

1. Objetivo

1.1. Antecedentes

La República Mexicana es afectada por precipitaciones ocasionadas por diferentes fenómenos hidrometeorológicos. En temporada de verano (de junio a octubre) se presentan ciclones tropicales que producen precipitaciones en gran parte del territorio nacional. Por otra parte, durante el invierno los frentes fríos son fuente de las principales precipitaciones.

1.2. Principales tipos de tormentas

El vapor de agua que se condensa en capas altas y frías de la atmósfera, se transforma en nubes. Dependiendo el contenido de vapor de agua en ellas, se condensa en gotas de agua. Al estar suficientemente grandes, aumenta su peso y velocidad, generando su precipitación al suelo.

De acuerdo con los fenómenos que las originan, las lluvias pueden agruparse en:

1.2.1. Ciclones tropicales.

Se originan debido a un gradiente de presión de masas de aire caliente y frío. Debido a la presencia de estos fenómenos que son comúnmente conocidos como depresiones o tormentas tropicales y huracanes en escala de 1 a 5, se pueden provocar tormentas de larga duración y abarcar grandes extensiones. Por lo que pueden ser causa de inundaciones en las principales cuencas del país, principalmente en aquellas que vierten al Golfo de México o hacia el Océano Pacífico.

1.2.2. Lluvias invernales.

Ocurren debido al desplazamiento de frentes de aire frío procedentes de la zona del Polo Norte. Estos frentes desplazan las masas de aire caliente hacia altitudes mayores, provocando su condensación y derivando en precipitación. La zona más afectada por este tipo de fenómenos meteorológicos es la noroeste, donde se originan precipitaciones importantes. Así mismo, afectan la vertiente del Golfo de México, recientemente Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila y en ocasiones inclusive la península de Yucatán.

1.2.3. Lluvias convectivas.

Se generan en lugares donde las masas de aire son calentadas por efecto del calentamiento de la superficie tras absorber los rayos solares. Las masas de aire, se dilatan y elevan hasta la tropósfera, condensándose rápidamente y precipitándose en áreas no muy extensas como ocurre en las distintas delegaciones del Distrito Federal.

1.2.4. Lluvias orográficas.

Las masas de polvo, sílice y aire húmedo chocan contra barreras montañosas, provocando su ascenso y rápido enfriamiento, dando lugar a su condensación y como resultado, precipitándose sobre la región de barlovento de las montañas. El accidentado relieve de la República Mexicana y su ubicación en el globo terráqueo, influyen completamente en las características de la precipitación como muestra la figura:

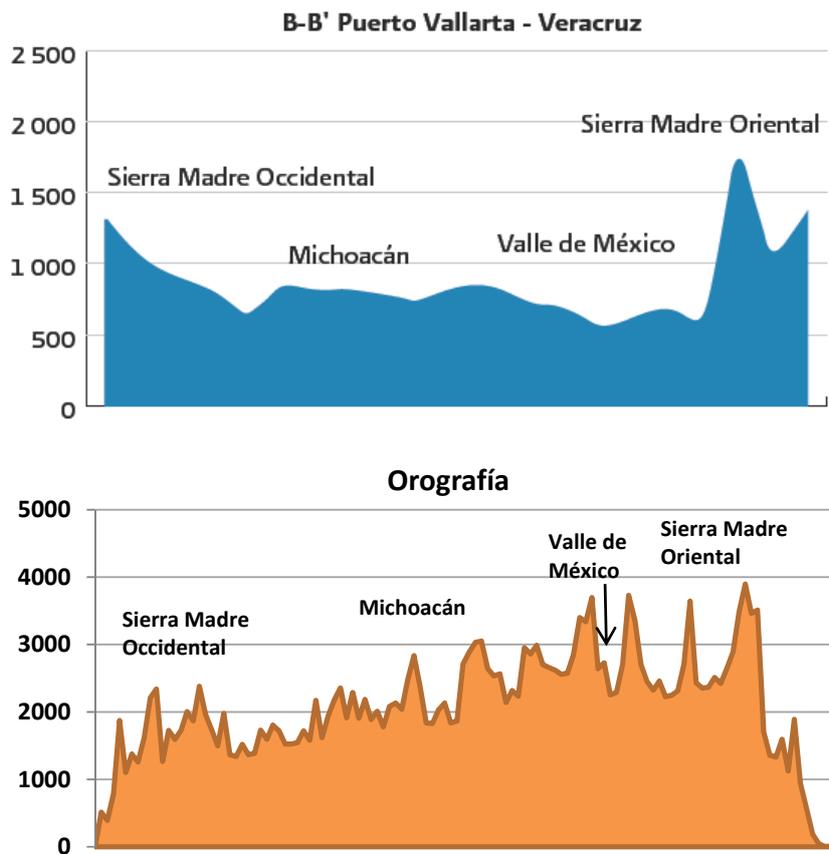


Figura 1.2.4.1. Precipitación media anual en función de la orografía. Tomada de Estadísticas del Agua en México. Edición 2010.

La Figura 1.2.4.1 es un corte “transversal” de la República Mexicana desde el Estado de Jalisco, en Puerto Vallarta hasta el Estado de Veracruz. Por un lado, se muestra que la precipitación va en ascenso de los puntos a nivel del mar hasta encontrar su punto máximo en el contacto con barreras montañosas. A partir de ahí, la cantidad de lluvia disminuye hacia la zona del altiplano, encontrando su valor mínimo de precipitación. Se observa que la zona más cercana al Golfo de México, es aquella que recibe mayores precipitaciones y corresponde con los registros e inundaciones que afectan con regularidad al Estado Veracruz como ocurrió en el 2010.

1.3. Mapas de Precipitación.

El objetivo de los mapas de precipitación es dotar al Ingeniero Civil, de los parámetros necesarios para realizar la predicción de los gastos colectados por una determinada cuenca. De tal manera que le sea posible identificar las obras hidráulicas necesarias para control y mitigación de inundaciones, así como posibles aprovechamientos hidráulicos. Los mapas de precipitación son un conjunto de curvas las cuales se trazan realizando uniones entre los puntos que registran igual precipitación, conocidas como isoyetas. Estos puntos corresponden a los valores de precipitación correspondientes a diferentes periodos de retorno mencionados en la Introducción.

El conocimiento de la cantidad de agua que se precipita o puede precipitarse en determinadas regiones resulta de gran ayuda tanto para el diseño de obras hidráulicas necesarias para una región en estudio, en primer orden; así como para ganadería, agricultura y demás actividades en segundo orden. Es importante aclarar, que el total de la precipitación no será equivalente a un escurrimiento total, este concepto será ampliado en el subíndice 1.4, en la sección de modelos lluvia-escurrimiento.

En este trabajo se estiman mapas de precipitaciones máximas en 24 horas, asociadas a distintos periodos de retorno; sus principales usos son:

1.3.1. Principales Usos de los mapas de precipitación.

En la actualidad, los mapas de precipitaciones máximas tienen como usos básicos:

- a) **Prevención de desastres**, en el cual mediante la comparación del registro que se tiene generado en tiempo real por una determinada lluvia con los valores mostrados en los Mapas de precipitación asociados a un determinado periodo de retorno (por ejemplo 10 años), se pueda clasificar la lluvia como evento extraordinario o no.
- b) **Dimensionamiento de obras hidráulicas**. Se toman valores recomendados por la CNA los cuales arrojan determinado periodo de retorno para el distinto tipo de obra e importancia, y se ubica la lluvia media para dicho periodo de retorno u ocurrencia en una región específica. Con esta información y usando un modelo lluvia-escurrimiento, se puede tener un diseño más confiable y a la vez, económico.
- c) **Conocimiento de la precipitación media de las distintas regiones o cuencas del país**. Se puede verificar niveles de precipitación media para desarrollar actividades como pueden serlo las agropecuarias. Sin embargo, este último fin no es el propio de este trabajo, aunque se menciona como un uso común de éstas herramientas.

Se están considerando lluvias de 24 horas de duración ya que permiten una mejor planeación para la mitigación de impactos de lluvia. En muchas obras hidráulicas, se ha observado que los picos de los hidrogramas (los cuales muestran la variación del gasto en función del tiempo) se presentan en este rango de tiempo. Por ello, estos Mapas permitirán mejoras en el diseño de estructuras de alto y bajo impacto que coadyuvaran a una mejor respuesta ante fenómenos ciclónicos como no ciclónicos, pero esencialmente en atención a los últimos.

1.4. Modelos Lluvia-escurrimiento.

La importancia de los modelos radica en ser la fuente de información primaria para determinar parámetros para el diseño y operación de obras hidráulicas en determinado punto.

Los modelos de lluvia-escurrimiento nacen a raíz de la falta de medición del escurrimiento en muchas partes de la República Mexicana y el mundo entero. Es por ello que los registros de precipitación toman un valor significativo, principalmente porque pese a cualquier modificación en el uso del suelo de una cuenca, los registros pluviométricos difícilmente variarán. Por lo anterior, se han desarrollado métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación puntual.



Los parámetros principales que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento son los siguientes:

- Área de la cuenca.
- Altura total de precipitación.
- Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, corrientes, rugosidad, etc.)
- Distribución de la lluvia en el tiempo.
- Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.

A medida que se incorporan más parámetros a un modelo, esto eleva su complejidad y con ello su exactitud, sin embargo puede derivar en procesos muy largos según el objetivo del estudio.

En la práctica, el escurrimiento que sale de una determinada cuenca, frecuentemente se calcula mediante la fórmula Racional. Este modelo funciona con la premisa de que el gasto máximo o pico, se alcanza cuando la precipitación se mantiene constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración. La fórmula racional es:

$$Q_P = 0.278CiA \quad (1.1)$$

Donde:

Q_P , gasto máximo o pico, en m^3/s .

C , coeficiente de escurrimiento determinado con la Tabla 1.4.1, los cuales consideran fenómenos como infiltración o flujo subterráneo.

i , intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca en mm/h.

A , área de la cuenca en km^2 .

Tipo de área drenada	Coefficiente de escurrimiento máximo
Zonas comerciales:	0.95
Zona comercial.	
Vecindarios.	
Zonas residenciales:	
Unifamiliares	0.50
Multifamiliares, espaciados.	0.60
Multifamiliares, compactos.	0.75
Semiurbanas.	0.40
Casas habitación.	0.70
Zonas industriales:	
Espaciado.	
Compacto	
Cementerios, parques.	0.25
Campos de juego.	0.35
Patios de ferrocarril.	0.40
Zonas suburbanas	0.30
Calles:	
Asfaltadas.	0.95
De concreto hidráulico.	0.95
Adoquinadas.	0.85
Estacionamientos	0.85
Techados	0.95
Praderas:	
Suelos arenosos planos (pendientes de 0.02 o menos)	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias(0.02-0.07)	0.15
Suelos arenosos escarpados (pendientes de 0.07 o más)	0.20
Suelos arcillosos planos (pendientes de 0.02 o menos)	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.22
Suelos arcillosos escarpados (pendientes de 0.07 o más)	0.35

Tabla 1.4.1. Valores del Coeficiente de escurrimiento

Para estimar el tiempo de concentración se utiliza la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (1.2)$$

Donde

S , es la pendiente del cauce principal.

L , es la longitud del cauce principal en m.

t_c , es el tiempo de concentración en horas.

Para determinar la intensidad a la que se refiere la fórmula racional, para una duración igual al tiempo de concentración t_c , se utilizarán los mapas de precipitación asociados a los diferentes periodos de retorno Tr con una duración de 24 horas. Cuando se requieren conocer

Objetivo

precipitaciones para distintas duraciones, se aplicarán los factores de reducción por duración que se ejemplifican en la Figura 1.4.1, para el caso de una duración de una hora.

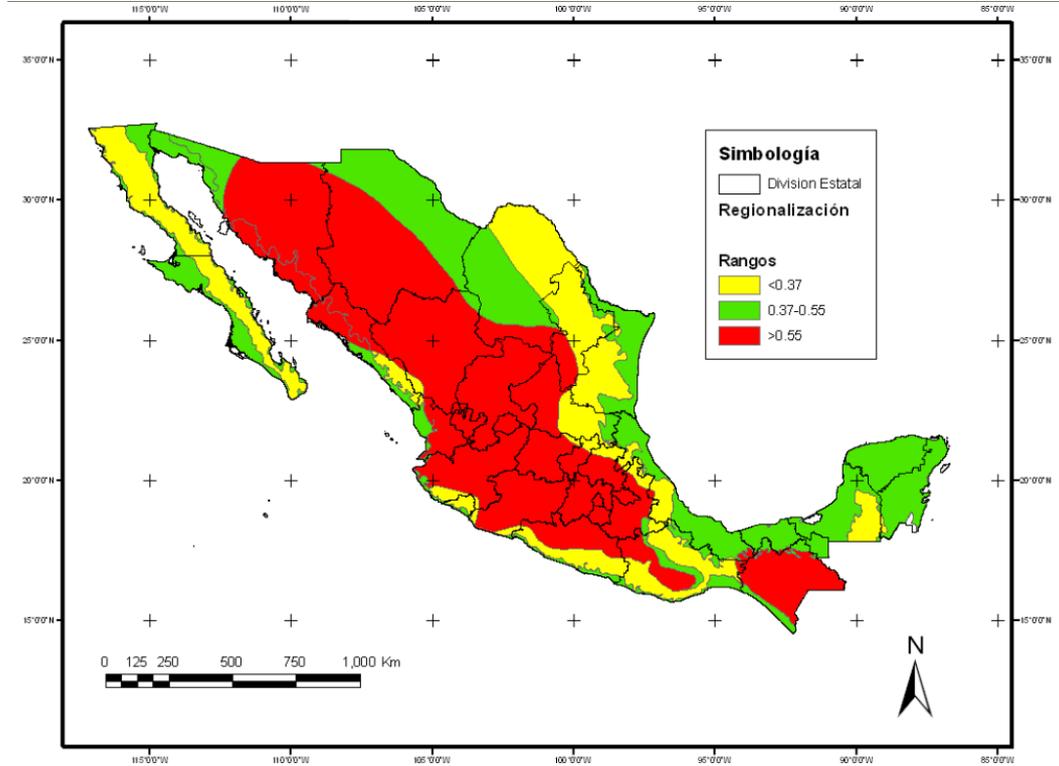


Figura 1.4.1 Coeficiente de Reducción, R, por región. Referencia Baeza Ramírez.

Finalmente, la intensidad se obtendrá con la expresión

$$i = \frac{hp(t_c)}{t_c} \tag{1.3}$$

Donde

i , es la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración.

$hp(t_c)$, altura de precipitación asociada a un periodo de retorno y una duración igual al tiempo de concentración.

Esta metodología puede ser ampliada en la referencia “Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos” correspondiente a fenómenos Hidrometeorológicos emitida por CENAPRED.

No se debe perder de vista, que un modelo de lluvia-escurrimiento es lo que termina por complementar la utilidad de los mapas de lluvia.