen del radar meteorológico de Cancún, Q. Roo que muestra al huracán Iván, categoría V en la escala Saffir - Simpson, (fuente: USMN).

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

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

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

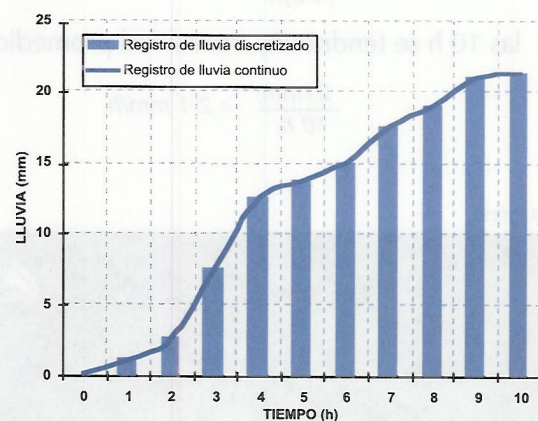
Hietograma

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

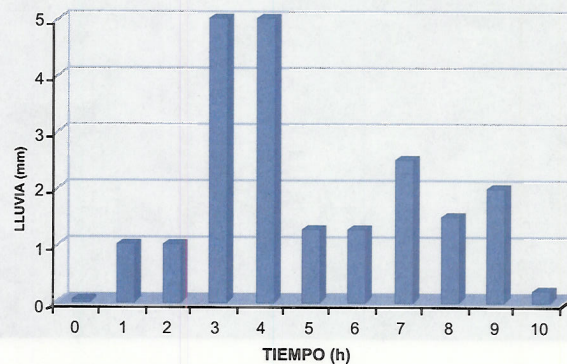
La figura 10a muestra el registro de un pluviógrafo, expresado como lluvia acumulada. Si del registro anterior se mide la lluvia que cae en una hora y se dibuja la precipitación de cada lapso, el resultado es el hietograma mostrado en la figura 10b.

Gasto

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



a) Registro de pluviógrafo



b) Hietograma de la tormenta

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

Hidrograma

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

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

Periodo de retorno (T_r)

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

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

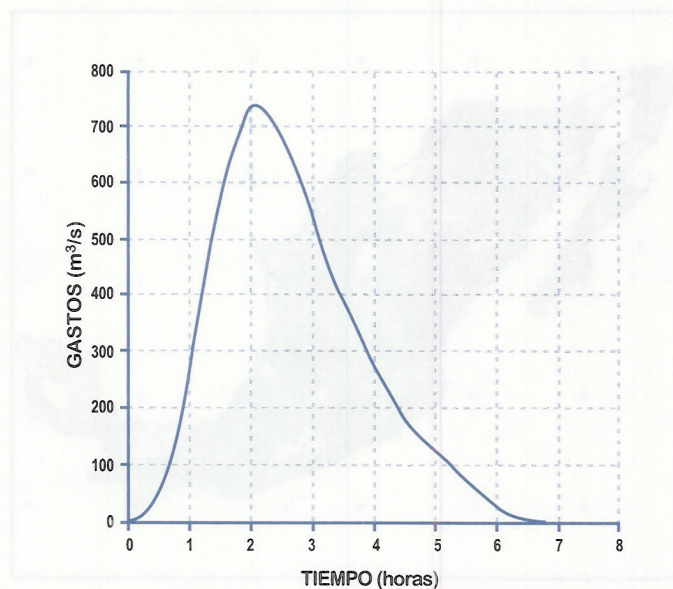


Fig. 11. Ejemplo de Hidrograma.



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

Cuenca

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

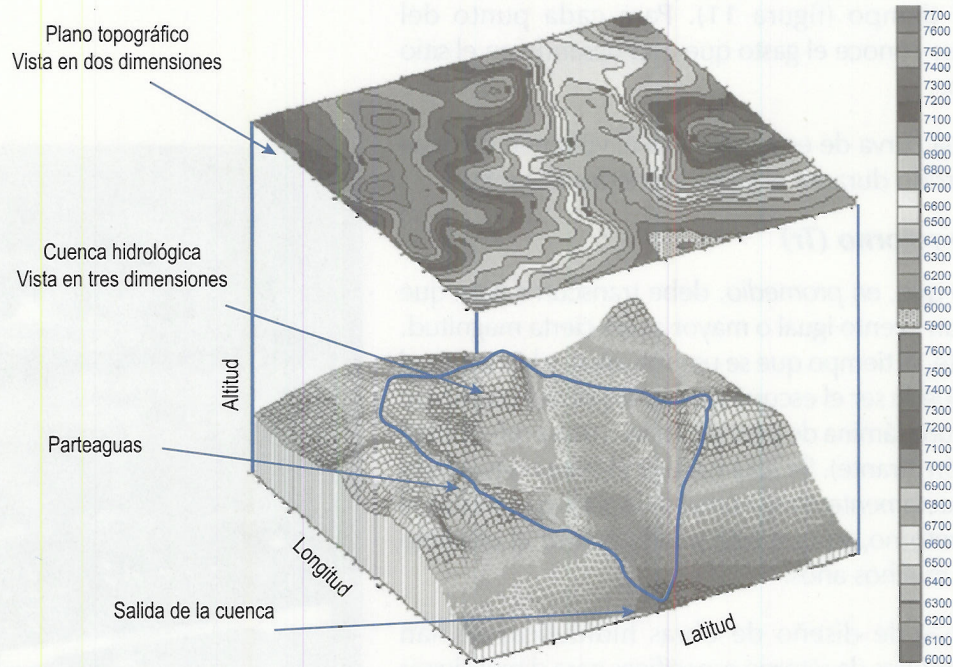


Fig. 13. Representación gráfica de una cuenca hidrológica (Eslava, 2004).

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

Regulación

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

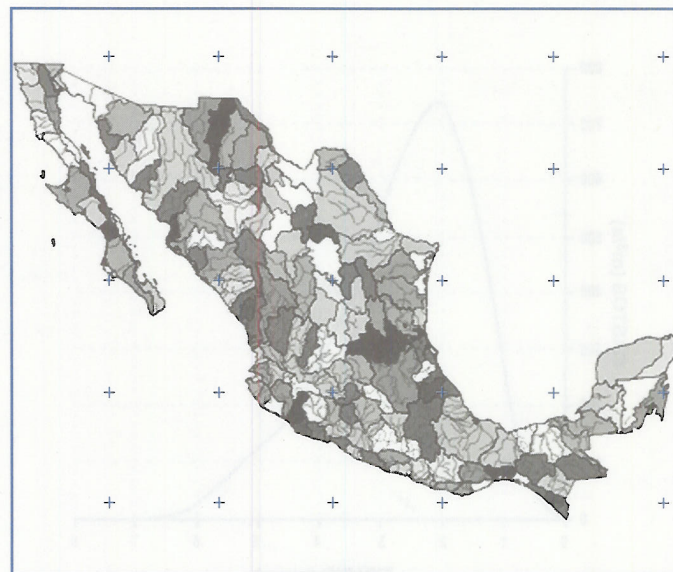


Fig. 14. Cuencas de los principales ríos de la República Mexicana (fuente: CNA).