



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA

OBTENCIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-  
PERIODO DE RETORNO A PARTIR DE INFORMACIÓN  
PLUVIOMÉTRICA. APLICACIÓN EN LA DELEGACIÓN  
COYOACÁN.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A

**SIXTA HINNDI MENDOZA PÉREZ**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. LILIA REYES CHÁVEZ**



ABRIL 2012

# CONTENIDO

INTRODUCCION.....	I
<b>1 Situación del recurso agua en la Republica Mexicana.....</b>	<b>1</b>
1.1 El recurso Agua en México .....	1
1.1.1 Descripción de las 13 regiones Hidrológico- Administrativas.....	3
1.1.2 Contraste regional en la disponibilidad del agua.....	16
1.1.3 Cobertura de agua potable, alcantarillado y agua residual.....	18
1.1.4 Distritos de riego.....	25
1.1.5 Presas.....	26
1.1.6 Usos consuntivos del agua.....	27
1.2 Sequia.....	31
1.2.1 Definición y clasificación de las sequias.....	31
1.2.2 Sequia atípica al norte del territorio nacional.....	33
1.2.3 Problemas Socioeconómicos.....	45
1.3 Inundaciones.....	46
1.3.1 Inundaciones al sureste del territorio nacional.....	47
1.3.2 Problemas Socioeconómicos .....	50
1.3.3 Protección contra inundaciones.....	51
1.4 Huracanes.....	56
1.5 Normatividad en materia de desastres naturales.....	63
1.5.1 FONDEN y FOPREDEN .....	63
<b>2 Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.....</b>	<b>66</b>
2.1 Precipitación.....	66
2.1.1 Tipos de Precipitación.....	68
2.1.2 Clasificación de la precipitación.....	69
2.1.3 Instrumentos de medición de la precipitación .....	72

2.2	Conceptos básicos para la medición de la precipitación.....	84
2.2.1	Curva masa.....	84
2.2.2	Hietograma.....	85
2.2.3	Obtención de la altura de precipitación media.....	86
2.2.4	Obtención de datos faltantes.....	89
2.3	Descripción de la Cuenca del Valle de México.....	92
2.3.1	Recurso hidráulico.....	93
2.3.2	Usos del Agua.....	93
2.3.3	Balance Hidráulico.....	96
3	Métodos para la estimación de las curvas intensidad- duración- periodo de retorno. (i-d-Tr).....	99
3.1	Métodos de regresión.....	99
3.1.1	Método de regresión lineal simple.....	99
3.1.2	Regresión lineal múltiple.....	102
3.1.3	Estimación por mínimos cuadrados (MCO).....	106
3.1.4	Estimación por máxima verosimilitud.....	107
3.1.5	Medidas de Bondad de Ajuste.....	109
3.2	Análisis estadístico.....	111
3.2.1	Funciones de probabilidad.....	113
3.3	Estimación de parámetros por el Método de Momentos.....	118
3.4	Limites de confianza.....	122
3.4.1	Distribución Normal.....	123
3.4.2	Distribución Log Normal con 2 parámetros.....	124
3.4.3	Distribución de valores extremos tipo I (Gumbel).....	124
3.5	Cálculo de homogeneidad de una muestra.....	125
3.5.1	Prueba estadística de Helmert.....	126
3.5.2	Prueba estadística t de Student.....	126
3.5.3	Prueba estadística de Cramer.....	127
3.6	Determinación de independencia de una muestra.....	129

3.7 Prueba de bondad de ajuste.....	130
3.8 Metodos para la estimacion de las curvas intensidad- duracion- periodo de retorno.....	131
3.8.1 Método SCS-USA .....	135
4 Aplicación.....	138
4.1 Descripción del área de estudio.....	138
4.2 Verificación de Homogeneidad de los datos.....	145
4.3 Verificación de la independencia de la serie de datos.....	153
4.4 Funciones de probabilidad en la serie de datos.....	158
4.5 Método SCS-USA aplicado a la serie de datos.....	166
5 Conclusiones y/o recomendaciones.....	175
Lista de figuras.....	178
Lista de tablas.....	182
Bibliografía.....	186

# INTRODUCCION

En los últimos años, los procesos de deterioro ambiental a los que han estado sometidos los recursos naturales en México han aumentando la vulnerabilidad de la población civil además de amenazar la disponibilidad del recurso hídrico.

La República Mexicana se ha caracterizado por presentar problemas en relación al uso y distribución del recurso agua. Mientras que el norte del país se ve afectado por la peor sequia en los últimos 70 años, en el sureste se tienen inundaciones que año tras año afectan a comunidades enteras. Se ha establecido que los desastres provocados por estos eventos hidrológicos extremos se han magnificado debido a la falta de construcción de obras de protección y políticas de prevención.

Lo anterior deja entre ver que se vuelve necesario el estudio y entendimiento del comportamiento de las variables meteorológicas para poder establecer de manera prioritaria medidas de prevención más que de corrección.

En relación a la Precipitación la realidad nacional habla de que el recurso agua proveniente del volumen precipitable no ha sido aprovechado, ya que en varios estados de la República se tiene en exceso llegándose a desperdiciar mientras que en otros se vuelve escaso deteriorando la calidad de la vida humana, es por esta razón que el Ingeniero Civil, en particular del área de la Hidráulica, tiene como compromiso moral y profesional el poder proyectar, calcular y construir infraestructura hidráulica que ayude a la optimización y canalización de este recurso con la visión de optimizar los recursos económicos.

El poder establecer cuanto es el volumen de agua precipitable que se espera en una región geográfica en cierto periodo de tiempo se vuelve complicado ya que se habla de una variable aleatoria, sin embargo, gracias a las leyes de la probabilidad

se pueden manejar modelos o funciones que representen en buena medida el fenómeno aleatorio en estudio, llevando como meta el dimensionar de manera adecuada las diferentes obras civiles que ayuden a mejorar las actividades cotidianas o incluso lograr salvar vidas humanas.

El objetivo de esta tesis es la obtención de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr) a través de información pluviométrica ya que en la República Mexicana la mayoría de las estaciones climatológicas no cuentan con pluviógrafos, dificultándose así el conocimiento de la distribución de la lluvia con respecto al tiempo, y la intensidad de la misma en el intervalo de tiempo de estudio.

Con la obtención de la familia de curvas i-d-Tr, se podrá conocer la altura de precipitación de diseño para las diferentes obras civiles mejorando con esto la capacidad de la infraestructura proyectada logrando evitar los ya conocidos problemas de sobresaturación o sub-dimensionamiento de las mismas, reflejándose de manera directa en el sector económico en sus diferentes esferas: federal, local y social.

El presente trabajo está formado por cinco capítulos mismos que a continuación los cuales tratan de:

En el Capítulo uno se describe como, a nivel federal, se encuentra dividido el territorio nacional para la organización y regulación del recurso hídrico tomando como unidad de división funcional la cuenca hidrológica e hidrográfica. El manejo de las mismas se concentrará en 13 Regiones Hidrológicas-Administrativas las cuales se describen en este capítulo.

Adicionalmente se tratará el comportamiento de la precipitación a nivel nacional y los usos y destinos del agua que precipita y escurre. Se hablará sobre la importancia de los eventos meteorológicos extremos como son las sequías e inundaciones y las medidas que a nivel Federal se toman para hacer frente a los daños causados por estos.

En el Capítulo dos se describe a la variable meteorológica precipitación, los instrumentos empleados para su captación y medición, el manejo y presentación de la información obtenida, así como, el procedimiento para que en caso de tener información faltante poder generarla empleando información de estaciones climatológicas cercanas. Al final del capítulo se presenta de manera breve, una descripción hídrica de la Cuenca del Valle de México ya que, en particular la Ciudad de México es considerada como una de las más extensas y densamente pobladas del mundo y en particular, al sur de la gran mancha urbana existen 87,204 hectáreas, aproximadamente el 59% de la entidad, con características climáticas, topográficas y edafológicas que hacen posible la existencia de ecosistemas en distintos estados de conservación, además de campos agrícolas, todos de vital importancia para los habitantes de la ciudad.

El Tercer capítulo presenta el manejo estadístico de la información recabada como son los métodos de regresión, las diferentes funciones de probabilidad para el análisis de eventos máximos, las pruebas de independencia y homogeneidad para garantizar que se trabajan con variables aleatorias e independientes entre sí, y, finalmente se describen los métodos para la estimación de las curvas i-d-Tr cuando se cuenta solamente con información pluviográfica.

En el capítulo cuatro se describe el área de estudio, que para este trabajo, es la delegación Coyoacán ubicada al sur del DF, se presenta la información pluviométrica obtenida de las estaciones climatológicas, se verifican la independencia y homogeneidad para cada uno de los años de los registros, se ajustan las diferentes funciones de probabilidad para finalmente obtener las curvas i-d-Tr con el método SCS-USA.

Finalmente, el capítulo cinco muestra las conclusiones y/o recomendaciones que se generaron del desarrollo de la aplicación así como del conocimiento de la situación nacional ante el manejo del exceso o carencia del volumen de agua precipitable.

# 1 Situación del recurso agua en la República Mexicana.

## 1.1 El recurso Agua en México.

El adecuado manejo y preservación del agua cobra un papel fundamental, dada su importancia en el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación de la riqueza ecológica de nuestro país. Si siguen los actuales patrones de baja eficiencia en el riego, sobreexplotación de acuíferos, contaminación de cuerpos superficiales, en 25 años México padecerá la falta del recurso en varias ciudades; vera frenado su desarrollo, sufrirá el colapso de varios de sus ecosistemas y registrara problemas de salud público.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), desempeña sus funciones a través de 13 organismos de cuenca en los que se ha dividido el país con el propósito de una mejor organización de la administración y preservación de las aguas nacionales, cuyo ámbito de competencia son las regiones hidrológico-administrativas, Figura 1.1, las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, pero sus límites respetan los municipales, para facilitar la integración de la información socioeconómica.

La CONAGUA indica que las 13 zonas hidrológicas en las que se divide el país tienen, en mayor o menor grado, problemas relacionados con la disponibilidad y uso del líquido.



Situación del recurso agua en la Republica Mexicana.



Figura 1.1 Regiones Hidrológicas – Administrativas de la Republica Mexicana. CONAGUA

Tabla 1.1 Ciudades sede de las regiones Hidrológicas - Administrativas, CONAGUA

Ciudades sede de los organismos de cuenca		
Organismo de cuenca		Ciudades sede
I	Península de Baja California	Mexicali, Baja California
II	Noroeste	Hermosillo, Sonora
III	Pacífico Norte	Culiacán, Sinaloa
IV	Balsas	Cuernavaca, Morelos
V	Pacífico Sur	Oaxaca, Oaxaca
VI	Río Bravo	Monterrey, Nuevo León
VII	Cuencas Centrales del Norte	Torreón, Coahuila de Zaragoza
VIII	Lerma Santiago Pacífico	Guadalajara Jalisco
IX	Golfo Norte	Ciudad Victoria, Tamaulipas
X	Golfo Centro	Xalapa, Veracruz
XI	Frontera Sur	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
XIII	Península de Yucatán	Mérida, Yucatán
XIII	Aguas del Valle de México	Distrito Federal, Cd. De México

### 1.1.1 Descripción de las 13 regiones Hidrológico- Administrativas.

#### 📍 **Región 1. Península de Baja California.**

Abarca los estados de Baja California y Baja California Sur, con una población de 2.5 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio en la región de 195 mm.



**Figura 1.2 Región 1. Península de Baja California.**

Problemas:

- ✿ Sobreexplotación de acuíferos, en particular 13 de ellos.
- ✿ Problemas en la calidad del agua debido a la alta salinidad del río Colorado.
- ✿ Deficiente tratamiento de aguas residuales.
- ✿ Baja eficiencia en los sistemas de agua potable.
- ✿ Baja eficiencia del riego.
- ✿ Bajo nivel de lluvias.

Se advierte que de mantener los patrones de consumo actual se prevé que se incremente la sobreexplotación y degradación de los principales acuíferos y una fuerte competencia entre los distintos usuarios.

Estrategias:

- ⊕ Restaurar y conservar la calidad del agua en el sistema hidráulico del río Colorado, y los acuíferos de Mexicali y Mesa Arenosa.
- ⊕ Reducir las fugas en los sistemas de agua de las ciudades en un 25%.
- ⊕ Elevar la eficiencia de riego hasta en un 55%.

## 📍 Región 2. Noreste.

Incluye 72 municipios de Sonora y 7 de Chihuahua, con cerca de 2.2 millones de habitantes y tiene una precipitación media anual promedio en la región de 383 mm.

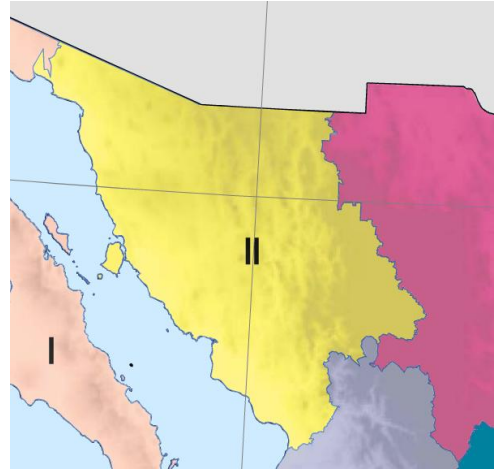


Figura 1.3 Región 2. Noroeste.

Problemas:

- 🌿 Deficiente suministro de agua potable y servicio del alcantarillado.
- 🌿 Ineficiente uso agrícola, el índice solo es del 41%.
- 🌿 Sobreexplotación en 13 acuíferos.
- 🌿 Contaminación de cuerpos de agua.
- 🌿 Daños por inundación y sequía.

De acuerdo con estos factores, se tienen grandes deterioros en las fuentes de abastecimiento y esto pondrá en riesgo el ambiente y la actividad económica.

Estrategias:

- ⊕ Elevar la eficiencia de riego hasta en un 57%.
- ⊕ Ajuste de tarifas en Hermosillo, Nogales, Puerto Peñasco y Guaymas.
- ⊕ Restaurar y preservar la calidad del agua a través del principio de “el que contamina paga” y con estímulos fiscales.

### 📍 **Región 3. Pacífico Norte.**

Incluye municipios de Sinaloa, Durango, Chihuahua, Nayarit y Zacatecas, con cerca de 3.7 millones de habitantes y tiene una precipitación media anual promedio en la región de 867 mm.



**Figura 1.4 Región 3. Pacífico Norte.**

Problemas:

- ☀️ Eficiencia agrícola del 38%.
- ☀️ Mala calidad del agua superficial y subterránea, particularmente por el contenido de arsénico, mayor a lo deseable, del agua suministrada a la ciudad de Durango.

Para el año 2025 y de acuerdo con las tendencias actuales se esperan condiciones críticas ambientales en todas las cuencas, principalmente la escasez del agua en temporadas de sequías en las regiones del Norte y Centro Norte; mayor degradación de las aguas superficiales, en particular de los Ríos Culiacán, Fuerte y Sinaloa, así como mayores daños por inundaciones y sequías.

Estrategias:

- ⊕ Tratamiento de aguas residuales en los Mochis y Guasave.
- ⊕ Rehabilitar la infraestructura del distrito 043 de riego y completar las obras de los proyectos Elota-Piaxtla y Baluarte Presidio.
- ⊕ Elevar la eficiencia del uso agrícola al 56%.

#### 🌐 **Región 4. Balsas.**

Abarca municipios de Morelos, Tlaxcala, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Jalisco, con una población de 9.3 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio de 888 mm.



Figura 1.5 Región 4. Balsas.

Problemas:

- 🌱 Baja cobertura de agua en el medio rural.
- 🌱 Baja eficiencia de riego, la cual solo llega al 36%.
- 🌱 Escaso saneamiento en el medio rural.
- 🌱 Alta contaminación de las aguas superficiales.
- 🌱 Sobreexplotación de acuíferos.

De acuerdo con las tendencias actuales, se tendrán fuertes rezagos en los servicios básicos en el medio rural, el incipiente saneamiento continuara impactando en la calidad de vida de la población y en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Estrategias:

- ⊕ Elevar los niveles del servicio de agua potable y alcantarillado al 97%.
- ⊕ Aumentar al 51% la eficiencia de riego.
- ⊕ Reducir la contaminación mediante la construcción de plantas de tratamiento.
- ⊕ Reducir la sobreexplotación de acuíferos con un uso más racional.

### 📍 **Región 5. Pacífico Sur.**

Incluye municipios de Guerrero y Oaxaca, con una población de 4 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio de 1290 mm.



Figura 1.6 Región 5. Pacífico Sur.

Problemas:

- ✿ Baja cobertura de agua potable y alcantarillado.
- ✿ La eficiencia más baja en riego del país, que es del 25%.
- ✿ Degradación de la calidad del agua.
- ✿ Daños por fenómenos meteorológicos extremos.

De no implantarse acciones sustantivas en los próximos 25 años, se aumentarán los rezagos en los servicios básicos a la población, agudizando los problemas de calidad del agua. También de no llevarse a cabo medidas de mitigación contra los fenómenos extremos en la región, se seguirán teniendo afectaciones tanto a centros de población como a zonas productivas.

Estrategias:

- ⊕ Elevar niveles de suministro de agua.
- ⊕ Elevar la eficiencia de riego a 38%.
- ⊕ Construcción de obras de control y encauzamiento de ríos.

### 🌐 **Región 6. Rio Bravo.**

Abarca municipios de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, con una población de 8.6 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio de 414 mm.



Figura 1.7 Región 6. Rio Bravo.

Problemas:

- ✿ Escasez del recurso.
- ✿ Eficiencia de riego del 34%, que demanda el 84% del volumen total disponible en la región.
- ✿ Alto índice de agua no contabilizada.
- ✿ Contaminación en el río Bravo.
- ✿ Sobreexplotación de siete acuíferos.

Debido a la escasez del agua se prevé una reducción en el desarrollo económico de la región, principalmente en Monterrey, Ciudad Juárez y Chihuahua.

Estrategias:

- ⊕ Elevar la eficiencia agrícola al 62%.
- ⊕ Reducir el porcentaje de agua no contabilizada en Monterrey y Saltillo a un nivel del 25%.
- ⊕ Restaurar la calidad del agua.

### 🌐 **Región 7. Cuencas Centrales del Norte.**

Incluye municipios de Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas, con una población de 3.7 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio de 616 mm.



Figura 1.8 Región 7. Cuencas Centrales del Norte.

Problemas:

- 🌱 Baja cobertura de los servicios básicos en las zonas rurales.
- 🌱 Sobreexplotación de acuíferos.
- 🌱 Degradación de la calidad del agua, sobre todo en la Comarca lagunera.
- 🌱 Agua residual agrícola sin tratamiento.
- 🌱 Alta competencia con los usos del agua.

De no tomarse medidas correctivas se tendrá un deterioro económico-ambiental que se situara en un nivel insostenible.

Estrategias:

- ⊕ Modernizar los distritos de riego 17 de la laguna y 34 de Zacatecas.
- ⊕ Reducir en 87 millones de metros cúbicos el consumo anual de agua para riego.



### 🌐 **Región 8. Lerma-Santiago Pacífico.**

Incluye municipios de Colima, Aguascalientes, Nayarit, Querétaro, Estado de México, Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Zacatecas, con una población de 17 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio de 640 mm.



Figura 1.9 Región 8. Lerma- Santiago Pacífico.

Problemas:

- 🌿 Oferta insuficiente del recurso agua.
- 🌿 Sobreexplotación de acuíferos, en particular en Querétaro, Celaya, León y Pénjamo.
- 🌿 Baja eficiencia en riego, solo alcanza el 39%.
- 🌿 Degradación del agua.
- 🌿 Deficiencia en la red de medición y monitoreo.

De no implantarse acciones para su solución, se afectarían las actividades económicas que sustentan el recurso hidráulico, la superficie ociosa se incrementaría, la degradación de la calidad del agua aumentaría, derivando en problemas de salud pública.

Estrategias:

- ⊕ Legislación para ordenar el manejo y uso del agua.
- ⊕ Restaurar la calidad del agua mediante el principio “el que contamina paga”.

### 📍 **Región 9. Golfo Norte.**

Incluye municipios de Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, con 4.5 millones de habitantes y una precipitación media anual de 714 mm.



Figura 1.10 Región 9. Golfo Norte.

Problemas:

- ✿ Baja cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado.
- ✿ Eficiencia del 31% en riego.
- ✿ Degradación de la calidad del agua.
- ✿ Sobreexplotación de acuíferos, en particular en Río Purificación, Tequisquiapan, San Juan del Río y Tulancingo. En conjunto, la extracción anual en estos acuíferos supera en 200 metros cúbicos la recarga.

Con las tendencias actuales aumentara el riesgo de problemas de salud y se limitara el desarrollo regional.

Estrategias:

- ⊕ Abatir los rezagos en la cobertura de los servicios básicos.
- ⊕ Elevar la eficiencia en el uso agrícola a 46%.
- ⊕ Restaurar la calidad del agua.
- ⊕ Restaurar el equilibrio en los acuíferos sobreexplotados.

### @ Región 10. Golfo Centro.

Incluye municipios de Veracruz, Oaxaca, Puebla e Hidalgo, con 9 millones de habitantes y una precipitación media anual de 1535 mm.



Figura 1.11 Región 10. Golfo Centro.

Problemas:

- Baja cobertura en los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- Eficiencia del 32% en riego.
- Contaminación de las corrientes superficiales. Los casos más críticos son los del Río Blanco y el río Calzadas.

Si siguen estas tendencias se manifestaran en la región condiciones ambientales críticas, principalmente en la Cuenca del Papaloapan. Disminuirán las coberturas de agua potable en las subregiones norte, medio Papaloapan y Coatzacoalcos, y seguirán los daños por inundaciones en las Subregiones bajo Papaloapan y Coatzacoalcos.

Estrategias:

- ⊕ Restaurar la calidad del agua mediante el principio “el que contamina paga”.
- ⊕ Abatir los rezagos en las coberturas de los servicios básicos.
- ⊕ Fomentar el desarrollo del temporal tecnificado y el uso eficiente del agua en distritos de riego. Elevar la eficiencia del uso agrícola al 51%.
- ⊕ Delimitar zonas inundables, reubicar a la población, mantener obras de protección, e impedir desarrollos en zonas susceptibles de anegarse.

### 📍 **Región 11. Frontera Sur.**

Incluye municipios de Chiapas y Tabasco, con 5.5 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio de 2016 mm.



Figura 1.12 Región 11. Frontera Sur.

#### Problemas:

- ✿ Baja cobertura en los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- ✿ Rezagos agudizados en el medio rural.
- ✿ Bajo aprovechamiento y manejo deficiente del agua.
- ✿ Vulnerabilidad frente a inundaciones.
- ✿ Contaminación de corrientes superficiales, principalmente del Río Grijalva.

Si siguen estas tendencias se manifestaran en la región condiciones ambientales críticas y se limitara el desarrollo regional.

#### Estrategias:

- ⊕ Elevar la cobertura de servicios e implantar programas de restauración y conservación.
- ⊕ Elevar al 49% la eficiencia de riego agrícola.
- ⊕ Restaurar cuencas hidrológicas.

### 📍 **Región 12. Península de Yucatán.**

Incluye municipios de Quintana Roo, Yucatán, Campeche y parte de Tabasco, con 2.9 millones de habitantes y 1064 mm de precipitación media anual.



**Figura 1.13 Región 12. Península de Yucatán.**

Problemas:

- ✿ Contaminación de acuíferos. La falta de drenaje sanitario apropiado ha propiciado la filtración de descargas residuales.
- ✿ Degradación de la calidad del agua por mal manejo en su extracción.
- ✿ Deficiente servicio de agua potable en zonas urbanas y rurales.
- ✿ Desarrollo agrícola incipiente.

De continuar las tendencias actuales se incrementara la contaminación de las aguas subterráneas, continuara la deficiente calidad de los servicios y avanzara en la degradación de los humedales en la franja que abarca los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Estrategias:

- ⊕ Proteger las fuentes de agua subterránea.
- ⊕ Elevar la cobertura de servicios.
- ⊕ Elevar la eficiencia en riego agrícola al 65%.

### 📍 **Región 13. Valle de México.**

Incluye la Ciudad de México, y municipios del estado de México y de Hidalgo, con una población de 18.6 millones de habitantes y una precipitación media anual promedio de 782 mm.



Figura 1.14 Región 13.  
Valle de México.

Problemas:

- ✿ Contaminación del agua superficial y subterránea.
- ✿ Sobreexplotación de acuíferos. La extracción es 130% superior a la recarga.
- ✿ Deficiente estructura para el riego.
- ✿ Insuficiente suministro de agua potable y para fines agrícolas.
- ✿ Daños por inundaciones.

El crecimiento acelerado de la población y la actividad económica seguirán generando cuantiosas demandas adicionales del agua en la región, por lo que se acrecentará la degradación del medio natural y las actuales fuentes de abastecimiento serán insuficientes.

Estrategias.

- ⊕ Transferir 5 m<sup>3</sup>/s de agua del Temascaltepec.
- ⊕ Incrementar la eficiencia del uso agrícola.
- ⊕ Restaurar el equilibrio en acuíferos sobreexplotados.

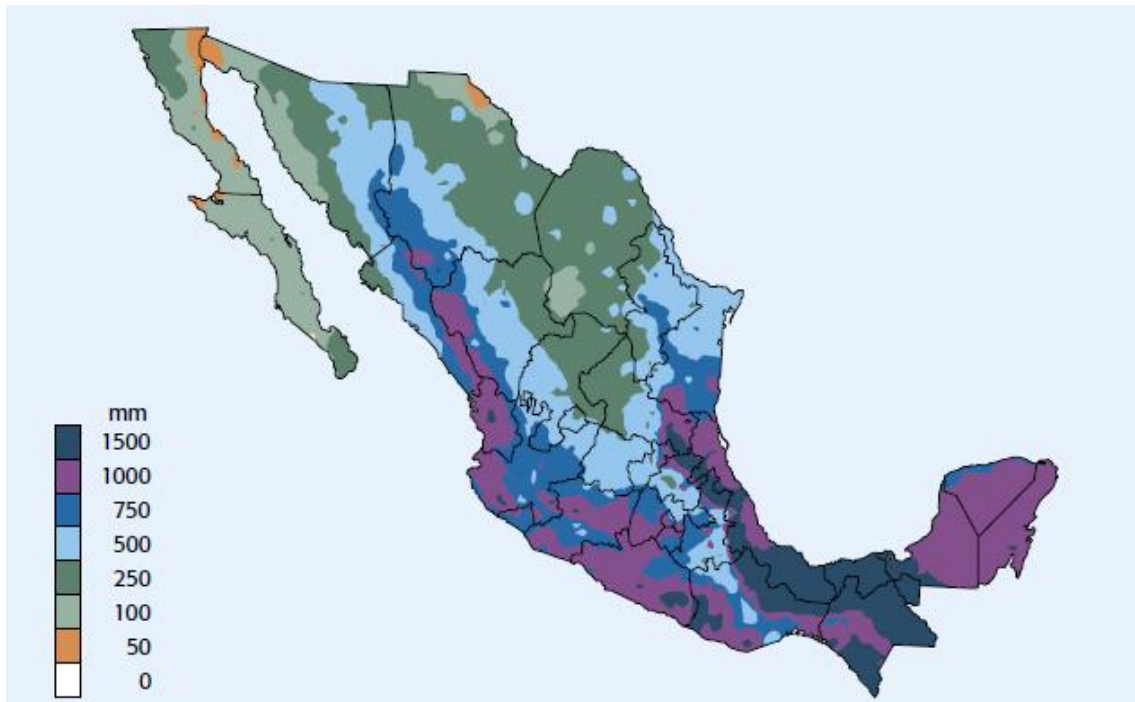
### 1.1.2 Contraste regional en la disponibilidad del agua.

Un factor clave en el manejo y disponibilidad del agua es el relativo a la ocurrencia de la lluvia, la cual en el territorio nacional tiene notables contrastes. El país se puede dividir en dos grandes zonas: la zona norte, centro y noroeste y la zona sur y sureste Figura 1.15.



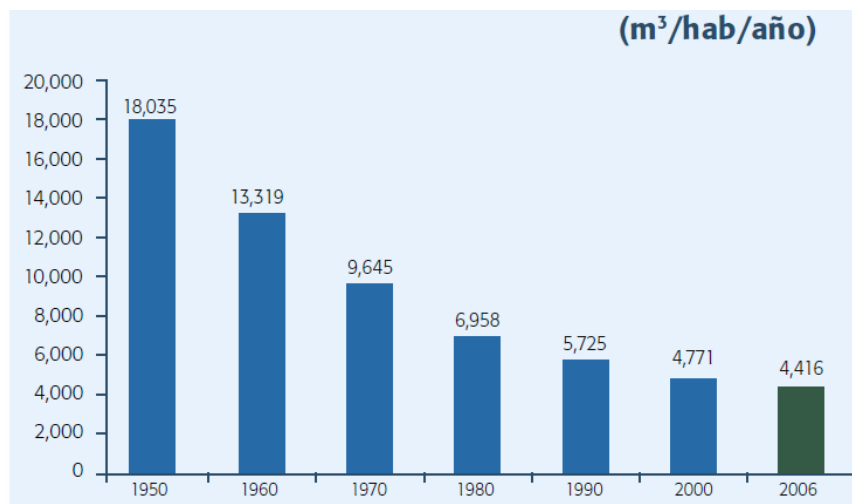
Figura 1.15 Disponibilidad per cápita anual en las dos grandes zonas del país. CONAGUA

La lluvia es muy escasa en Baja California, Figura 1.16, donde solamente se presentan 202 mm al año, valor doce veces menor a los 2,410 mm que se presentan en el estado de Tabasco. Se debe destacar también que en general, el 67% de la lluvia se presenta en tan sólo cuatro meses del año, Figura 1.18, de junio a septiembre, lo que dificulta su aprovechamiento y ha obligado a la construcción de gran infraestructura para su captación. Es importante que siempre se tenga presente que dos terceras partes del territorio nacional son áridas o semiáridas, lo que obliga al uso eficiente del agua en todas las actividades, tanto en el riego como en la industria y en el hogar.



**Figura 1.16 Distribución de la precipitación media mensual histórica en México. CONAGUA**

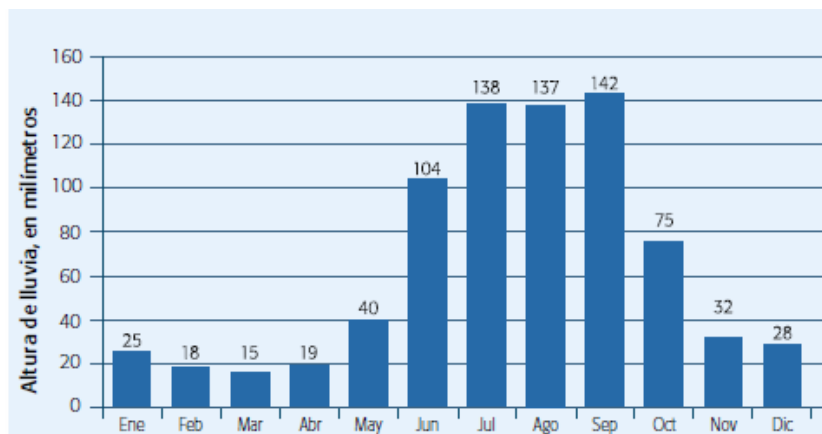
A nivel país, el mayor crecimiento poblacional y económico se ha generado en las zonas con menor disponibilidad de agua; así, en la zona norte, centro y noroeste, donde se tiene el 31% de la disponibilidad nacional se concentra el 77% de la población y se genera el 80% del PIB, situación que contrasta con la zona sur y sureste, donde existe el 69% de la disponibilidad y únicamente se ubica el 23% de la población que genera el 20% del PIB.



**Figura 1.17 Evolución de la disponibilidad del agua en México. CONAGUA**



Un parámetro de referencia en el contexto internacional en relación con el agua es la disponibilidad per cápita. México en tan sólo 56 años pasó de una disponibilidad de 18,035 a tan sólo 4,416 metros cúbicos por habitante al año, Figura 1.17, lo que lo ubica en una situación delicada. Por otra parte, dada su ubicación geográfica, en el país se presentan periódicamente huracanes y sequías que provocan severos daños en amplias zonas del territorio y que se espera sean más recurrentes y de mayor intensidad como consecuencia de los efectos asociados al cambio climático.



**Figura 1.18 Precipitación pluvial normal media mensual histórica 1941-2006. CONAGUA**

### 1.1.3 Cobertura de agua potable, alcantarillado y agua residual.

El suministro de los servicios de agua potable, Tabla 1.2 y Figura 1.19, alcantarillado y saneamiento es responsabilidad de los municipios.

Un aspecto que preocupa es el relativo al desordenado crecimiento de algunas ciudades, el cual no puede ser soportado por las fuentes de abastecimiento de agua actualmente disponibles. Por ello, es indispensable que los municipios cuenten con planes de ordenamiento territorial basados en la disponibilidad de agua y que garanticen su cumplimiento. Es necesario que además se intensifiquen las acciones encaminadas a incrementar la eficiencia física en la distribución de agua, ya que persisten pérdidas importantes por fugas en las redes, las cuales oscilan entre el 30 y 50%.

**Tabla 1.2 Cobertura de la población con servicio de agua potable por Región Hidrológico Administrativa. Serie de años censales de 1990 a 2005 (porcentaje). CONAGUA**

<b>Cobertura de la población con servicio de agua potable por Región Hidrológico Administrativa. Serie de años censales de 1990 a 2005 (porcentaje)</b>					
No.	Región Hidrológico-Administrativa	Agua Potable			
		12-mar-90	05-nov-95	14-feb-00	17-oct-05
I	Península de Baja California	81.3	87.4	92	92.9
II	Noroeste	89.7	93.2	95.2	94.8
III	Pacífico Norte	78.7	85.6	88.8	89
IV	Balsas	72.8	81.1	83.2	84.4
V	Pacífico Sur	59.2	69	73.2	73.5
VI	Río Bravo	91.8	94.4	96.1	96.1
VII	Cuencas Centrales del Norte	83.2	87.9	90.9	93.3
VIII	Lerma Santiago Pacífico	84.2	90.3	92.2	93.4
IX	Golfo Norte	57.6	67.8	75.5	80.9
X	Golfo Centro	58.8	64.6	71.9	77.2
XI	Frontera Sur	56.7	65.4	73.3	74.4
XIII	Península de Yucatán	74	84.9	91.9	94.1
XIII	Aguas del Valle de México	92.5	96.3	96.9	96.5
	Promedio Nacional	78.4	84.6	87.8	89.2

La CONAGUA considera que la cobertura de agua potable incluye a las personas que tienen agua entubada dentro de la vivienda, de la llave pública o bien de otra vivienda. Los habitantes con cobertura no necesariamente disponen de agua con calidad potable.

Las bajas eficiencias en el uso del agua, aunadas al incesante crecimiento poblacional y a la poca disponibilidad de agua, han ocasionado que el agua de los ríos y lagos sean insuficientes en algunas zonas, que las fuentes de abastecimiento subterráneas estén sobreexplotadas y que la calidad natural del agua se haya deteriorado. Lo anterior ha ocasionado una creciente competencia por el agua, que se ha traducido en conflictos en diferentes zonas del territorio nacional y empieza a limitar el bienestar social y el desarrollo económico.

De acuerdo a datos estadísticos los mayores rezagos de suministro de agua potable se presentan en las regiones V Pacífico Sur, XI Frontera Sur y X Golfo Centro, Tabla 1.2.



Figura 1.19 Cobertura de agua potable por municipios 2005. CONAGUA

Es importante proporcionar la cantidad de agua que requieren los habitantes, así como lo es que se suministre con la calidad adecuada para consumo humano.

Las plantas potabilizadoras condicionan la calidad del agua de las fuentes superficiales y/o subterráneas al uso público urbano. En 2008 se potabilizaron 87.3 m<sup>3</sup>/s en las 604 plantas en operación del país, Tabla 1.3.

Las fuentes de abastecimiento de agua e infraestructura hidráulica, tanto en materia de agua potable como de saneamiento en diversas zonas metropolitanas del país son insuficientes para atender los requerimientos de la población. Un ejemplo de ello lo constituye el Valle de México, cuyo sistema de drenaje es particularmente vulnerable durante la época de lluvias.

Tabla 1.3 Plantas potabilizadoras en operación, por región Hidrológico- Administrativa, 2008. CONAGUA

Plantas potabilizadoras en operación, por región Hidrológico- Administrativa, 2008				
No.	Región Hidrológico- Administrativa	Número de plantas en operación	Capacidad instalada (m <sup>3</sup> /s)	Caudal potabilizado (m <sup>3</sup> /s)
I	Península de Baja California	41	10.91	5.53
II	Noroeste	24	4.13	2.1
III	Pacífico Norte	151	9.08	7.23
IV	Balsas	21	23.18	17.58
V	Pacífico Sur	8	3.18	2.59
VI	Río Bravo	57	26.09	15.7
VII	Cuencas Centrales del Norte	60	0.55	0.39
VIII	Lerma Santiago Pacífico	106	19.42	12.15
IX	Golfo Norte	43	6.66	5.89
X	Golfo Centro	9	6.64	4.15
XI	Frontera Sur	42	14.93	9.12
XIII	Península de Yucatán	1	0.01	0.01
XIII	Aguas del Valle de México	41	6.1	4.88
Total		604	130.88	87.32



Figura 1.20 Plantas potabilizadoras 2008 CONAGUA.

En materia de alcantarillado se considera que la cobertura incluye a las personas que tienen conexión a la red de alcantarillado, fosa séptica, desagüe, barranca, grieta, lago o mar, Tabla 1.4 y Figura 1.21. En dicha Tabla se observa que los mayores rezagos de alcantarillado se presentan en las regiones V Pacífico Sur, XI Frontera Sur y X Golfo Centro.

**Tabla 1.4 Cobertura de la población con servicio de alcantarillado por Región Hidrológico Administrativa. Serie de años censales de 1990 a 2005 (porcentaje). CONAGUA**

<b>Cobertura de la población con servicio de alcantarillado por Región Hidrológico Administrativa. Serie de años censales de 1990 a 2005 (porcentaje)</b>					
No.	Región Hidrológico-Administrativa	Alcantarillado			
		12-mar-90	05-nov-95	14-feb-00	17-oct-05
I	Península de Baja California	65.2	75.8	80.6	89
II	Noroeste	62.6	71.5	76.5	84.1
III	Pacífico Norte	51.7	63.9	69.9	82.6
IV	Balsas	48.8	63	67.5	81.4
V	Pacífico Sur	33.3	46.5	47.4	63.3
VI	Río Bravo	73.9	84	88.2	93.8
VII	Cuencas Centrales del Norte	55.4	65.3	73.3	85.6
VIII	Lerma Santiago Pacífico	68	79.8	82.5	90.1
IX	Golfo Norte	33.9	42.2	50	65.3
X	Golfo Centro	45.9	55.9	60.1	74.8
XI	Frontera Sur	45.5	62.3	67.7	80.7
XIII	Península de Yucatán	45.1	57.5	63.2	76.3
XIII	Aguas del Valle de México	85.9	93.1	94.4	97.2
	Nacional	61.5	72.4	76.2	85.6

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida. Con el objeto de preservar la calidad del agua, se construyen plantas para tratar el agua antes de su descarga a los ríos y cuerpos de agua.



**Figura 1.21 Cobertura de alcantarillado por municipios 2005. CONAGUA**

Se han logrado avances importantes en los últimos años, al incrementar el porcentaje de agua residual tratada del 23 al 36.1 por ciento, Tabla 1.5 y Figura 1.23, es necesario redoblar esfuerzos para incrementar sustancialmente este valor, lo que permitirá sustituir agua de primer uso por agua residual tratada, así como recuperar la calidad de los ríos y lagos del territorio e incrementar la recarga de los acuíferos.

Existen plantas piloto donde se busca potabilizar el agua residual tratada por medio de osmosis inversa y ozonización para utilizarla en la recarga de acuíferos, el tratamiento de las aguas residuales es esencial para garantizar el ciclo del agua.



Figura 1.22 Plantas de tratamiento de agua residual. CONAGUA

Tabla 1.5 Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación, por región Hidrológico-Administrativa, 2008. CONAGUA

Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación, por región Hidrológico- Administrativa, 2008				
No.	Región Hidrológico-Administrativa	Número de plantas en operación	Capacidad instalada (m <sup>3</sup> /s)	Caudal potabilizado (m <sup>3</sup> /s)
I	Península de Baja California	45	8.19	6.11
II	Noroeste	90	4.54	3.18
III	Pacífico Norte	249	8.38	6.6
IV	Balsas	147	7.6	5.5
V	Pacífico Sur	83	3.17	1.98
VI	Río Bravo	188	28.32	22.23
VII	Cuencas Centrales del Norte	113	5.19	4.03
VIII	Lerma Santiago Pacífico	465	23.17	18.02
IX	Golfo Norte	91	2.91	2.31
X	Golfo Centro	127	5.35	3.14
XI	Frontera Sur	97	3.36	2.67
XIII	Península de Yucatán	55	2.26	1.73
XIII	Aguas del Valle de México	83	10.6	6.14
Total		1833	113.04	83.64

### 1.1.4 Distritos de riego



**Figura 1.23 Distritos de riego 2008. CONAGUA**

La superficie dedicada a la agricultura en México es de aproximadamente 21 millones de hectáreas (10.5% del territorio nacional) y de ella, 6.5 millones son de riego y 14.5 millones de temporal, Figura 1.23.

Los distritos de riego son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros.

La productividad de las áreas de riego es, en promedio, 3.7 veces mayor que las de temporal y a pesar de su superficie sustancialmente menor, la agricultura de riego genera más de la mitad de la producción agrícola nacional. De los 6.5 millones de hectáreas de riego, 3.5 millones (54%) corresponden a 85 Distritos de Riego y 3.0 millones (46%) a 39,492 Unidades de Riego.



En lo relativo a las unidades de riego, el 57% del agua que utilizan es subterránea y el 43% superficial; tanto en los distritos como en las unidades, el agua se conduce a las parcelas a través de una importante infraestructura, que incluye diversos canales y en su caso, tuberías.

La productividad del agua en los distritos de riego es un indicador clave para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el agua para la producción de alimentos, que depende de la eficiencia en la conducción desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas y la aplicación de la misma. Cabe aclarar que la productividad del agua puede tener una gran variación en función de las condiciones meteorológicas.

Con la creación de la CONAGUA en 1989 y la promulgación de la nueva Ley de Aguas Nacionales en 1992, se dio inicio la transferencia de los distritos de riego a los usuarios, apoyada en un programa de rehabilitación parcial de la infraestructura que se concesiona en módulos de riego a las asociaciones de usuarios.

A diciembre de 2009, se había transferido a los usuarios más del 99% de la superficie total de los distritos de riego. Hasta dicha fecha, sólo dos distritos no habían sido totalmente transferidos a los usuarios.

#### *1.1.5 Presas.*

En el país existen más de 4,462 presas, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas, de acuerdo con la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés) donde se especifica que se llama Gran Presa a la que tiene 15 m o más de altura medidos desde su cimentación.

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de aproximadamente 150 mil millones de m<sup>3</sup>. El volumen almacenado anualmente depende de la precipitación y los escurrimientos en las distintas regiones del país.

Del orden de 2,200 presas de almacenamiento que existen en el país, abastecen a los distritos y unidades de riego, de las cuales alrededor del 35% tienen más de 40 años de antigüedad, siendo que su vida útil de diseño es de 50 años. Por esta razón, se llevará a cabo un programa amplio de rehabilitación y conservación de estas obras y sus estructuras, con la finalidad de brindar seguridad tanto a las poblaciones que se localizan aguas abajo, como para contribuir a garantizar el otorgamiento de los volúmenes requeridos para agua potable, para el riego de cultivos y para la generación de energía eléctrica. De igual manera, será necesario mantener el programa permanente de inspecciones de seguridad de presas.

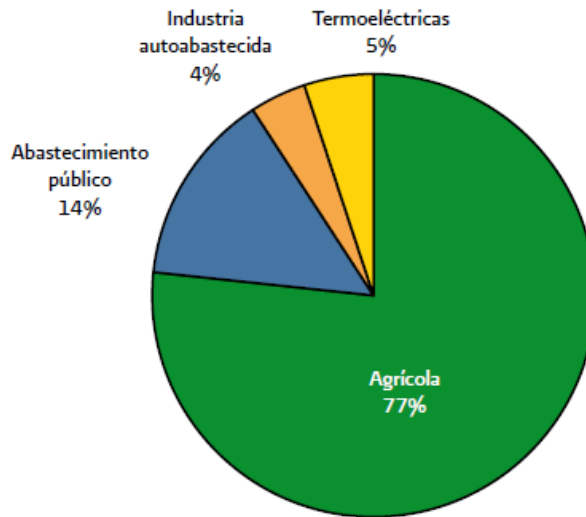


**Figura 1.24 Proyecto hidroeléctrico La Yesca. CFE**

#### *1.1.6 Usos consuntivos del agua.*

En lo que se refiere a los usos del agua, el volumen concesionado a diciembre de 2006, sin incluir la generación de energía hidroeléctrica, era de 77,321 millones de metros cúbicos. De este volumen, el 77% corresponde al uso agrícola, 14% al público, 4% a las industrias que obtienen agua de ríos y acuíferos y 5% a las

Termoeléctricas; Figura 1.25 y 1.26, en el uso agrícola se están incluyendo los usos agrícola, pecuario, acuacultura y múltiples, que se establecen en la clasificación de la Ley de Aguas Nacionales.



**Figura 1.25 Distribución de los usos del agua en México. CONAGUA**

Esta forma de distribución es común en diversos países en vías de desarrollo, ya que el uso predominante es el agrícola, a diferencia de muchos de los países desarrollados, en donde el empleo del agua es eficiente en la mayoría de los usos y el mayor consumo se destina al sector industrial, principalmente en las centrales termoeléctricas.

Por lo que se refiere a la generación de energía hidroeléctrica, el volumen concesionado a diciembre del año 2006 era de 158,566 millones de metros cúbicos Tabla 1.6. De ellos, en dicho año se emplearon 140,295 millones de metros cúbicos, con lo que se generó el 13.2% de la energía eléctrica del país (la capacidad en la centrales hidroeléctricas representa el 21.5% de la total instalada en nuestro territorio). En lo que respecta al aprovechamiento del agua, las eficiencias en el uso son aún muy bajas, ya que en el sector agrícola oscilan entre el 33 y 55%, en tanto que en las ciudades su valor fluctúa entre el 50 y 70%.

Las regiones hidrológico administrativas que tienen concesionado un mayor volumen de agua son: VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IV Balsas, III Pacífico Norte y VI Río Bravo. Cabe destacar que el uso agrupado agrícola supera el 80% de las concesiones totales en dichas Regiones, a excepción de la región IV Balsas, en donde la termoeléctrica de Petacalco, ubicada cerca de la desembocadura del río Balsas, ocupa un importante volumen de agua.

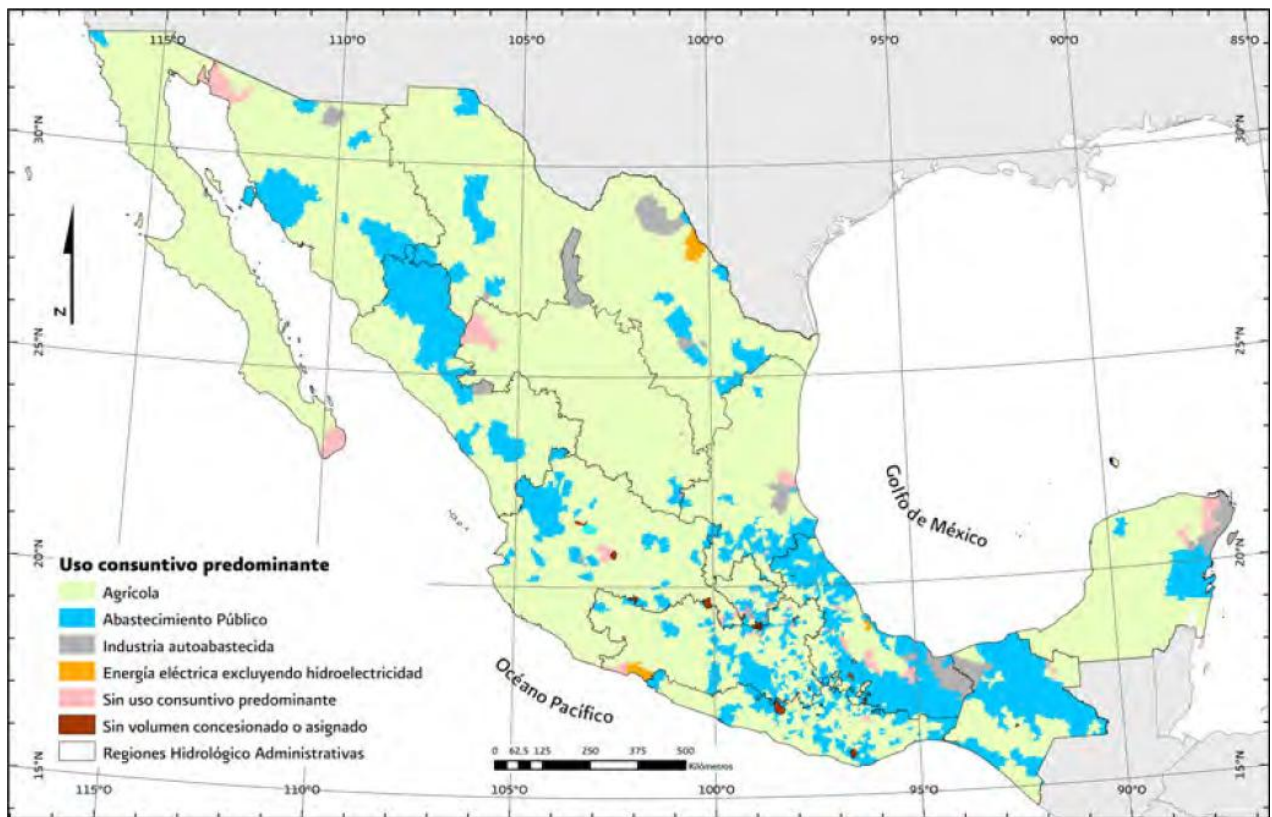


Figura 1.26 Usos consuntivos del agua. CONAGUA

Tabla 1.6 Volúmenes concesionados para usos consuntivos por región hidrológico-administrativa. 2009. (Millones de metros cúbicos, hm<sup>3</sup>). CONAGUA

Volúmenes concesionados para usos consuntivos por región hidrológico administrativa. 2009. (Millones de metros cubicos,hm <sup>3</sup> )						
No.	Región Hidrológico-Administrativa	Volumen total concesionado	Agrícola	Abastecimiento publico	Industria autoabastecida sin termoeléctricas	Termoeléctricas
I	Península de Baja California	3,419.88	2,878.56	247.11	95.18	199.02
II	Noroeste	7,702.55	6,540.39	1,063.95	91.20	7.01
III	Pacífico Norte	10,410.65	9,713.93	639.27	57.46	0.00
IV	Balsas	10,704.40	6,305.67	1,008.76	219.73	3,170.23
V	Pacífico Sur	1,362.66	1,007.56	334.80	20.30	0.00
VI	Río Bravo	9,243.13	7,736.50	1,182.55	212.55	111.53
VII	Cuencas Centrales del Norte	3,846.49	3,382.65	371.50	64.02	28.32
VIII	Lerma Santiago Pacífico	14,478.91	11,891.01	2,121.14	446.09	20.67
IX	Golfo Norte	4,854.05	3,793.71	528.49	466.27	65.57
X	Golfo Centro	4,972.95	2,974.35	743.81	877.81	376.97
XI	Frontera Sur	2,202.54	1,639.46	458.93	104.16	0.00
XIII	Península de Yucatán	2,731.07	1,631.11	588.18	502.73	9.05
XIII	Aguas del Valle de México	4,657.71	2,299.14	2,106.88	162.15	89.55
Total		80,587.00	61,794.04	11,395.37	3,319.65	4,077.92

## 1.2 Sequía.

### 1.2.1 Definición y Clasificación de las sequías.

La sequía se define como *“un conjunto de condiciones ambientales atmosféricas de muy poca humedad, ocurre cuando la precipitación es menor que la media, y se extiende durante un periodo suficientemente prolongado como para que la falta de lluvias cause un grave desequilibrio hidrológico y ecológico en un área geográfica dada.”* IMTA

La sequía es una condición normal y recurrente del clima. No hay que confundir la sequía, con la aridez, ya que esta última prevalece en las regiones con bajas precipitaciones y es una condición permanente del clima.

Las sequias se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Sequía Meteorológica.** Se presenta cuando en un período de tiempo la precipitación registrada es menor que la media. Se caracteriza por la presencia de altas temperaturas y baja humedad en el ambiente.
- **Sequía Hidrológica.** Se presenta cuando hay un déficit de agua, en precipitación y escurrimiento superficial. Esta sequía puede causar severos daños a la población, ya que sus efectos y recuperación son a largo plazo; suele notarse normalmente después de la meteorológica.
- **Sequía Agrícola.** Se presenta en un período de tiempo cuando la humedad contenida en el suelo es insuficiente para el desarrollo óptimo de un cultivo. La sequía agrícola se presenta después de la sequía meteorológica, pero antes de la sequia hidrológica.

A mayor tiempo sin la presencia de lluvias, la sequía tiende a ser más aguda. La Clasificación de la intensidad de la sequía, de acuerdo con el Monitor de Sequía de América del Norte, incluye las siguientes categorías:

- **Anormalmente Seco (D0):** Se trata de una condición de sequedad, no es un tipo de sequía. Se presenta al inicio o al fin de un periodo de sequía. Al

iniciar la sequía: debido a la sequedad de corto plazo, hay un retraso de la siembra de cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y riesgo de incendios por arriba del promedio. Al terminar la sequía: déficit persistente de agua, pastos o cultivos no recuperados completamente.

- ✿ **Sequía Moderada (D1):** Provoca algunos daños a los cultivos y pastos; alto riesgo de incendios, niveles bajos en arroyos, embalses y pozos, escasez de agua, se requiere uso de agua restringida de manera voluntaria.
- ✿ **Sequía Severa (D2):** Probables pérdidas en cultivos o pastos, muy alto riesgo de incendios, la escasez de agua es común, se debe imponer restricciones de uso del agua.
- ✿ **Sequía Extrema (D3):** Mayores pérdidas en cultivos o pastos, peligro extremo de incendio, la escasez de agua o las restricciones de su uso se generalizan.
- ✿ **Sequía Excepcional (D4):** Pérdidas excepcional y generalizada de los cultivos o pastos, riesgo de incendio excepcional, escasez de agua en los embalses, arroyos y pozos, se crean situaciones de emergencia debido a la ausencia de agua.

Las sequías pueden presentarse en cualquier tiempo y en cualquier lugar, aunque sus características varían significativamente de una región a otra, pero existen áreas específicas sensibles al fenómeno, definidas básicamente por su localización geográfica, como lo es la latitud, ya que a partir de la línea del Ecuador hacia los polos, en forma alterna, se presentan las franjas de baja y alta presión atmosférica, donde las primeras corresponden a las áreas lluviosas y húmedas en el planeta.

Así, México tiene gran parte de su territorio en la franja de alta presión de latitud Norte, por lo que estas zonas son áridas y semiáridas. Los Estados que más las padecen son los del norte, mencionando entre ellos, en orden de magnitud a: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala.

Factores climáticos como cambios de presión atmosférica, las altas temperaturas, los vientos fuertes y una baja humedad relativa están frecuentemente asociados con la sequía. Aun cuando el clima es el principal elemento de la sequía, otros factores como los cambios en el uso del suelo (la deforestación, agricultura, zonas urbanas), la quema de combustibles fósiles, las manchas solares, la ocurrencia de El Niño, la relación disponibilidad-demanda, entre otros fenómenos, afectan las características hidrológicas de la Cuenca. Debido a que las regiones están interconectadas por sistemas hidrológicos, el impacto de la sequía puede extenderse más allá de las fronteras del área con deficiente precipitación.



**Figura 1.27 Sequia en México.**

### *1.2.2 Sequia atípica al norte del territorio nacional.*

En el 2011 se tuvo una precipitación anual que se consideró como la peor en los últimos 70 años, nuestro país se encuentra en un periodo de sequia excepcional, aproximadamente desde Abril del año pasado se comenzó a observar que este fenómeno hidrometeorológico se intensificaba. En la Figura 1.28 se muestran los niveles de sequia a partir del año 2003; en ellos puede notarse que el 2011 fue el más impactado por este fenómeno ya que para diciembre más del 60% del territorio nacional se encontró afectado por alguna condición de sequía.



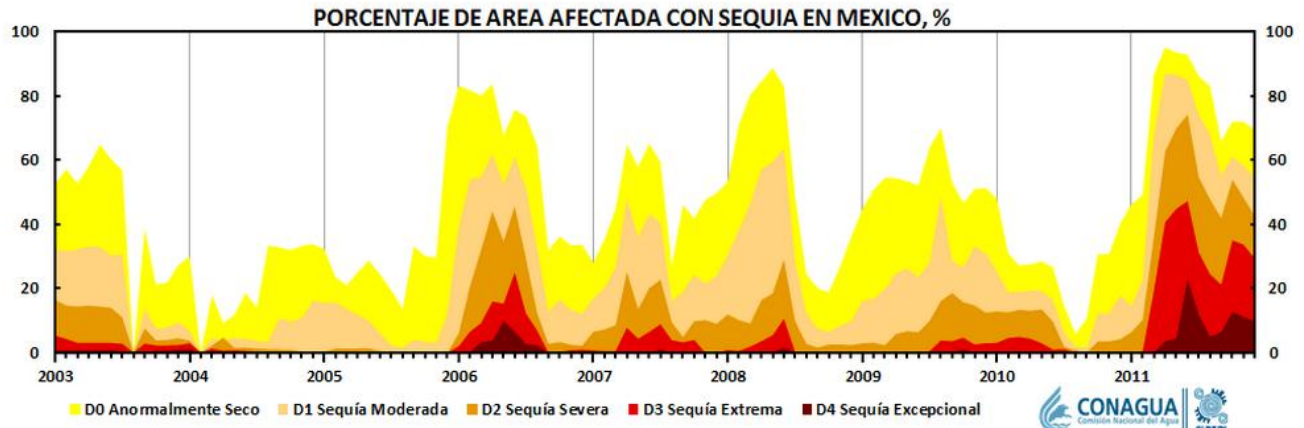


Figura 1.28 Porcentaje de área afectada con sequía en México desde 2003. CONAGUA

La sequía actual es parecida a la ocurrida en 1969 en cuanto a extensión territorial. No se debe perder de vista que los efectos son acumulativos y crónicos.

De acuerdo al estudio realizado por: el Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval y la Dra. Lilia Reyes Chávez, del análisis de la precipitación de cada uno de los municipios de la republica mexicana se concluye que en promedio se pueden tener dos años húmedos y dos años secos; también se observa que en promedio cada 14 años se puede presentar una sequia de tal magnitud que abarque la totalidad de los municipios de la republica mexicana, como ocurrió en los años 1957, 1969, 1982, 1997 y el 2011 con una duración promedio de 3 años, ante tal información, es posible generar para cada municipio un plan de manejo de la sequia, donde se establezcan las acciones a realizar una vez que se note la reducción de la precipitación y de los escurrimientos superficiales; todo esto con la finalidad de reducir al mínimo los efectos negativos de este fenómeno.

Situación del recurso agua en la Republica Mexicana.



Figura 1.29 Periodicidad de las sequias en México. ESCALANTE



Figura 1.30 Duración de las sequías en México. ESCALANTE

Es de esperarse que en los próximos dos años exista cierta recuperación de la precipitación aunque esta sea menor a la media. La distribución espacial de la lluvia también es variable, por lo que en un mismo estado de la Republica se podrán notar diferentes niveles de recuperación o abatimiento de la precipitación.

El comportamiento de la sequía ocurrida en el 2011 abarca prácticamente los estados del norte y centro del país, incluyendo ya algunos municipios de Veracruz.

A continuación se muestran imágenes que van de la Figura 1.31 a 1.38 del Monitor de Sequía de América del Norte que ilustran la evolución de la sequía durante 2011.

# Monitor de Sequía de América del Norte

Marzo 31, 2011

Liberado: Lunes, 18 de Abril de 2011

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

Analysts:

Canada - Trevor Hadwen  
Dwayne Chobanik  
Richard Rieger

Mexico - Reynaldo Pascual  
Adelina Albañil

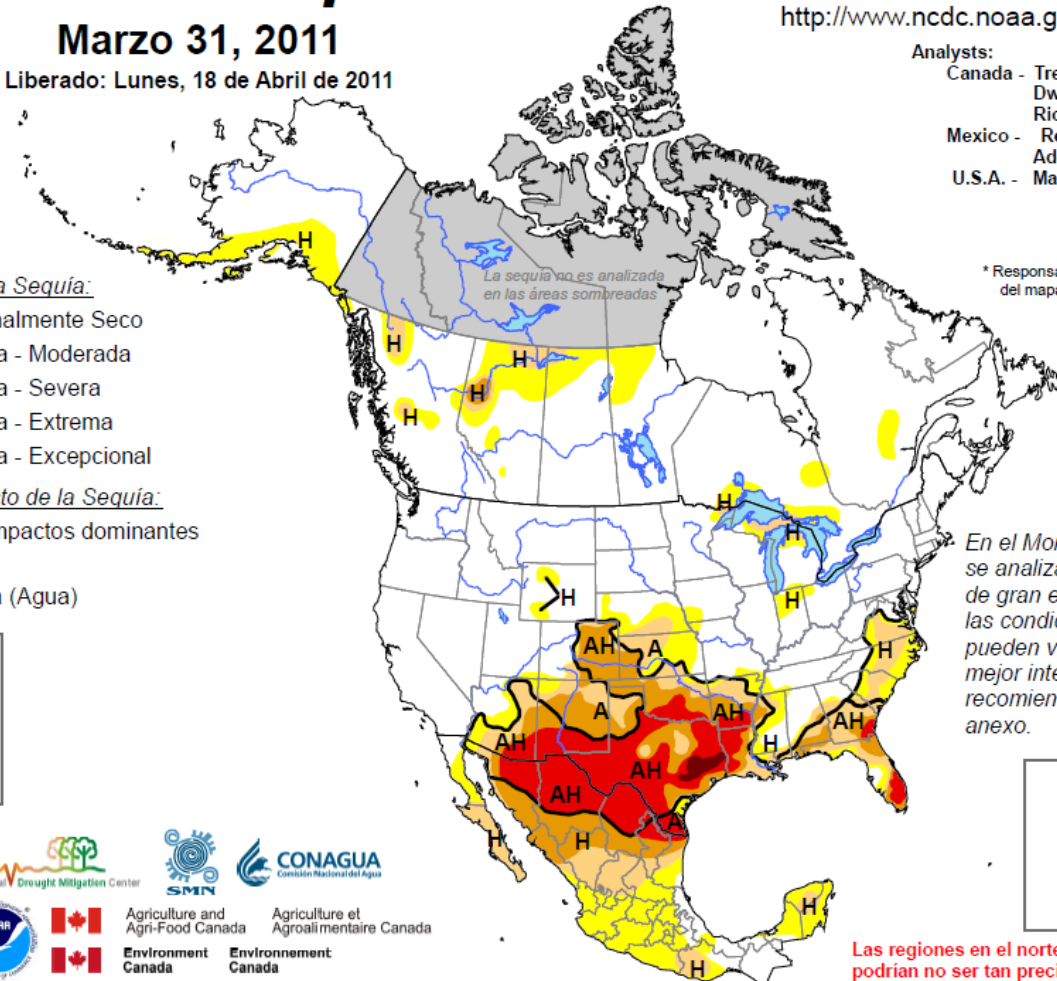
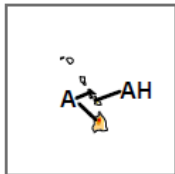
U.S.A. - Mark Svoboda

Intensidad de la Sequía:

- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

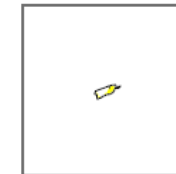
Tipos de Impacto de la Sequía:

- Delimita impactos dominantes
- A = Agrícola
- H = Hidrológica (Agua)



\* Responsable de la integración del mapa

En el Monitor de Sequía se analizan condiciones de gran escala, por lo que las condiciones locales pueden variar. Para una mejor interpretación se recomienda ver el texto anexo.



Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.

Figura 1.31 Monitor de Sequía de América del Norte, Marzo 2011.

# Monitor de Sequía de América del Norte

Abril 30, 2011

Liberado: Viernes, 13 de Mayo de 2011

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

Analystes:

- Canada - Trevor Hadwen  
Dwayne Chobanik\*  
Richard Rieger
- Mexico - Reynaldo Pascual  
Adelina Albañil
- U.S.A. - Rich Tinker  
Richard Heim

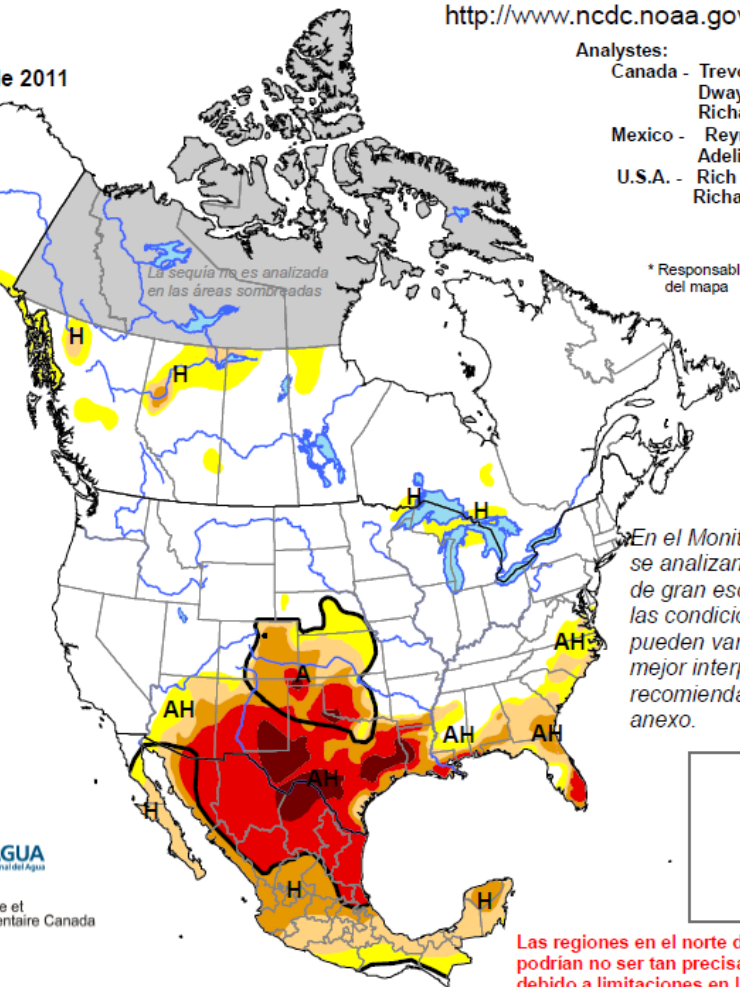
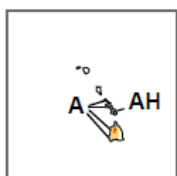
\* Responsable de la integración del mapa

Intensidad de la Sequía:

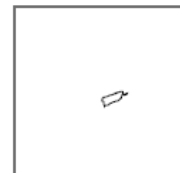
- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

Tipos de Impacto de la Sequía:

- Delimita impactos dominantes
- A = Agrícola
- H = Hidrológica (Agua)



En el Monitor de Sequía se analizan condiciones de gran escala, por lo que las condiciones locales pueden variar. Para una mejor interpretación se recomienda ver el texto anexo.



Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.



Figura 1.32 Monitor de Sequía de América del Norte, Abril 2011.

# Monitor de Sequía de América del Norte

Junio 30, 2011

Liberado: Viernes, 8 de julio de 2011

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

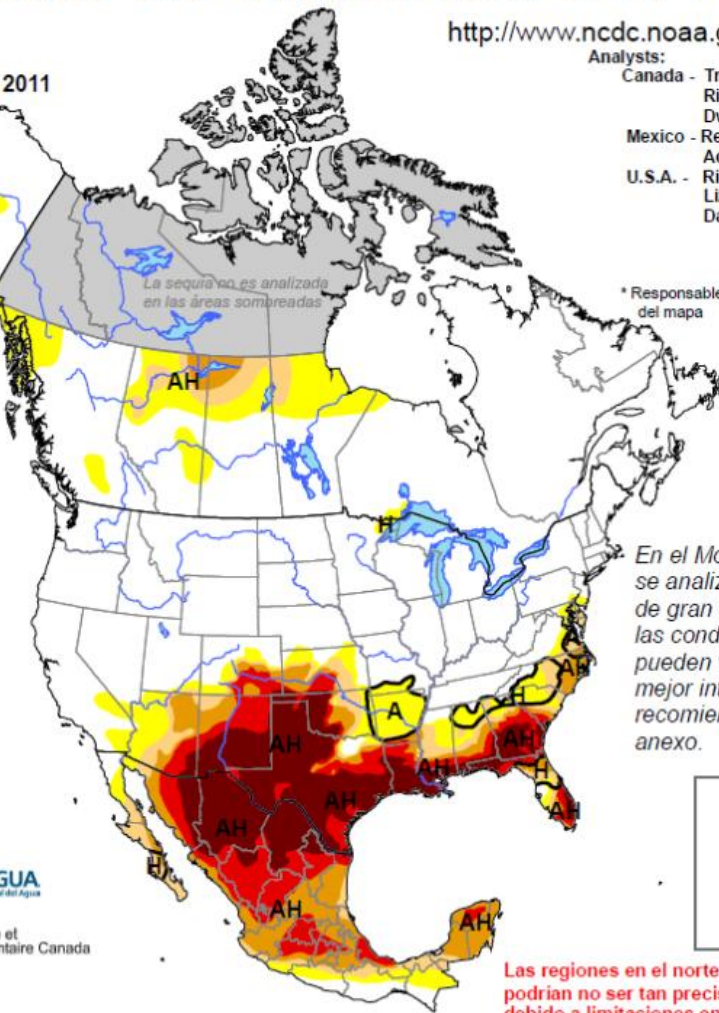
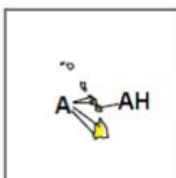
Analysts:  
 Canada - Trevor Hadwen  
 Richard Rieger  
 Dwayne Chobanik  
 Mexico - Reynaldo Pascual  
 Adelina Albanil  
 U.S.A. - Richard Heim  
 Liz Love-Brotak  
 David Miskus\*

Intensidad de la Sequía:

- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

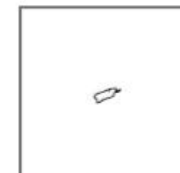
Tipos de Impacto de la Sequía:

- Delimita impactos dominantes
- A = Agrícola
- H = Hidrológica (Agua)



\* Responsable de la integración del mapa

En el Monitor de Sequía se analizan condiciones de gran escala, por lo que las condiciones locales pueden variar. Para una mejor interpretación se recomienda ver el texto anexo.



Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.



Figura 1.33 Monitor de Sequía de América del Norte, Junio 2011.

# Monitor de Sequía de América del Norte

Agosto 31, 2011

Liberado: viernes, 9 de Septiembre de 2011

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

Analysts:

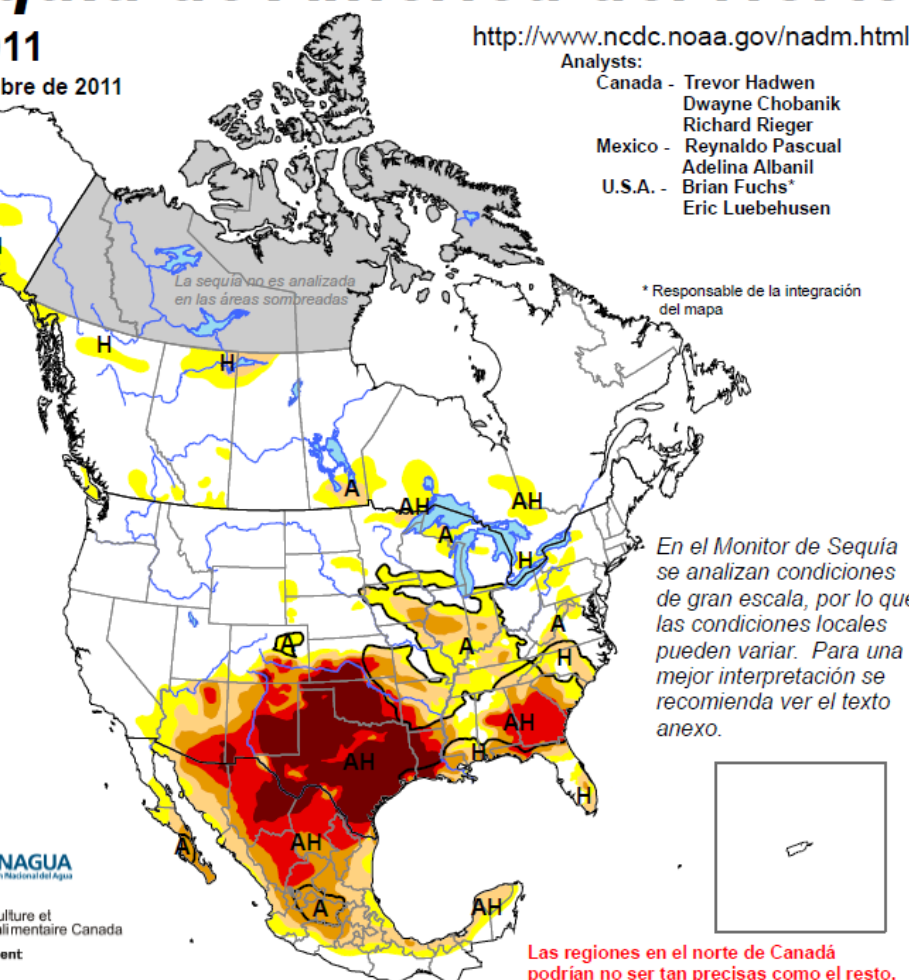
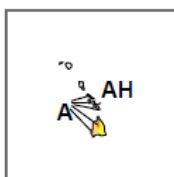
Canada - Trevor Hadwen  
Dwayne Chobanik  
Richard Rieger  
Mexico - Reynaldo Pascual  
Adelina Albanil  
U.S.A. - Brian Fuchs\*  
Eric Luebehusen

Intensidad de la Sequía:

- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

Tipos de Impacto de la Sequía:

- Delimita impactos dominantes
- A = Agrícola
- H = Hidrológica (Agua)



\* Responsable de la integración del mapa

Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.

Figura 1.34 Monitor de Sequía de América del Norte, Agosto 2011.

# Monitor de Sequía de América del Norte

Septiembre 30, 2011

Liberado: Miércoles, 12 de octubre de 2011

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

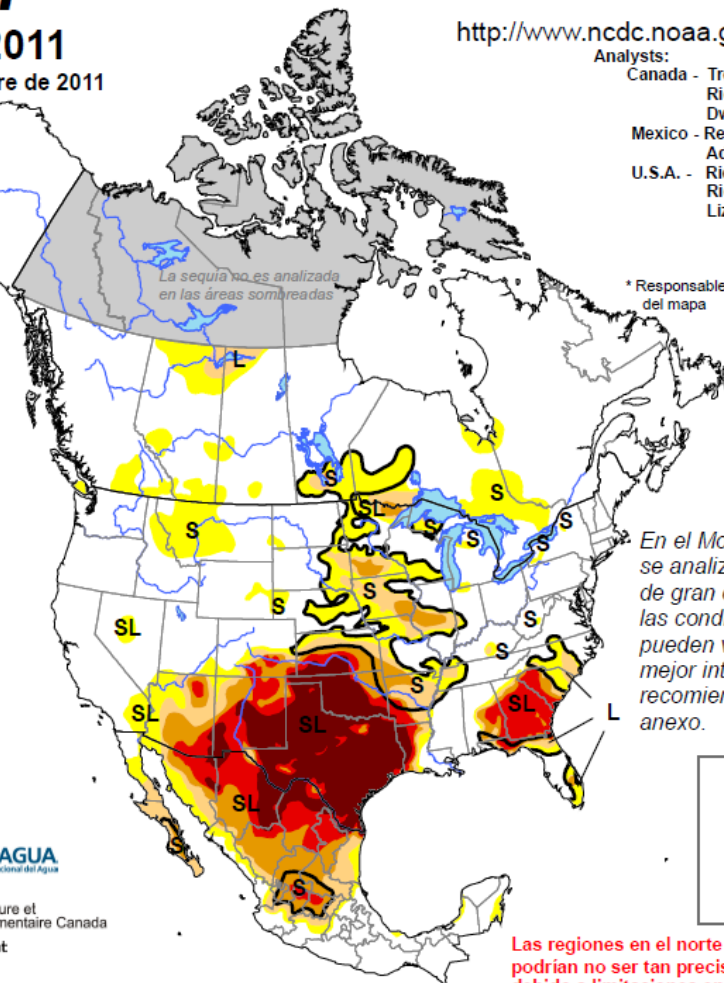
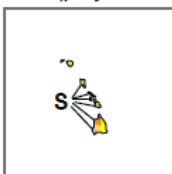
Analysts:  
 Canada - Trevor Hadwen  
 Richard Rieger  
 Dwayne Chobanik  
 Mexico - Reynaldo Pascual  
 Adelina Albanil  
 U.S.A. - Rich Tinker  
 Richard Heim\*  
 Liz Love-Brotak

Intensidad de la Sequía:

- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

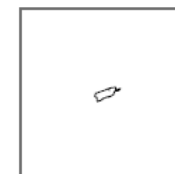
Tipos de Impacto de la Sequía:

- ~ Delimita impactos dominantes
- S = Corto periodo, típicamente <6 meses  
(p.ej. agricultura, pastizales)
- L = Largo periodo, típicamente >6 meses  
(p.ej. hidrología, ecología)



\* Responsable de la integración del mapa

En el Monitor de Sequía se analizan condiciones de gran escala, por lo que las condiciones locales pueden variar. Para una mejor interpretación se recomienda ver el texto anexo.



Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.

Figura 1.35 Monitor de Sequía de América del Norte, Septiembre 2011.



# Monitor de Sequía de América del Norte

Octubre 31, 2011

Liberado: Jueves, 10 de noviembre de 2011

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

Analysts:

Canada - Trevor Hadwen  
Richard Rieger  
Robyn Tulloch

Mexico - Reynaldo Pascual\*  
Adelina Albanil\*

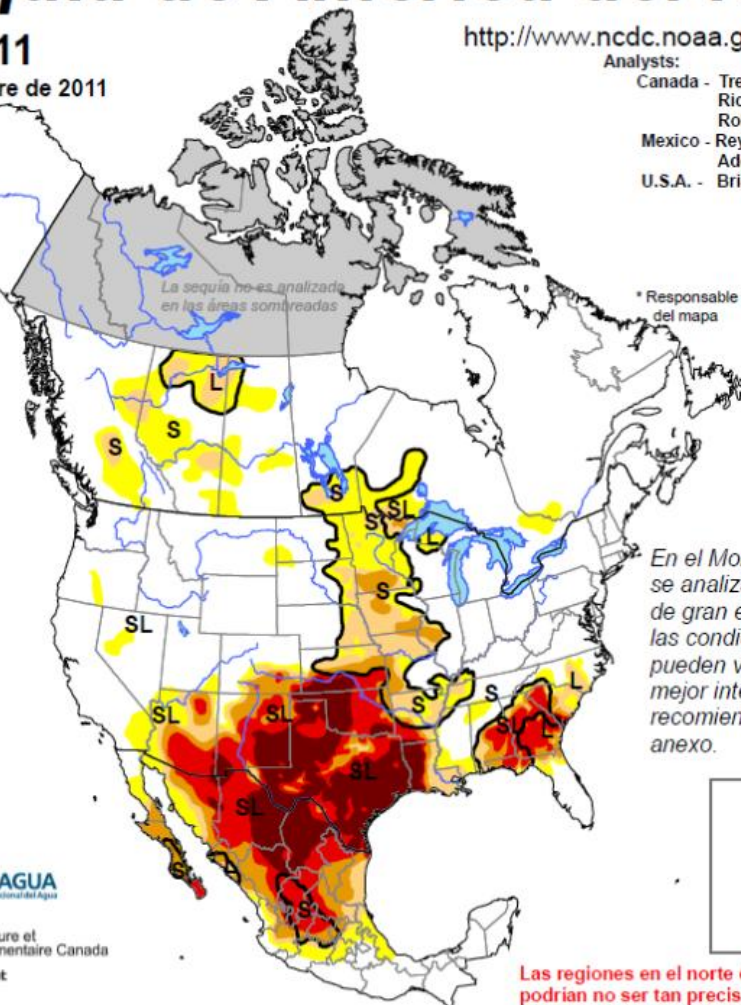
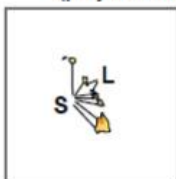
U.S.A. - Brian Fuchs

Intensidad de la Sequía:

- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

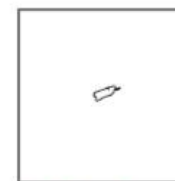
Tipos de Impacto de la Sequía:

- ~ Delimita impactos dominantes
- S = Corto periodo, típicamente <6 meses  
(p.ej. agricultura, pastizales)
- L = Largo periodo, típicamente >6 meses  
(p.ej. hidrología, ecología)



\* Responsable de la integración del mapa

En el Monitor de Sequía se analizan condiciones de gran escala, por lo que las condiciones locales pueden variar. Para una mejor interpretación se recomienda ver el texto anexo.



Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.

Figura 1.36 Monitor de Sequía de América del Norte, Octubre 2011.

# Monitor de Sequía de América del Norte

Enero 31, 2012

Liberado: Miércoles, 15 de febrero de 2012

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

Analysts:

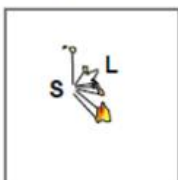
Canada - Trevor Hadwen  
Richard Rieger  
Mexico - Reynaldo Pascual  
Adelina Albanil  
U.S.A. - Eric Luebehusen  
Richard Heim\*  
Liz Love-Brotak

Intensidad de la Sequía:

- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

Tipos de Impacto de la Sequía:

- Delimita impactos dominantes
- S = Corto periodo, típicamente <6 meses (p.ej. agricultura, pastizales)
- L = Largo periodo, típicamente >6 meses (p.ej. hidrología, ecología)



La sequía no es analizada en las áreas sombreadas

\* Responsable de la integración del mapa

En el Monitor de Sequía se analizan condiciones de gran escala, por lo que las condiciones locales pueden variar. Para una mejor interpretación se recomienda ver el texto anexo.



Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.

Figura 1.37 Monitor de Sequía de América del Norte, Enero 2012.

# Monitor de Sequía de América del Norte

Febrero 29, 2012

Liberado: Martes, 13 de Marzo de 2012

<http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html>

Analistas:

Canada - Trevor Hadwen\*  
Richard Rieger  
Mallory MacDonald  
Mexico - Reynaldo Pascual  
Adelina Albanil  
U.S.A. - Mark Svoboda

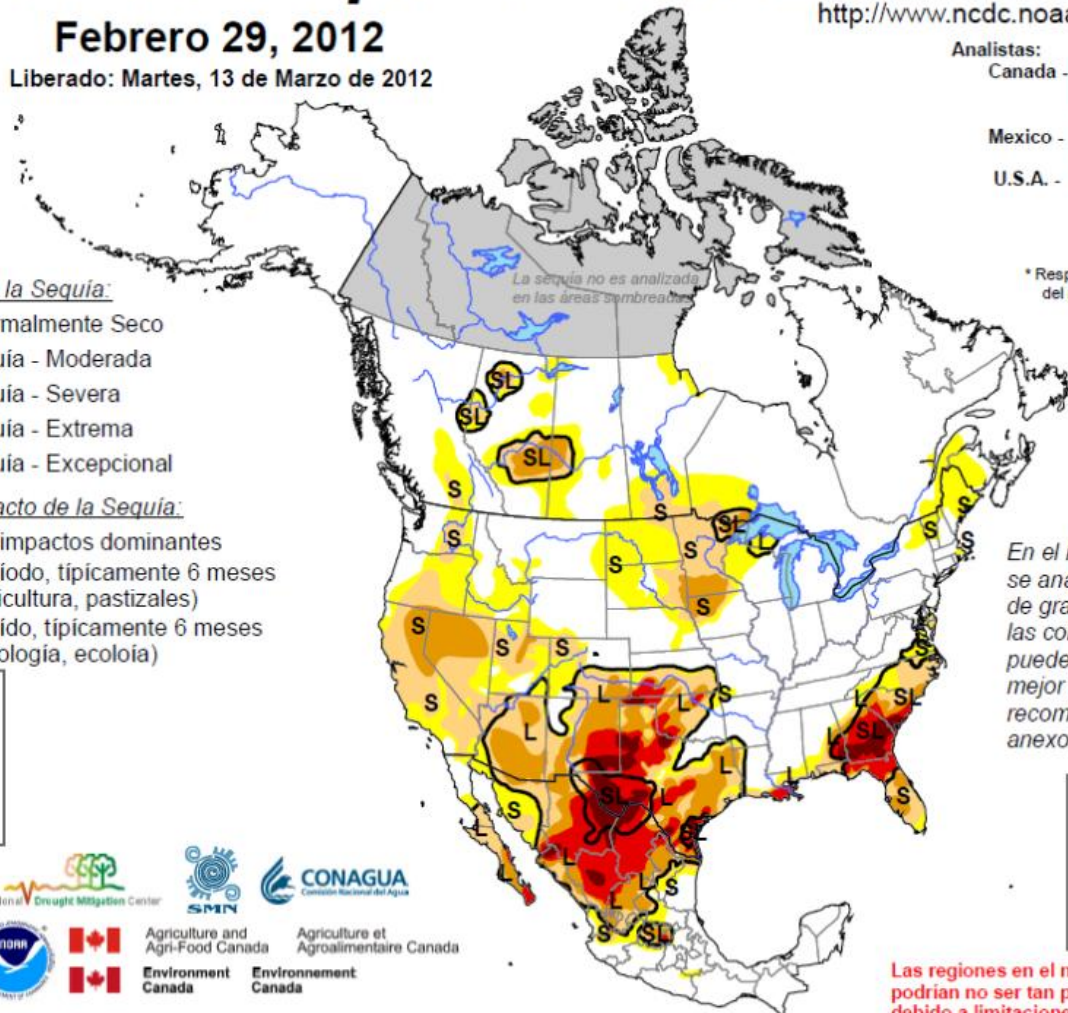
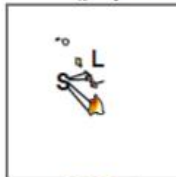
\* Responsable de la integración del mapa

Intensidad de la Sequía:

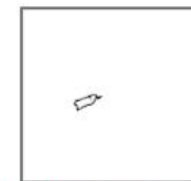
- D0 Anormalmente Seco
- D1 Sequía - Moderada
- D2 Sequía - Severa
- D3 Sequía - Extrema
- D4 Sequía - Excepcional

Tipos de Impacto de la Sequía:

- ~ Delimita impactos dominantes
- S = Corto periodo, típicamente 6 meses (p. ej. agricultura, pastizales)
- L = Largo periodo, típicamente 6 meses (p.ej. hidrología, ecología)



En el Monitor de Sequía se analizan condiciones de gran escala, por lo que las condiciones locales pueden variar. Para una mejor interpretación se recomienda ver el texto anexo.



Las regiones en el norte de Canadá podrían no ser tan precisas como el resto, debido a limitaciones en la información.

Figura 1.38 Monitor de Sequía de América del Norte, Febrero 2012.

### 1.2.3 Problemas socioeconómicos

Los desastres naturales, tales como la sequía en su fase más crítica, constituyen detonadores de situaciones sociales, económicas y políticas preexistentes. En el momento de la emergencia afloran conflictos, relaciones y situaciones que no aparecen con tanta claridad cuando la vida no es alterada por la ausencia o escasez de agua.

Actualmente, los efectos más desastrosos de una sequía se dejan sentir en el aspecto económico y social, Tabla 1.7, ya que las enormes pérdidas en cosechas, animales, paro en la producción industrial, etc., ocasionan, entre otras cosas, reducción del poder adquisitivo de la población, migración obligada de la fuerza laboral hacia otras regiones menos afectadas, provocando un desequilibrio en la oferta-demanda de las fuentes de trabajo, retroceso en el nivel de vida y aspiraciones de la población afectada.

La recurrencia de este fenómeno es difícil de determinar, y su ocurrencia ha transformado a México de un país exportador en uno importador de maíz. Sus efectos se transmiten a toda la economía: Aumentan primero los productos agrícolas; enseguida, toda industria que dependa de insumos agrícolas, la de la carne y la de los textiles de lana o algodón aumenta sus costos, y el consumidor finalmente lo resiente.

**Tabla 1.7 Estadísticas mexicanas de pérdidas materiales y de vidas. CENAPRED**

Estadísticas mexicanas de pérdidas materiales y de vidas					
Tipos de Sequía	No. de Municipios	Área afectada		Población afectada	
		Km <sup>2</sup>	%	No. Habitantes	%
Severa	195	573, 300	29	299, 913, 699	10
Media	408	712, 800	37	21, 478, 004	22
Baja	572	81, 620	4	6, 764, 556	7

Degradación del medio ambiente, desertificación y pobreza entre la población son manifestaciones de este fenómeno. La tercera parte de la población mexicana vive del sector agrícola. Los ejidos con tierras de temporal son susceptibles en extremo. Y puesto que la sequía golpea a todas las empresas, las posibilidades de hallar empleo se reducen y, en consecuencia, el desempleo se generaliza.

La prevención es la única manera de mitigar sus efectos. Crear organismos destinados a coordinar actividades tales como:

- ✿ Almacenamiento adecuado de granos básicos.
- ✿ Planes de conservación de la infraestructura.
- ✿ Mejorar la eficiencia agrícola mediante sistemas de irrigación óptimos
- ✿ Contar con un buen sistema de almacenamiento de agua como son las presas, tanques, etc.
- ✿ Plantas de tratamiento de aguas residuales
- ✿ Introducir un ganado que se adapte mejor a las condiciones ambientales.
- ✿ Controlar la contaminación en los ríos, ya que esto acrecentará la calidad y la cantidad aprovechable.
- ✿ Contar con programas de educación en la población para crear una cultura de uso eficiente del agua

Serán las únicas medidas con las cuales afrontar este fenómeno natural.

### 1.3 Inundaciones

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974), inundación se define como *“el aumento temporal del agua por arriba del nivel normal del cauce lo cual en ocasiones llega a generar daños en terrenos aledaños”*. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños.

Específicamente inundación se puede entender como aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay, generando daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2004).

Es claro que las inundaciones no son ocasionadas por un mecanismo aislado, el tipo de precipitación, las características fisiográficas que determinan la respuesta de la cuenca, la urbanización y los sistemas de protección contra inundaciones son responsables en su conjunto del tipo de inundación que se presente en la zona. El Centro Nacional para la Prevención de Desastres CENAPRED, clasifica las inundaciones de acuerdo con su origen y con el tipo de respuesta de la cuenca:

- El mecanismo que las genere, pueden ser pluviales (por exceso de lluvia), fluviales (por desbordamiento de ríos), por marea de tormenta (producida por huracanes en las costas) o por falla o mala operación de obras hidráulicas.
- El tiempo de duración de la inundación, éstas pueden ser lentas o súbitas.

En el caso particular del valle de México la combinación de factores que ocasionan las inundaciones dan origen a tres tipos de problemas: lluvias intensas con presencia recurrente en las laderas, encharcamientos y grandes inundaciones (Domínguez, 2010).

### *1.3.1 Inundaciones al sureste del territorio nacional*

Cada año, el sureste mexicano sufre inundaciones y desastres por el hecho de que los ríos se desbordan en varios puntos, arrasan zonas agrícolas y urbanas, afectan vidas y propiedades de manera importante.



Esto es, el 71 % del escurrimiento de la Cuenca Grijalva-Usumacinta llega al mar sin uso alguno y en varios años durante lluvias, ocasionan severos daños.

Cuando el río Usumacinta crece, se inunda de manera descontrolada la planicie tabasqueña; parte del problema es que se obstruye la salida franca del Grijalva con el Usumacinta. Se ha estimado que a pesar de separar los ríos, seguirán existiendo inundaciones. Los ríos de la Sierra, llegan aguas arriba de Villahermosa e inciden en la Ciudad.

Para resolver estos problemas es necesario realizar acciones que permitan un mayor control de los escurrimientos en la planicie Tabasqueña, es importante el aprovechamiento integral de las cuencas, con proyectos que permitan usos múltiples y beneficien a la Región de manera muy importante.

Simultáneamente se deben ejecutar las obras que integran el Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), muchas de ellas ya iniciadas e inconclusas por diferentes razones.

Aún tomando estas acciones, no se evita el riesgo de inundaciones en la Ciudad de Villahermosa, ya que los ríos de la Sierra no tienen control y el río Samaria escurre en zonas que cada vez tienen mayor población en sus márgenes.

Entre una de las acciones más importantes se encuentra dragar el río Samaria para permitir en caso de avenidas importantes, que fluya el agua del río Mezcalapa hacia el mar sin entrar al río Carrizal y por lo tanto proteger centros urbanos importantes. Esta acción significa dragar de 600,000 a 800,000 m<sup>3</sup> de material sedimentado en la bifurcación Samaria-Carrizal.

Se deben terminar las obras de protección de la Cd. de Villahermosa, así como, construir las obras necesarias para regular los ríos de La Sierra y la extracción del agua por el río Mezcalapa.



También es necesario vigilar estrechamente los niveles críticos de los ríos en la zona urbana, verificando que no existan obstrucciones importantes.

Independizar el escurrimiento base que proviene del P.H. Peñitas para su extracción al mar y así liberar al río Samaria de estos escurrimientos, lo que se hace con la estructura de control de El Macayo.

La correcta ejecución de estas y otras acciones ayudaran a disminuir los efectos de las inundaciones que año tras año afectan el sureste de nuestro país.

### *1.3.2 Problemas socioeconómicos*

Se debe realizar una adecuada planeación integral de la disponibilidad hídrica y la satisfacción de las diferentes demandas (agrícolas, ganadera, industriales, urbanas), tal que traten de minimizar al máximo los problemas de inundaciones.

Una acción prioritaria a resolver es el problema extremo de la deforestación, en la actualidad ocurre que a pesar de que llueve igual o menos que otros años las inundaciones se están incrementando, esto se debe al aumento del flujo superficial por la falta de cobertura vegetal y por los procesos acelerados y caóticos de urbanización, es decir, esto quiere decir que no todas las inundaciones se deben a la mala operación de las obras hidráulicas. El manejo adecuado de los efectos negativos de los fenómenos climatológicos extremos deberán plasmarse en un plan de acciones para cada municipio, el cual es elaborado principalmente por las autoridades y usuarios del agua. La mejor forma de reducir los impactos negativos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos es con una correcta planeación para el manejo de la relación disponibilidad-demanda.

En algunos municipios del país año con año se pierden cosechas, animales, negocios, casas debido a las inundaciones; aunado a esto se producen enfermedades que debido a los desastres ocurridos son difíciles de controlar y

provocan la muerte de miles de personas, es necesario implantar medidas adecuadas de potabilización de agua ya que esto podrá salvar millones de vidas.

### 1.3.3 *Protección contra inundaciones*

Las acciones de atención van desde la alerta oportuna sobre riesgos por fenómenos hidrometeorológicos extremos, el desarrollo de planes de prevención, la construcción y el mantenimiento de infraestructura de protección y la coordinación interinstitucional.

Cabe destacar la reciente integración del Inventario Nacional de Obras de Protección contra Inundaciones (INOPCI).

Las acciones de protección contra inundaciones pueden ser de dos tipos:

- Medidas estructurales (construcción de obras).
- Medidas no estructurales (indirectas o institucionales).

Desde el punto de vista económico, tanto las medidas estructurales como las no estructurales tienen aplicación en las zonas que ya están desarrolladas; mientras que en las áreas poco desarrolladas las segundas muchas veces tienen el mismo o un mayor impacto que las estructurales, Figura 1.40.

#### 1.3.3.1 Medidas estructurales

El objetivo de las medidas *estructurales* es evitar o mitigar los daños provocados por una inundación, mediante la construcción de obras usualmente realizadas por las dependencias gubernamentales

Situación del recurso agua en la Republica Mexicana.

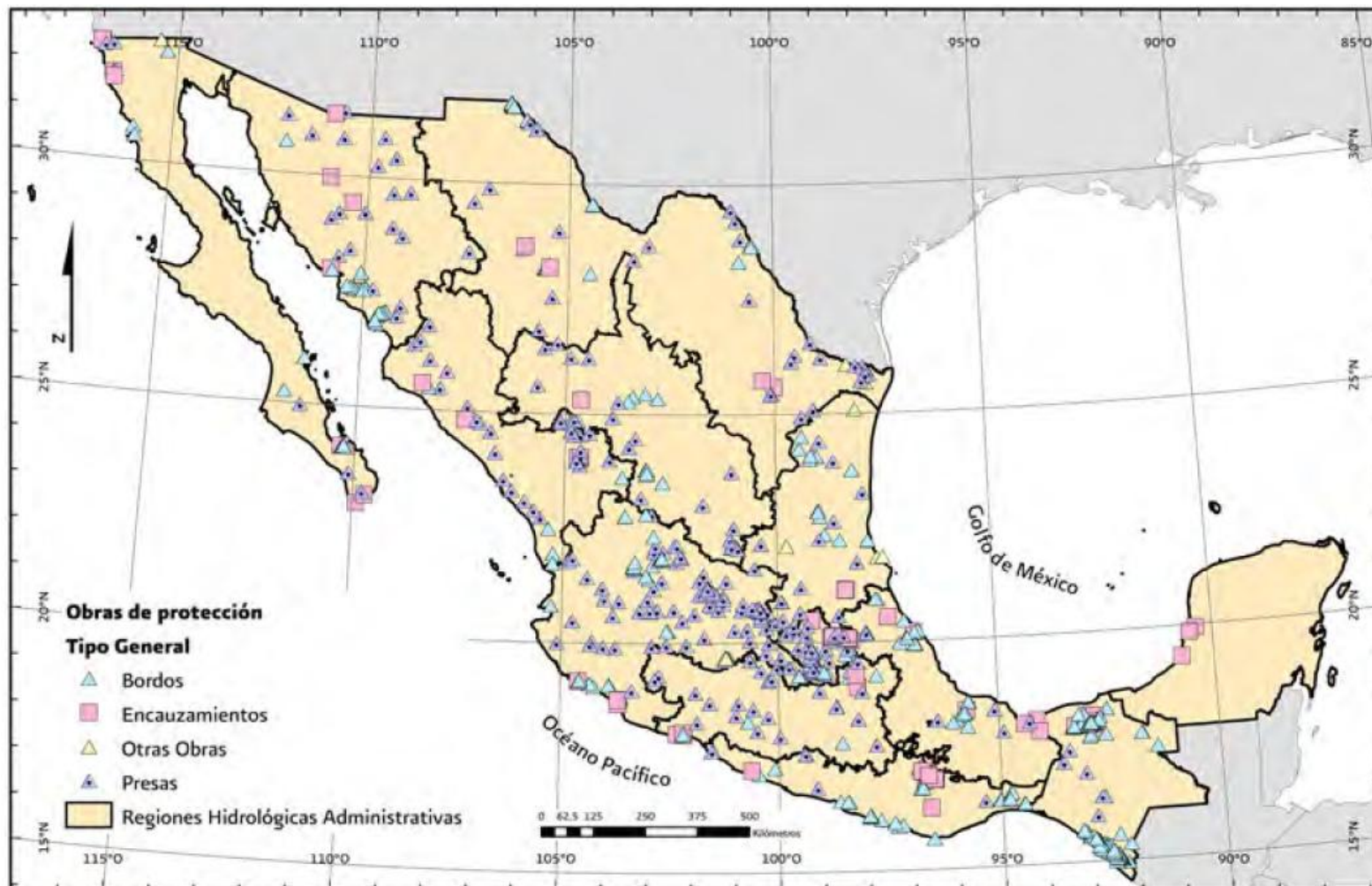


Figura 1.40 Obras de protección contra inundaciones. CONAGUA

Dentro de este grupo está cualquier obra de infraestructura hidráulica que ayude a evitar o, al menos, mitigar inundaciones (Salas, 1999). Este objetivo se puede alcanzar de dos maneras: mantener el agua dentro del cauce del río o evitar que el agua, que ha salido de los cauces, alcance poblaciones o zonas de interés. Algunas de las obras hidráulicas más utilizadas son:

- Obras de regulación
- Obras de rectificación
- Obras de protección

### 1.3.3.2 Medidas no estructurales o Acciones Institucionales

Son aquellas cuya finalidad es informar oportunamente a las poblaciones de la ocurrencia de una posible avenida, para que no haya muertes y se minimicen los daños. En este rubro se incluyen los reglamentos de usos del suelo, el alertamiento y los programas de comunicación social y de difusión, Figura 1.41.



Figura 1.41 Niveles de alertamiento para la prevención de desastres de fenómenos hidrometeorológicos, CENAPRED

Este tipo de medidas se basa en la planeación, organización, coordinación y ejecución de acciones que buscan disminuir los daños causados por las inundaciones. Pueden ser de carácter permanente o aplicable sólo durante la contingencia.

Las principales acciones por desarrollar dentro de este tipo de medidas se relacionan con la conservación y cuidado de las cuencas, la elaboración de mapas de riesgo y reordenamiento territorial, la vigilancia y alerta, la operación de la infraestructura hidráulica, los planes de protección civil, la difusión de boletines de alerta y la evacuación de personas y bienes afectables, Figura 1.42.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) realiza acciones dirigidas a:

- Consolidar los sistemas de información y alerta de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos.
- Apoyar la implementación de planes de prevención y atención de inundaciones a nivel de cuenca hidrológica.
- Mantener, conservar y ampliar la infraestructura hidráulica federal de control de avenidas.
- Coadyuvar con otras instancias del gobierno en la protección de los habitantes en zonas de alto riesgo de inundación.

Además, se han instalado trece Centros Regionales para la Atención de Emergencias (CRAE) en diferentes sitios del país, con la finalidad de apoyar a estados y municipios en el suministro de agua potable y saneamiento en situaciones de riesgo.

Entre el equipo con que cuentan los CRAE se tienen plantas potabilizadoras móviles, equipos de bombeo, plantas para la generación independiente de energía eléctrica, camiones pipa y equipo de transporte para la maquinaria. La atención de las emergencias las realiza la CONAGUA de manera coordinada con los municipios, estados y dependencias federales.

# Situación del recurso agua en la Republica Mexicana.

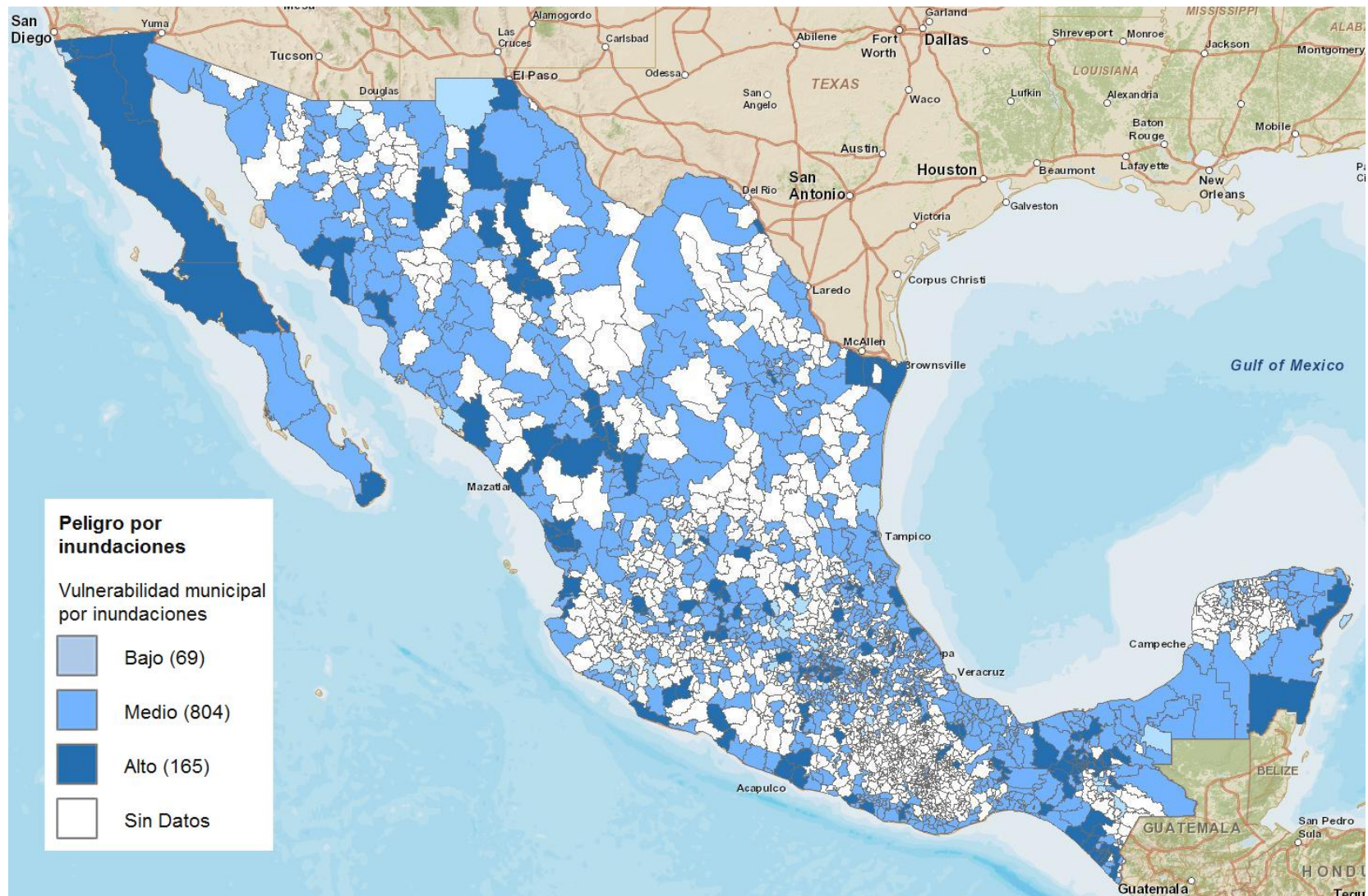
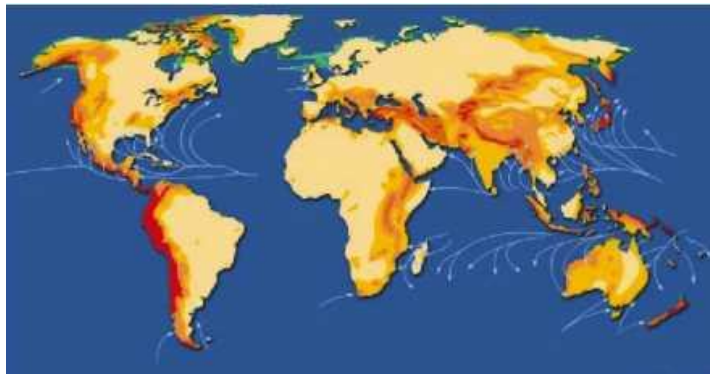


Figura 1.42 Mapa “Peligros por inundaciones”. Atlas nacional de riesgos, CENAPRED.

## 1.4 Huracanes

Un ciclón tropical es *un remolino gigantesco que cubre cientos de miles de kilómetros cuadrados y tiene lugar, primordialmente, sobre los espacios oceánicos tropicales*. Cuando las condiciones oceánicas y atmosféricas propician que se genere un ciclón tropical, la evolución y desarrollo de éste puede llegar a convertirlo en huracán. El término huracán tiene su origen en el nombre que los mayas y caribeños daban al dios de las tormentas.

Los ciclones del hemisferio norte se generan en los océanos Atlántico y Pacífico entre los 5° y 15° de latitud desplazándose hacia el oeste. La formación de los ciclones en los océanos se ve favorecida cuando la temperatura de la capa superficial de agua supera los 26° C. Lo anterior, aunado a la existencia de una zona de baja presión atmosférica, hacia la cual convergen vientos de todas direcciones.



**Figura 1.43 Trayectorias promedio de desplazamiento de ciclones en el mundo. CENAPRED**

Los vientos en la zona circundante fluyen y aumentan el ascenso del aire caliente y húmedo que libera vapor de agua. El calor latente, ganado por la condensación del vapor de agua, es la fuente de energía del ciclón. Una vez que se inicia el movimiento del aire hacia arriba, a través de la columna central, se incrementa la entrada de aire en los niveles más bajos, con la correspondiente salida en el nivel superior del fenómeno. Por la influencia de la fuerza de rotación de la Tierra, el aire converge, gira y comienza a moverse en espiral, en sentido contrario a las manecillas del reloj, en el caso del Hemisferio Norte.

La energía del ciclón aumenta conforme es mayor la diferencia entre la presión en su centro con respecto a la normal de la periferia exterior. Como esta última es del orden de 101.3 kPa, resulta que mientras más reducida sea la central, mayor será su intensidad.

Las regiones donde se originan los ciclones se les conocen como zonas ciclogénicas, siendo estas la sonda de Campeche, Golfo de Tehuantepec, Caribe (alrededor de los 13 grados latitud norte y 65 grados longitud oeste) y sur de las islas Cabo Verde (cerca de los 12 grados latitud norte y 57 grados longitud oeste).


En la Tabla 1.8 se muestra la estadística de los Estados más afectados por la presencia de Ciclones.

**Tabla 1.8 Estados que son afectados por los ciclones tropicales (Probabilidad de que se presente en un año). CENAPRED**

Estados que son afectados por los ciclones tropicales		
Baja California Sur (0.34)	Yucatán (0.16)	Veracruz (0.09)
Colima (0.32)	Tamaulipas (0.15)	Tabasco (0.08)
Jalisco (0.30)	Nayarit (0.13)	Chiapas (0.08)
Quintana Roo (0.22)	Guerrero (0.13)	Baja California (0.08)
Michoacán (0.21)	Oaxaca (0.13)	Sonora (0.07)
Sinaloa (0.20)	Campeche (0.13)	

Los aspectos destructivos de los ciclones tropicales, que marcan su intensidad, se deben principalmente a: viento, oleaje, marea de tormenta y lluvia.

La evolución de un ciclón tropical puede llegar a desarrollar cuatro etapas:

-  **Perturbación Tropical:** Zona de inestabilidad atmosférica asociada a la existencia de un área de baja presión, la cual propicia la generación incipiente de vientos convergentes cuya organización eventual provoca el desarrollo de una depresión tropical.



- ☀ Depresión Tropical: Los vientos se incrementan en la superficie, producto de la existencia de una zona de baja presión. Dichos vientos alcanzan una velocidad sostenida menor o igual a 62 kilómetros por hora.
- ☀ Tormenta Tropical: El incremento continuo de los vientos provoca que éstos alcancen velocidades sostenidas entre los 63 y 118 km/h. Las nubes se distribuyen en forma de espiral. Cuando el ciclón alcanza esta intensidad se le asigna un nombre preestablecido por la Organización Meteorológica Mundial.
- ☀ Huracán: es un ciclón tropical en el cual los vientos máximos sostenidos alcanzan o superan los 119 km/h. El área nubosa cubre una extensión entre los 500 y 900 km de diámetro, produciendo lluvias intensas. El ojo del huracán alcanza normalmente un diámetro que varía entre 24 y 40 km, sin embargo, puede llegar hasta cerca de 100 km.

Los ciclones tropicales se clasifican por medio de la **escala Saffir-Simpson**, como se indica en la Tabla 1.9

También existen efectos positivos, a pesar de que el impacto de los ciclones tropicales puede causar muchos daños por efecto del viento, oleaje, lluvia y marea de tormenta, gracias a ellos, por la precipitación proporcionada, es factible que las presas se llenen y los acuíferos se recarguen, facilitando con ello la existencia de agua para las cosechas de temporada, la generación hidroeléctrica, el riego en zonas semiáridas y el suministro de agua potable.

Debido a las características de los huracanes, su observación se debe hacer desde un punto de vista que ofrezca la mejor perspectiva; esto sólo desde arriba (el espacio exterior) es posible. Para lograrlo, en un tiempo relativamente breve se ha desarrollado una tecnología de satélites especiales para meteorología. Estos satélites se dividen en dos grandes grupos:

- ☀ De órbita polar; giran alrededor de la tierra a altitudes comprendidas entre 700 y 1 000 kilómetros

Tabla 1.9 Clasificación de los ciclones tropicales de Saffir-Simpson.

Clasificación de los ciclones tropicales de Saffir-Simpson				
Categoría	Presión central (mb)	Vientos (km/h)	Tormenta de marea (m)	Características
Categoría 1	980.1 a 985	118.1 a 154	1.2 a 1.5	Árboles pequeños caídos; algunas inundaciones en carreteras costeras en sus zonas más bajas.
Categoría 2	965.1 a 980	154.1 a 178	1.8 a 2.5	Tejados, puertas y ventanas dañados; desprendimiento de árboles.
Categoría 3	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Grietas en pequeñas construcciones; inundaciones en terrenos bajos y planos.
Categoría 4	920.1 a 945	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Desprendimiento de techos en viviendas; erosiones importantes en playas, cauces de ríos y arroyos. Daños inminentes en los servicios de agua potable y saneamiento.
Categoría 5	Menor a 920	Mayores a 250	Mayores a 5.5	Daño muy severo y extenso en ventanas y puertas. Falla total de techos en muchas residencias y edificios.

- Geoestacionarios; ocupan una posición fija por encima del ecuador, a aproximadamente 36 000 kilómetros

La información captada por los satélites se transmite a centros meteorológicos, que la procesan e interpretan para mantener informada a la población acerca del surgimiento y de las características de los huracanes.

En nuestro país, a partir de 1982 en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, de la UNAM, se produjeron los primeros pronósticos utilizando el modelo barotrópico no divergente en 500 mb. En 1990 se utilizó el modelo baroclínico de dos parámetros se pronosticó con buena precisión la trayectoria del huracán Diana.

En México el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se encarga de captar, procesar e interpretar dichos datos con la finalidad de mantener informados a los centros de prevención y autoridades, así como a la población sobre el surgimiento, trayectoria de desplazamiento, avance y otras características de los huracanes.

La estadística que refleja la afectación del territorio nacional en función de la precipitación se muestra en la Tabla 1.10, los huracanes que han provocado mayores daños se muestran en la Tabla 1.11 y Figura 1.44.

**Tabla 1.10 Lluvia máxima de huracanes q han afectado el territorio nacional. CENAPRED**

<b>Lluvia máxima de huracanes q han afectado el territorio nacional.</b>			
<b>Huracán</b>	<b>Fecha</b>	<b>Localidad</b>	<b>Lluvia máxima en 24h (mm)</b>
Gladis	1 sep. 1955	Catemaco, Ver	253
Hilda	19 sep. 1955	Villa de Reyes, S.L.P.	384
Janet	29 sep. 1955	Villa de Reyes, S.L.P.	535
Beulah	22 sep. 1967	Monterrey	541
Naomi	13 sep. 1968	Río Baluarte, Sin	500
Liza	30 sep. 1976	La Paz	410
Gilbert	15 sep. 1988	Monterrey	310
Roxanne	20 oct. 1995	Martínez de la Torre	297
Pauline	9 oct. 1997	Acapulco	411

Tabla 1.11 Huracanes intensos que han impactado en México, según fecha de ocurrencia, en el periodo 1970-2010. CONAGUA

Huracanes intensos que han impactado en México, según fecha de ocurrencia, en el periodo 1970-2010						
No	Nombre del huracán	Lugar de entrada a tierra	Fecha de ocurrencia [inicio-fin]	Velocidad máxima (km/h)	Categoría	Costa
1	Ella	Akumal, Q. Roo.	8-13 sept, 1970	195	DT	Atlántico
2	Carmen	Punta Herradura, Q. Roo.	29 ago-10 sept, 1974	222	H4	Atlántico
3	Caroline	La Pesca, Tamaulipas.	24 ago-1 sept, 1975	185	H3	Atlántico
4	Olivia	Villa Unión, Sinaloa.	22-25 oct, 1975	185	H3	Pacífico
5	Liza	La Paz, Baja California Sur.	25 sept-2 oct, 1976	220	H4	Pacífico
6	Madeline	B. Petacalco, Guerrero.	29 sept-8 oct, 1976	230	H4	Pacífico
7	Anita	La Pesca, Tamaulipas.	29 ago- 3 sept, 1977	280	H5	Atlántico
8	Allen	Rio Bravo, Tamaulipas.	31 jul-11 ago, 1980	185	H3	Atlántico
9	Tico	Caimanerp, Sinaloa.	11-19 oct, 1983	205	H3	Pacífico
10	Gilbert	Puerto Morelos, Q. Roo.	8-20 sept, 1988	287	H5	Atlántico
11	Kiko	B. Los Muertos, Baja California Sur.	24-29 ago, 1989	195	H3	Pacífico
12	Roxanne	Tulúm, Q. Roo.	8-20 oct, 1995	185	H3	Atlántico
13	Pauline	Puerto Ángel, Oaxaca.	6-10 oct, 1997	195	H3	Pacífico
14	Isidore	Telchac Puerto, Yucatán.	18-25 sept, 2002	205	H3	Atlántico
15	Kenna	San Blas, Nayarit.	21-25 oct, 2002	230	H4	Pacífico
16	Emily	20Km al N de Tulúm Q. Roo.	10-21 jul, 2005	215	H4	Atlántico
17	Wilma	Cozumel-Playa del Carmen, Q. Roo.	15-25 oct, 2005	230	H4	Atlántico
18	Lane	La Cruz de Elota, Sinaloa.	13-17 sept, 2006	205	H3	Pacífico
19	Dean	Puerto Bravo, Q. Roo.	13-23 ago, 2007	260	H5	Atlántico
20	Karl	Chetumal, Q. Roo.	14-18 sept, 2010	185	TT	Atlántico

Situación del recurso agua en la Republica Mexicana.

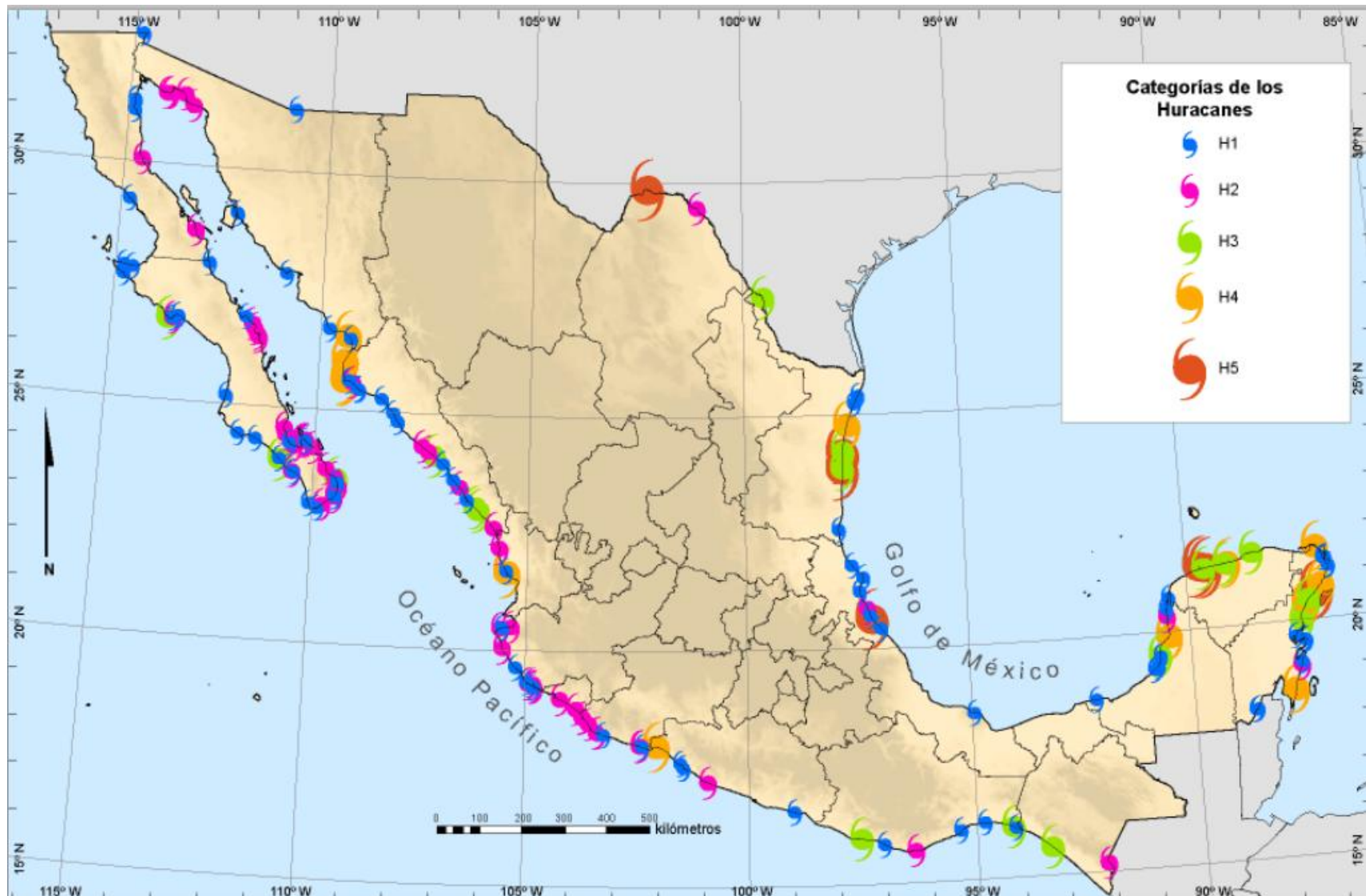


Figura 1.44 Huracanes que han afectado a México en el periodo 1970 a 2008. CONAGUA

## 1.5 Normatividad en materia de desastres naturales

### 1.5.1 FOPREDEN y FONDEN

#### **FOPREDEN**

El Fondo para la Prevención de Desastres Naturales FOPREDEN tiene como finalidad el financiar Proyectos Preventivos y Proyectos Preventivos Estratégicos enfocados a la reducción de los riesgos y que contribuyan a evitar o disminuir los daños originados por la presencia de Fenómenos Naturales Perturbadores; así como, promover y replicar Proyectos Preventivos modelo, y constituir mediante subcuentas específicas en el Fideicomiso Preventivo, fondos y reservas financieras con el propósito de asegurar la oportuna asignación y aplicación de recursos dirigidos a Proyectos Preventivos y a solventar aspectos prioritarios y urgentes relacionados o derivados de Fenómenos Naturales Perturbadores.

El objetivo del FOPREDEN es:

*La promoción y fomento a la actividad preventiva tendiente a reducir los riesgos, y disminuir o evitar los efectos del impacto destructivo originado por fenómenos naturales, así como promover el desarrollo de estudios orientados a la Gestión Integral del Riesgo para fomentar y apoyar la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico en favor de la prevención de desastres y mitigación de riesgos derivados de fenómenos naturales perturbadores y la adaptación a sus efectos. SINAPROC.*

Otra de las finalidades importantes incluidas en el FOPREDEN es la correspondiente a la Gestión Integral del Riesgo, que contempla: la reducción, previsión y control permanente y priorizado del riesgo de desastre en la población; el combate a las causas estructurales de los mismos, y el fortalecimiento de las capacidades de resiliencia de la sociedad.

El FOPREDEN está integrado por el programa “Provisiones Salariales y Económicas” y el Fideicomiso Preventivo, este da su apoyo a las Entidades

Federativas; las Dependencias; y en general cualquier instancia pública de orden federal cuyas atribuciones o competencia sean compatibles con los objetivos del FOPREDEN.

Los recursos económicos autorizados para el FOPREDEN son de origen federal los cuales corresponden a subsidios y provienen del Presupuesto de Egresos de la Federación de cada ejercicio fiscal.

## **FONDEN**

El Fondo de Desastres Naturales FONDEN es un instrumento financiero que tiene como objetivo atender los efectos de desastres naturales imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad financiera de respuesta de las dependencias y entidades paraestatales, así como de las entidades federativas; por lo tanto, es un complemento de las acciones que deben llevarse a cabo para la atención de desastres naturales.

A través de FONDEN se pretende proporcionar suministros de auxilio y asistencia ante situaciones de emergencia y de desastre, para responder de manera inmediata y oportuna a las necesidades urgentes para la protección de la vida y la salud de la población, generadas ante la inminencia o alta probabilidad de que ocurra un fenómeno natural perturbador.

El FONDEN cubre a toda la Republica Mexicana por desastres naturales provocados por fenómenos:

- ✿ Geológicos: sismo, erupción volcánica, maremoto, deslave.
- ✿ Hidrometeorológicos: sequia atípica e impredecible, ciclón (en sus diferentes manifestaciones: depresión tropical, tormenta tropical y huracán), lluvia torrencial, nevada y granizada, inundación atípica, tornado.
- ✿ Salud.
- ✿ Incendio forestal.

Previa recomendación de la Comisión, se podrá cubrir con cargo al FONDEN o al Fideicomiso FONDEN, los daños derivados de cualquier otro fenómeno natural o situación climatológica inédita e imprevisible, con características similares a los desastres antes señalados en términos de su origen, periodicidad y severidad en los daños; así como otros desastres naturales no previstos en las Reglas de Operación.

Los tipos de apoyo que otorga el FONDEN a los gobiernos estatales y a los gobiernos municipales tienen cobertura en: infraestructura pública, incendios forestales, bosques, áreas naturales protegidas, zonas costeras, cauces de ríos y lagunas, población damnificada, cobertura al patrimonio arqueológico, artístico e histórico.

El FONDEN apoya a través del Fondo Revolvente a la población que pudiera verse afectada, ante la inminencia de un desastre natural que ponga en peligro la vida humana, ayuda a mitigar los daños a las viviendas de la población de bajos ingresos afectadas por un desastre natural, compensa parcialmente las pérdidas de ingresos de la población afectada por un desastre natural, generando fuentes transitorias de ingreso, consolida, reestructura o, en su caso, reconstruye, por los medios que determinen en lo que corresponda al Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, al Instituto Nacional de Antropología e Historia y al Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura, los monumentos arqueológicos, artísticos e históricos considerados como tales por Ley o por declaratoria, así como, adquiere equipo y bienes muebles especializados y, en su caso, la instalación de los mismos, que por sus características contribuyan a responder con mayor eficacia y prontitud en la eventualidad de una emergencia o desastre.



## **2 Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.**

### **2.1 Precipitación**

La importancia de la precipitación radica en que ayuda a mantener el balance atmosférico. Sin precipitaciones, todas las tierras del planeta serían desiertos. Las precipitaciones ayudan a las siembras y nos proporcionan agua para beber.

Sin embargo, las precipitaciones también pueden ser dañinas. Demasiada lluvia puede ocasionar inundaciones severas y daños en el campo y en zonas urbanas.

Los daños causados en los últimos años debido a fenómenos meteorológicos, tanto en términos materiales como de afectaciones humanas, han generado un mayor interés por determinar si con la información recopilada a la fecha es posible identificar tendencia en cuanto a cambios en su intensidad y/o frecuencia.

Actualmente se han identificado cambios en el clima a diversa escala, incluidos entre ellos aspectos de condiciones extremas, tal como la precipitación.

Siguiendo la propuesta de Houghton, se entiende como evento extremo aquel evento raro dentro de una distribución de frecuencias de un parámetro meteorológico (en nuestro caso, la precipitación) registrado en un sitio en particular (estación meteorológica).

Ante el cambio climático global, el Instituto Nacional de Ecología (INE) advierte que la alteración en el ciclo hidrológico llevará a que en México haya menos lluvia y temperaturas más elevadas que agravarán las condiciones del sector hídrico en el territorio nacional.

En un análisis por sectores de los impactos del cambio climático, el INE precisa que los periodos de sequía tienen como efecto una reducción en la disponibilidad de agua, mientras que eventos de precipitación extrema pueden causar inundaciones y afectaciones en los sistemas de distribución de agua potable.

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

“El cambio climático proyecta un ciclo hidrológico más intenso en todo el planeta por lo que se espera que las sequías sean más intensas y prolongadas, y se presente un mayor número de eventos de precipitación fuerte.” (INE)

Los escenarios de verano para 2020 y 2050 indican aumentos de entre 1 y 3 °C y disminuciones en la precipitación media anual de entre 5 y 10 por ciento.

Muchas obras de ingeniería civil requieren un adecuado conocimiento de las precipitaciones. En efecto, dimensionar correctamente el drenaje garantizaría la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto. El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas y el dimensionamiento adecuado de las obras de excedencia de las presas garantizará su seguridad, la de las poblaciones y demás estructuras que se sitúan aguas abajo de la misma. El conocimiento de las lluvias intensas, de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano y así evitar inundaciones en los centros poblados.

En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Esto incluye lluvia, llovizna, nieve, cinarra (precipitación en forma sólida, con el tamaño de los gránulos de hielo que no sobrepasa el milímetro y con una forma alargada) granizo; pero no la incluye la lluvia abortada (hidrometeoro que cae de una nube sin embargo esta se evapora antes de alcanzar el suelo), ni neblina ni rocío. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico ya que es responsable de depositar agua fresca en el planeta, es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) que se forman caen a la Tierra por gravedad. Se puede inducir a las nubes a producir precipitación, rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, generando las gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación.

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

Con los instrumentos de medición, los cuales se describirán en el subcapítulo 2.1.3 se ha podido establecer el comportamiento de la precipitación, algunos datos históricos son:

- ✿ El día (24 horas) más húmedo registrado ha sido en marzo de 1952, en Isla Reunión, protectorado francés y ubicada en el océano Índico, donde cayeron 1,870 milímetros.
- ✿ El lugar de la Tierra donde más ha llovido durante un año seguido (365 días) es Cherrapunji, India (1,312 m), con 26,461 mm, en agosto de 1960.
- ✿ El monte Waialeale Kauai (1,547 m) en Hawai, es donde se ha producido la media anual más alta de precipitación, con 11,684 mm, entre 1912 y 1945.
- ✿ Por el contrario, la media anual más baja de precipitación, con 0.7 mm, ha sido en el oasis Dachla, Egipto, entre 1932 y 1985.
- ✿ En Campell Island, Pacífico Sur, Nueva Zelanda, se registró una media de 325 días lluviosos, entre 1941 y 1957.
- ✿ La mayor sequía corresponde al desierto de Atacama, Chile, donde no llovió nada durante cuatro siglos, hasta 1971.
- ✿ El lugar habitado más seco del mundo es Asuán, Egipto, donde el promedio anual de lluvias es de 50 milímetros.

### *2.1.1 Tipos de Precipitación*

Cuando el agua condensada alcanza una masa crítica, se hace más pesado que el aire que la circunda y "precipita". Según el mecanismo por el cual dichas masas de aire son obligadas a ascender se pueden clasificar las precipitaciones según sean: frontales, convectivas u orográficas. A continuación se describirán.

- ✿ **Precipitación frontal o ciclónica:** ocurre cuando dos masas de aire de distintas presiones, tales como la fría (más pesada) y la cálida (más liviana) chocan una con la otra, generándose la condensación y posterior precipitación. Es propia de eventos ciclónicos así como frentes fríos o calientes.

- ✿ Precipitación convectiva: se produce, generalmente, en regiones cálidas y húmedas cuando masas de aire cálidas, al ascender en altura se enfrían, generándose de esta manera la precipitación.
- ✿ Precipitación orográfica. Efecto Foëhn: cuando una masa de aire húmedo circula hacia una masa montañosa se eleva hasta llegar a la cima de la montaña. Al ascender se enfría y el agua que contiene se condensa, por lo que se producen las precipitaciones y la masa de aire pierde humedad. Al pasar a la otra ladera de la montaña, el aire seco desciende y se calienta; se genera un viento seco y cálido que puede producir deshielo.

### *2.1.2 Clasificación de la precipitación*

Las gotas de agua no tienen forma de lágrima, (redonda por abajo y puntiaguda por arriba) como se suele pensar. Las gotas pequeñas son casi esféricas, mientras que las mayores están achatadas. Su tamaño oscila entre los 0.5 y los 6.35 mm, mientras que su velocidad de caída varía entre los 8 y los 32 km/h, dependiendo de su volumen.

La precipitación depende de tres factores: presión, temperatura y, en especial, radiación solar.

La precipitación, en su caída, se distribuye de forma irregular: una parte será aprovechada para las plantas, otra hará que los caudales de los ríos se incrementen por medio del escurrimiento superficial, otra parte se infiltrará a través del suelo y por medio de las fuerzas capilares y de gravedad formará corrientes subterráneas que irán a parar, o bien a depósitos naturales con paredes y fondos arcillosos que constituirán los llamados yacimientos o pozos naturales, o acabarán desembocando en el mar. La última parte se evaporará antes de llegar a la superficie por acción del calor.

Las precipitaciones se clasifican en:



- ✿ Llovizna: es cuando apenas se alcanzan a ver las gotas. En una llovizna la pluviosidad es casi insignificante y se ve como si las gotas flotaran en forma pulverizada. Popularmente se le llama “garúa”, “orvallo”, “sirimiri”, “calabobos”.
- ✿ “Chispear”: se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de éstas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan de tamaño.
- ✿ Lluvia: propiamente dicha, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una tormenta. Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas de agua líquida de diámetro mayor de 0.5 mm, si el diámetro es menor, será llovizna.
- ✿ Chubasco: el viento, y el tamaño de las gotas aumentan de intensidad.
- ✿ Tormenta: puede ser débil o intensa; su pluviosidad es alta, las gotas son grandes y el viento, intenso; incluye la posibilidad de que se precipite granizo.
- ✿ Tromba: es más fuerte que la tormenta. Tiene viento intenso, gotas grandes, pluviosidad suficientemente alta para inundar y causar estragos. Esta lluvia tiene la capacidad de crear granizo sumamente grande y con posibilidad de aparición de tornados. Las trombas tienen vórtices de viento, como una especie de "ojo".

La precipitación se puede clasificar con respecto a su intensidad, esta clasificación se muestra en la tabla 2.1

**Tabla 2.1 Clasificación de la precipitación respecto a su intensidad. IMTA**

Clasificación de la precipitación respecto a su intensidad	
Clasificación	Intensidad
Débiles	$i \leq 2\text{mm/hr}$
Moderadas	$2\text{mm/hr} < i \leq 15\text{mm/hr}$
Fuertes	$15\text{mm/hr} < i \leq 30\text{mm/hr}$
Muy fuertes	$30\text{mm/hr} < i \leq 60\text{mm/hr}$

**Tabla 2.2 Clases de precipitación respecto a la nube de procedencia. Apuntes de hidrología, REYES.**

Clases de precipitación respecto a la nube de procedencia		
Clase de Precipitación	Símbolo	Nube de procedencia
Lluvia	•	Nimbostratus, Stratocumulus y Stratus
Llovizna	,	Altostratus y Stratus
Aguacero		Cumulonimbus
Nieve	*	Altostratus, Nimbostratus y Stratocumulus
Granizo		Cumulonimbus

La distribución espacial de la precipitación sobre los continentes es muy variada, por ello existen extensas áreas como los desiertos, donde las precipitaciones son extremadamente escasas, del orden 0 a 200 mm de precipitación por año. En el desierto del Sahara la media anual de lluvia es de apenas algunos milímetros, mientras que en las áreas próximas al golfo de Darién, entre Colombia y Panamá, la precipitación anual es superior a 3,000 milímetros.

### *2.1.3 Instrumentos de medición de la precipitación*

La precipitación pluvial se mide en milímetros (mm), que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable.

Los aparatos más usuales en México para medir la precipitación son los pluviómetros y los pluviógrafos.

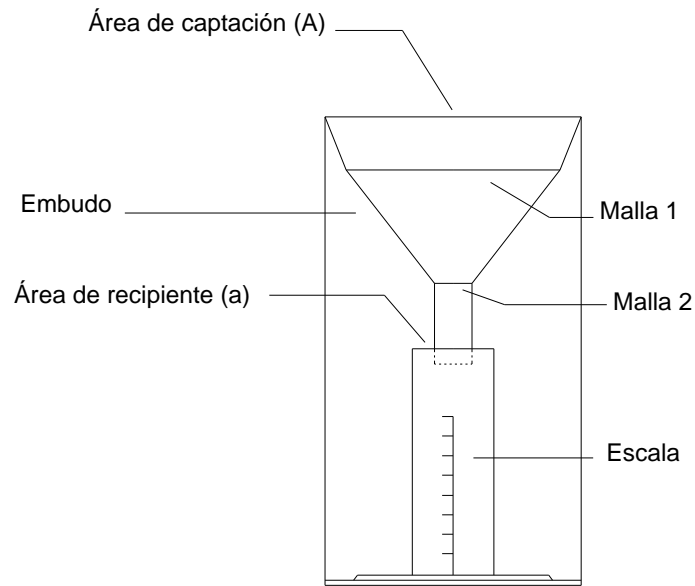
#### *2.1.3.1 Pluviómetro*

Los pluviómetros están formados por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal  $a$  en el que descarga un embudo que capta el agua de lluvia, y cuya área de captación es  $A$ , Figura 2.1. Se acostumbra colocar en el embudo un par de mallas para evitar la entrada de basura u otros objetos. El área de captación  $A$  es normalmente diez veces mayor que el área del recipiente  $a$ , con el objeto de que, por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta de una décima de milímetro de lluvia, que corresponde a un milímetro depositado en el recipiente. En México se acostumbra tomar lecturas de los pluviómetros diariamente a las 8 de la mañana

#### *2.1.3.2 Pluviógrafo*

Este es un instrumento que sirve para registrar en forma continua la cantidad total y la duración de lluvia caída en milímetros (mm), permitiendo analizar la distribución de la lluvia en el tiempo. El pluviógrafo que se utiliza normalmente en las estaciones es de sistema Hellman de Sifón.

El receptor del pluviógrafo es análogo al pluviómetro Hellman pero este va unido a una caja cilíndrica de mayor diámetro, en la que se aloja debidamente protegido el sistema del aparato, y un depósito colector Figura 2.2.



**Figura 2.1 Pluviómetro. APARICIO**

El agua recogida en el receptor pasa por un embudo y un tubo, el mecanismo de registro, constituido por un cilindro en cuyo interior hay un flotador que se desplaza verticalmente y está conectado a un brazo de palanca con una pluma que registra en la banda, (colocada sobre un tambor con un sistema de relojería) la precipitación captada. El sistema de descarga del cilindro en que se aloja el flotador es de sifón.

La instalación del pluviógrafo debe guardar las mismas precauciones que las del pluviómetro tratando de que el agua captada represente lo mejor posible el volumen precipitable en el área circundante. El pluviógrafo deberá estar especialmente protegido de los efectos del viento.

La altura de la boca del pluviógrafo será de 1.50 m, sobre el suelo, y su superficie quedará perfectamente horizontal, es muy importante la nivelación del aparato, para que su funcionamiento sea correcto.



Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

Las gráficas que se ajustan al tambor, pueden ser diaria, semanal o mensual. Las diarias se usan más en periodos o zonas lluviosas, la semanal en lugares donde la lluvia no es diaria y las mensuales en períodos de estación seca o verano.

Su lectura se hará especialmente a las 8:00 A.M; la utilización del pluviógrafo es importante porque determina la intensidad de las precipitaciones, que es el factor fundamental para la clasificación de la precipitación.

El pluviógrafo antes descrito es el de uso más común en México, aunque existen otros tipos en el mundo. El registro que se obtiene de un pluviógrafo se llama *pluviograma o registró pluviográfico*

El registro pluviográfico presenta 3 tipos de línea:

- ✿ Línea horizontal. No hay presencia de lluvia.
- ✿ Línea ascendente. Existencia de altura de precipitación.
- ✿ Línea descendente. Vaciado del depósito.

A partir de 1980 se populariza cada vez más la medición de la lluvia por medio de un radar meteorológico, los que generalmente están conectados de manera directa con modelos matemáticos que permiten así determinar la lluvia y los caudales en tiempo real.

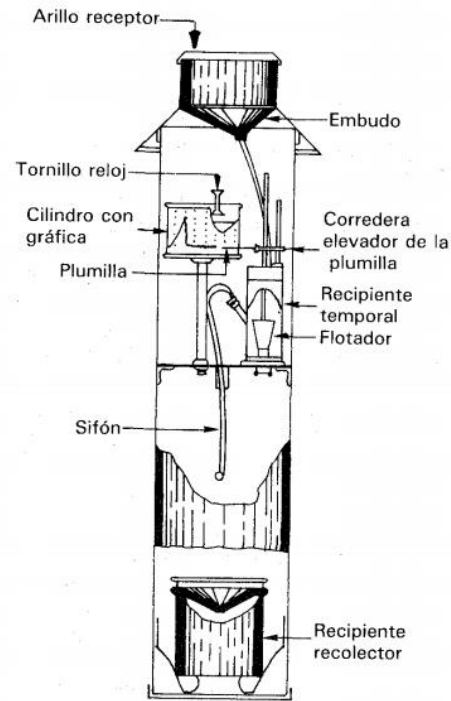


Figura 2.2 Pluviógrafo.

### 2.1.3.3 Recomendaciones de la OMM para la ubicación de pluviómetros y pluviógrafos

Las siguientes densidades mínimas para redes de precipitación se recomiendan para propósitos hidrometeorológicos generales:

1. Para regiones planas en zonas tropicales, mediterráneas o templadas, 600 a 900 km<sup>2</sup> por estación.
2. Para regiones montañosas en zonas tropicales mediterráneas o templadas, 100 a 250 km<sup>2</sup> por estación
3. Para islas montañosas pequeñas con precipitación irregular, 25 km<sup>2</sup> por estación
4. Para zonas áridas y zonas polares 1,500 a 10,000 km<sup>2</sup> por estación.

Actualmente existen estaciones de medición automática, las cuales proporcionan los valores de altura de precipitación junto con otras variables meteorológicas cada 10 min. A continuación se hará una breve descripción de estas estaciones:

#### 2.1.3.4 Estación Meteorológica Automática EMA

Es un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática (sobre todo en forma numérica) (Referencia OMM 182.).

Una Estación Meteorológica Automática, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos en promedio cada 10 minutos de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 ó 3 horas por estación.

El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso. (Referencia OMM número 100 y 168)

Sensores que integran la estación:

- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Presión atmosférica
- Temperatura y Humedad relativa
- Radiación solar
- Precipitación

Existen dos tipos de estructura donde van montadas las estaciones, estructuras tipo andamio, Figura 2.3 y estructuras tipo torre triangular, Figura 2.4.

La ubicación y nombre de las EMA's administradas por el Organismo de Cuencas del Valle de México se muestra en la tabla 2.3.

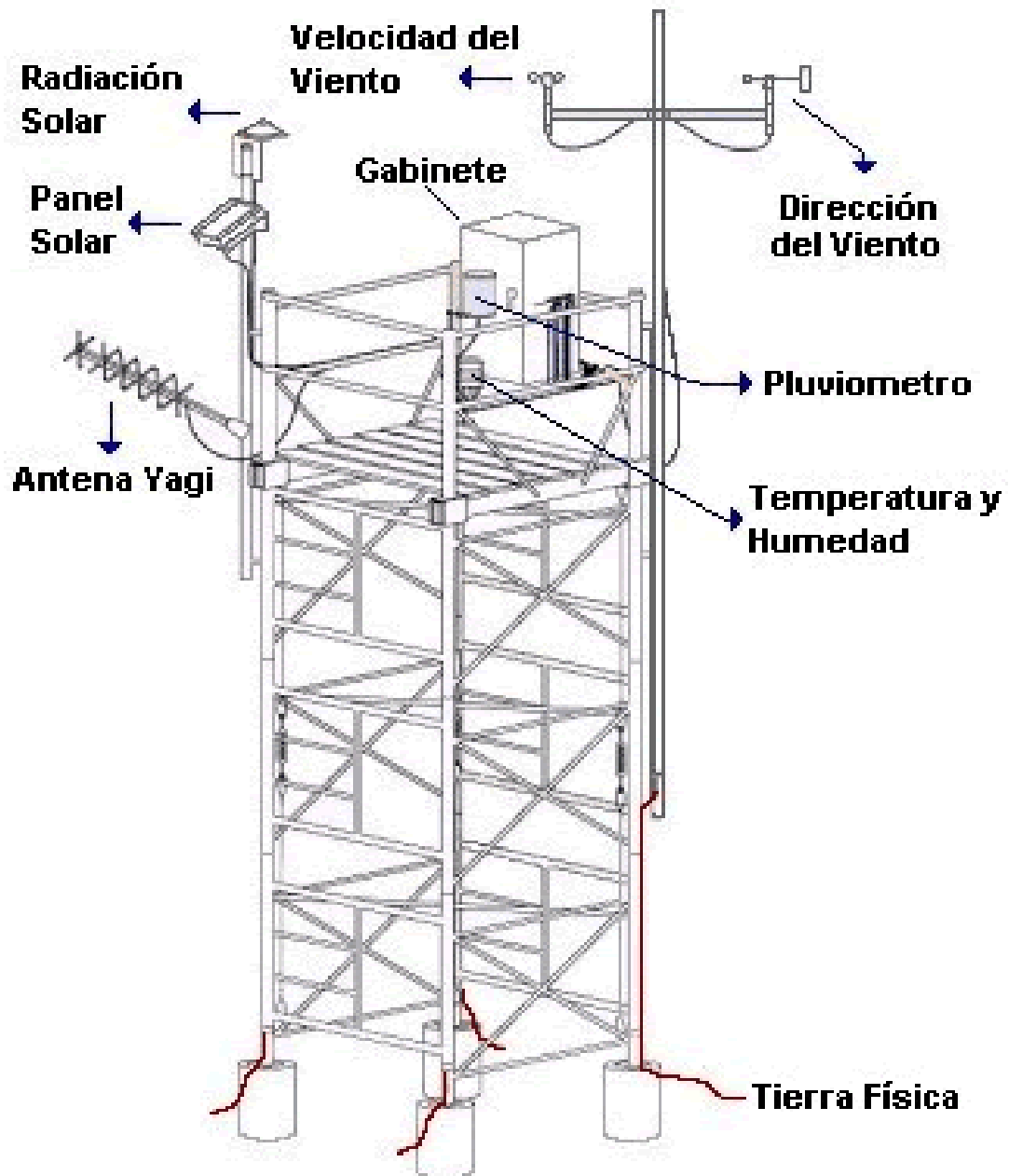


Figura 2.3 Estructura tipo andamio. Servicio Meteorológico Nacional, SMN

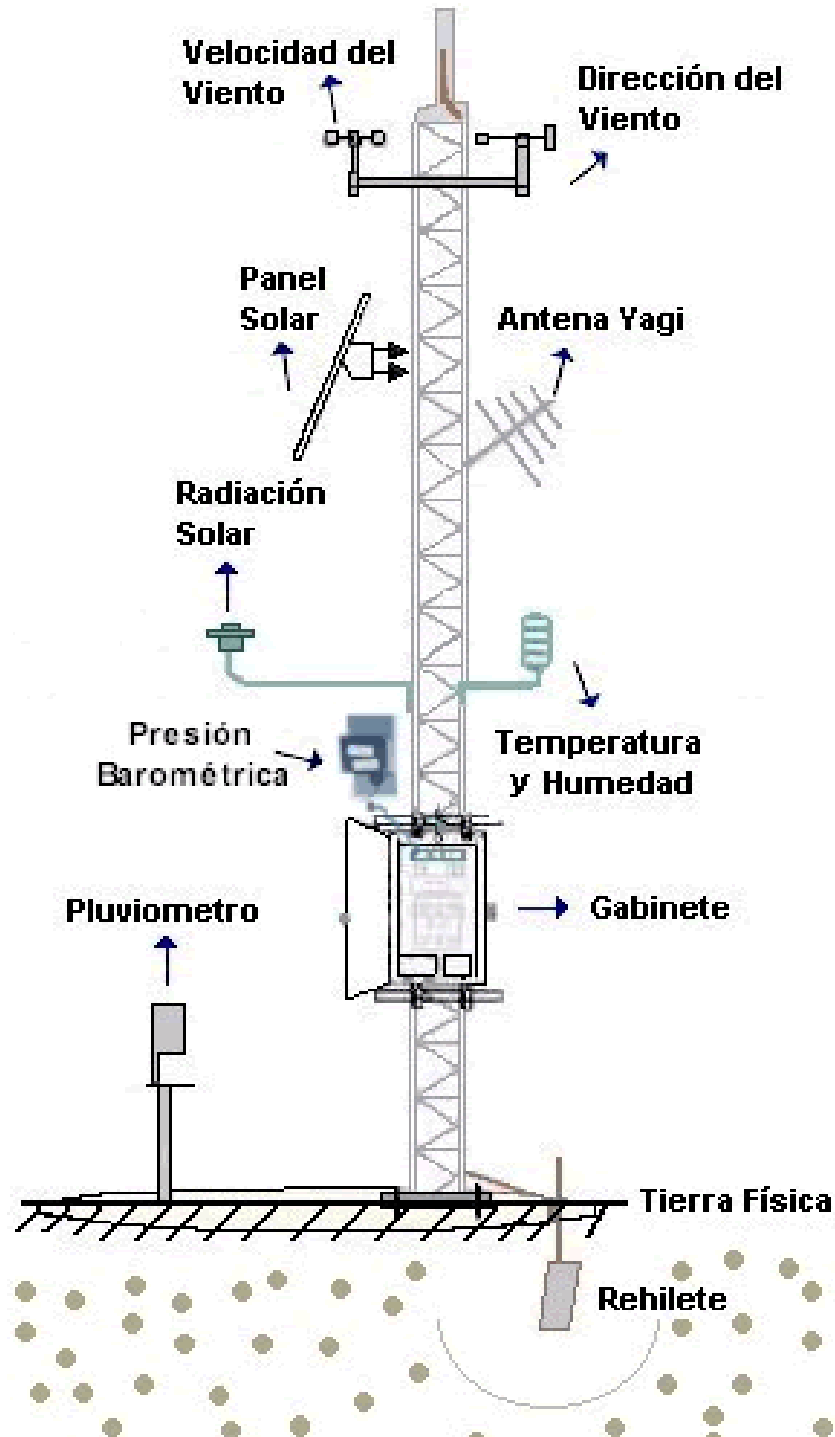


Figura 2.4 Estructura de tipo torre triangular. SMN

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

**Tabla 2.3 Estaciones Meteorológicas automáticas EMAs Administradas por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. SMN**

<b>Estaciones Meteorológicas automáticas EMAs Administradas por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México</b>				
<b>Estado</b>	<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>
Distrito Federal	El Guarda	19°09'17"	99°04'44"	2946
Distrito Federal	La Agraria	19°16'27"	99°09'29"	2272
Estado De México	Acolman	19°38'05"	98°54'42"	1993
Estado De México	Amecameca	19°07'55"	98°47'10"	2460
Estado De México	Arcos Del Sitio	19°45'59"	99°20'36"	2356
Estado De México	Chapingo	19°29'39"	98°53'19"	2260
Estado De México	Ixtapaluca	19°19'52"	98°52'40"	2272
Estado De México	Laguna De Zumpango	19°48'28"	99°07'51"	2262
Estado De México	Manuel Ávila Camacho	19°19'13"	98°45'20"	2958
Estado De México	Presa Guadalupe	19°38'01"	99°15'03"	2313
Estado De México	Otumba	19°41'17"	98°45'27"	2384
Estado De México	San Miguel Atlamajac	19°44'56"	98°55'55"	2316
Estado De México	Tepeatloxtoc	19°34'09"	98°49'29"	2320
Estado De México	Tequixquiac	19°54'15"	99°17'30"	2266
Hidalgo	Actopan	20°16'50"	98°58'21"	1993
Hidalgo	Irolo	19° 45'36"	98° 35'26"	2464
Hidalgo	Ixmiquilpan	20°29'46"	99°10'52"	2272
Hidalgo	Laguna De Tecocomulco	19°52'21"	98°24'15"	2547
Hidalgo	Mixquiahuala	20°13'46"	99°12'55"	2009
Hidalgo	Presa Rojo Gómez	20°21'34"	99°19'07"	1996
Hidalgo	Taxhimay	19°50'14"	99°23'02"	2256
Hidalgo	Tezoncualpa	19°57'57"	98°16'29"	2519
Hidalgo	Tezontepec	19°52'42"	98°49'12"	2344
Hidalgo	Tula De Las Rosas	20°03'24"	99°20'54"	2054
Tlaxcala	Sanctorum	19°29'25"	98°28'18"	2767

#### 2.1.3.5 Estación Sinóptica Meteorológica ESIME

Una Estación Sinóptica Meteorológica es un conjunto de dispositivos eléctricos, Figura 2.5, que realizan mediciones de las variables meteorológicas de manera automática. Generan una base de datos y un mensaje sinóptico cada tres horas. Las Estaciones Sinópticas Meteorológicas se encuentran ubicadas exclusivamente en los observatorios meteorológicos.

Los mensajes sinópticos son reportes que se generan simultáneamente en todos los observatorios cada tres horas y presentan información meteorológica de tiempo presente y pasado de manera codificada. Estos mensajes se rigen por el Tiempo Universal Coordinado (UTC).

El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso (*Referencia OMM número 100 y 168*). Actualmente la Red Nacional de Estaciones Sinópticas Meteorológicas cuenta con 30 sitios.

Las ESIME's contienen un software que permite hacer los cálculos correspondientes de las variables que se reportan en un mensaje sinóptico. Los sensores de las ESIME's se muestran en las Figuras 2.6 a la 2.12, mientras que las variables que miden se muestran en la tabla 2.4.

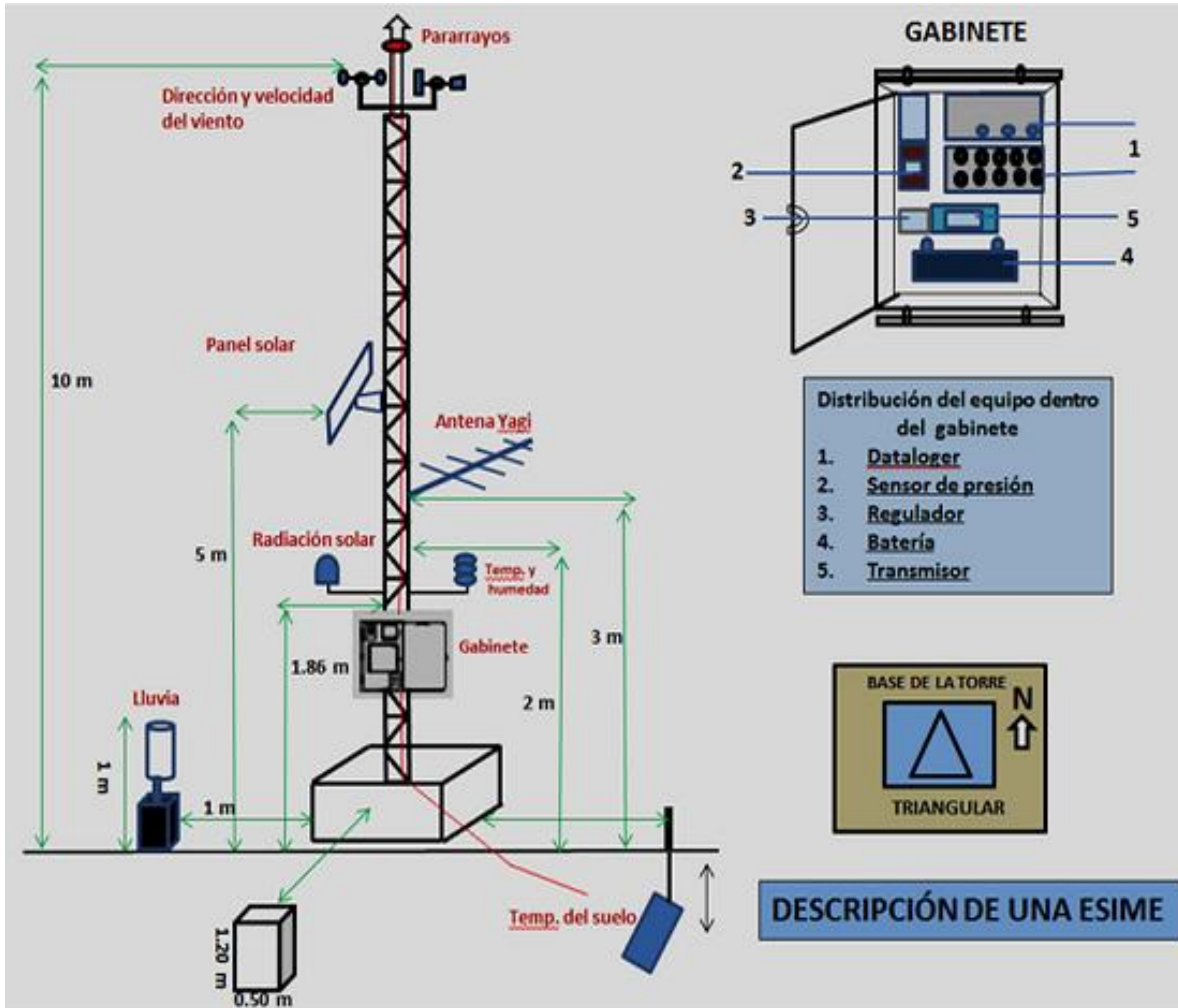


Figura 2.5 Estructura de una ESIME. SMN



Figura 2.6 Presión atmosférica.SMN



Figura 2.7 Temperatura y humedad relativa.SMN





**Figura 2.8 Radiación solar. SMN**



**Figura 2.9 Dirección y velocidad del viento. SMN**



**Figura 2.10 Precipitación. SMN**



**Figura 2.11 Visibilidad. SMN**



**Figura 2.12 Temperatura a 10 cm de la superficie. SMN**

Tabla 2.4 Variables meteorológicas. SMN

Variables meteorológicas		
Variable	Abreviatura	Descripción
Dirección del viento	DIRS	El valor obtenido es el promedio de 10 minutos de la dirección del viento. La dirección indica de donde proviene el viento, su unidad de medición es en grados <i>Dextrorsum</i> (giro en sentido de las manecillas del reloj) donde 0° es norte verdadero.
Dirección del viento de ráfaga	DIRR	La dirección del viento de ráfaga es la dirección de donde proviene la ráfaga más intensa en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en grados <i>Dextrorsum</i> (giro en sentido de las manecillas del reloj).
Velocidad del viento	VELS	La velocidad del viento es el promedio aritmético de las velocidades medidas en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en km/h.
Velocidad del viento de ráfaga	VELR	La velocidad del viento de ráfaga es la máxima velocidad medida en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada 5 seg.), su unidad de medición es en km/h.
Temperatura ambiente promedio	TEMP	Es la temperatura ambiente promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en °C.
Humedad relativa	HR	La humedad relativa es el promedio de las mediciones realizadas en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en %.
Presión atmosférica	PB	La Presión atmosférica es el promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es el hpa (Hectopascal).

Tabla 2.4 Variables meteorológicas (continuación). SMN

Variables meteorológicas		
Variable	Abreviatura	Descripción
Precipitación	PREC	Es la lámina de precipitación acumulada en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es el mm (milímetro).
Radiación	RAD-SOL	La radiación solar son los valores promedio medidos en un lapso de 10 minutos (se toman mediciones cada minuto), su unidad de medición es en $W/m^2$ (watt/m <sup>2</sup> ).

## 2.2 Conceptos básicos

A continuación se plantearán algunos de los conceptos básicos en cuanto al manejo de la información recabada de precipitación mismos que serán de utilidad para la obtención de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno

### 2.2.1 Curva masa

La curva masa es la variación de la lluvia en un periodo de 24 hrs. Para obtenerla es necesario contar con el registro pluviográfico, como el mostrado en la Figura 2.13.

Si se eliminan del registro las líneas verticales descendentes y se grafica de forma continua y acumulada la altura de precipitación se obtendrá una curva que se conoce como *curva masa* de precipitación Figura 2.14.

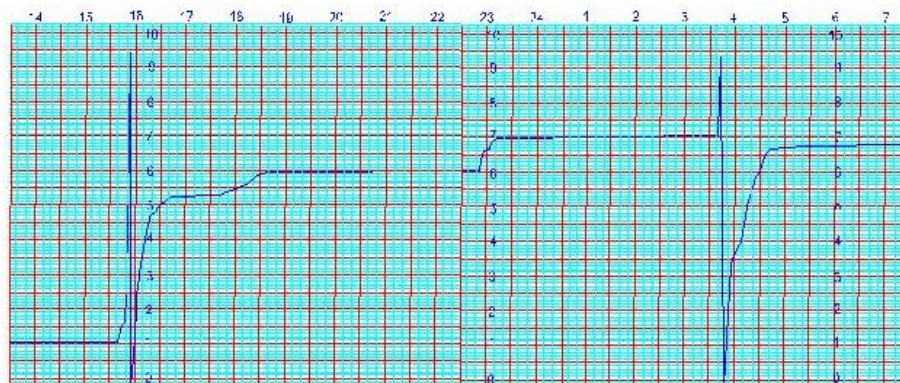


Figura 2.13 Registro generado por el pluviografo.

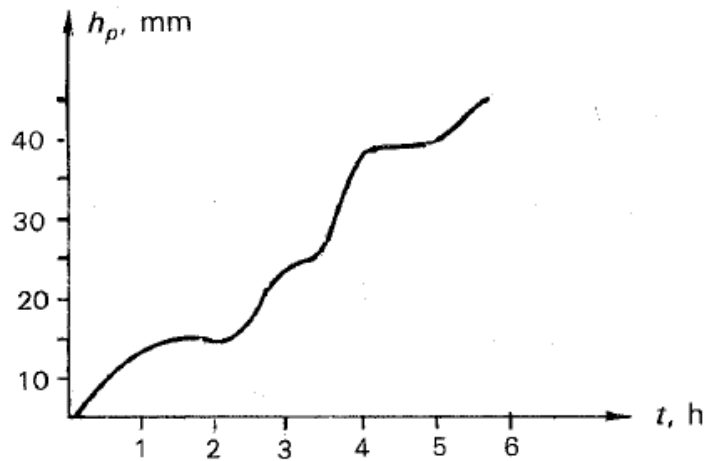


Figura 2.14 Curva masa.

### 2.2.2 Hietograma

El Hietograma es una grafica en forma de diagrama de barras que representa la distribución de la precipitación o su intensidad en el tiempo durante una tormenta. En el eje de las X se ubicará el tiempo y en las ordenadas el incremento de precipitación o de intensidades para el intervalo de tiempo fijado.

El Hietograma de alturas de precipitación se obtiene dividiendo el tiempo que duró la tormenta en  $n$  intervalos (que pueden ser iguales o no) y midiendo la altura de precipitación que se tuvo en cada uno de ellos.

El hietograma de intensidades puede obtenerse a partir de las alturas de precipitación, dividiendo la altura de precipitación de cada barra entre el tiempo  $\Delta t$  que dura la misma. Ambos tipos de hietogramas son equivalentes, pero uno puede ser más útil que el otro dependiendo del tipo de análisis.

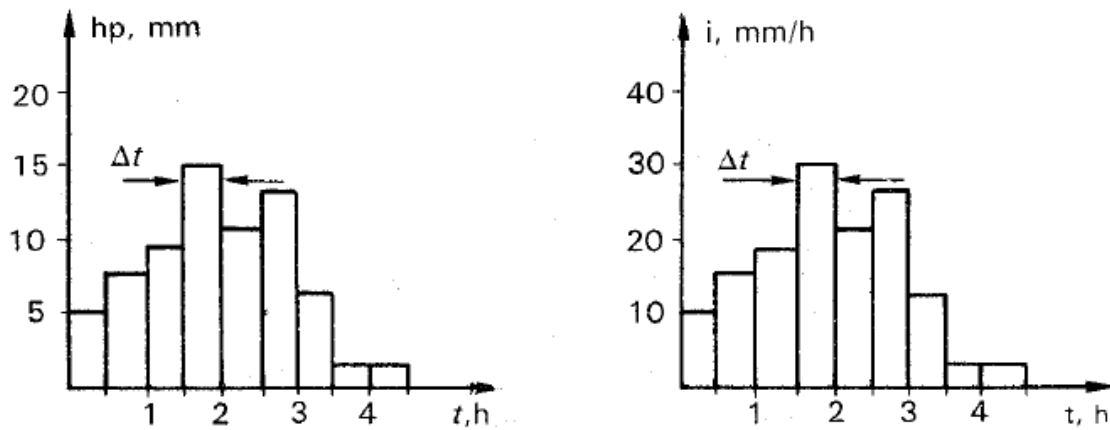


Figura 2.15 Hietograma de alturas de precipitación y hietograma de intensidades.

### 2.2.3 Obtención de la altura de precipitación media

#### 2.2.3.1 Promedio aritmético

El valor faltante de precipitación para la estación  $j$  se obtendrá como la media aritmética de la precipitación considerando las estaciones ubicadas dentro de la cuenca, esto es:

$$h\bar{p}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h p_i \quad (2.1)$$

Donde:

$h\bar{p}_j$       Altura de precipitación media en la estación  $j$  en mm

$h p_i$       Valor de precipitación en la estación  $i$  en mm

$n$           número de estaciones

### 2.2.3.2 Polígonos de Thiessen

Es un método para calcular la lluvia media de una tormenta dada en una zona de influencia a la que corresponde un instrumento de medición.

El método consiste en lo siguiente.

1. Unir, mediante líneas rectas, las estaciones más próximas entre sí, formando triángulos en cuyos vértices están las estaciones climatológicas.
2. Trazar mediatrices en cada uno de los lados de los triángulos y prolongarlas hasta que converjan en un solo punto.
3. Cada estación climatológica quedará rodeada por las líneas del paso anterior, que forman los llamados polígonos de Thiessen. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el *área de influencia* de la estación correspondiente.

La altura de precipitación media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente, es decir:

$$h\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n hp_i a_i}{A} \quad (2.2)$$

Donde:

$h\bar{p}$     Altura de precipitación media en mm

$hp_i$     Altura de precipitación en la estación  $i$  en mm

$A$     Área total de la cuenca en  $km^2$

$a_i$     Área tributaria para la estación  $i$  en  $km^2$

Los polígonos de Thiessen de la delegación Coyoacán se muestran en la Figura 2.16

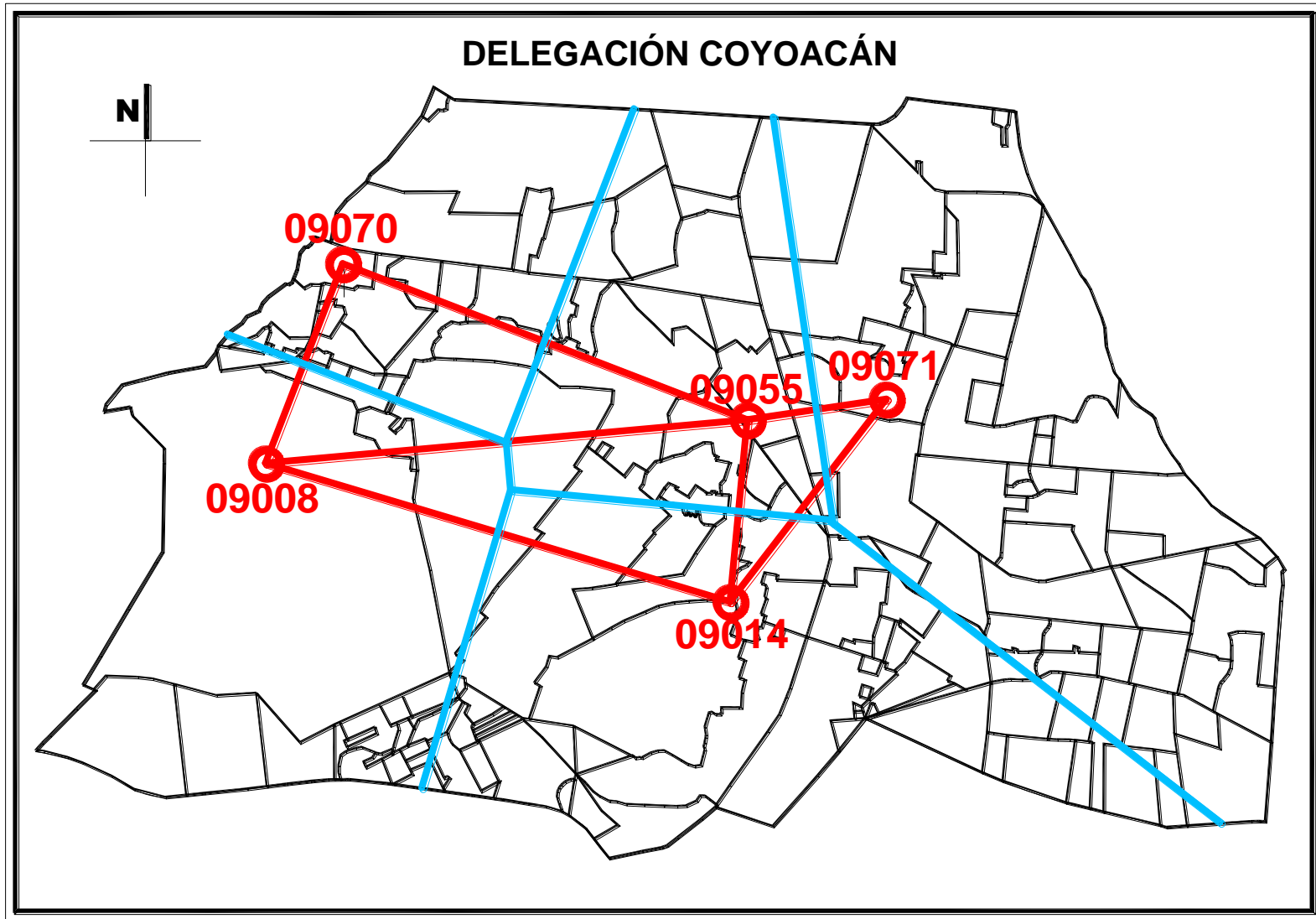


Figura 2.16 Trazo de Polígonos de Thiessen para la delegación Coyoacán.

### 2.2.3.3 Método de Isoyetas

Las Isoyetas son líneas que unen los puntos de igual precipitación y cuyo trazo obedece a la topografía del lugar, es decir toman la forma de las curvas de nivel. De acuerdo a lo anterior la precipitación media se obtiene como:

$$h\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n hp_i a_i}{A} \quad (2.3)$$

Donde

$h\bar{p}$     Altura de precipitación media en mm

$hp_i$     Altura de precipitación media entre dos isoyetas en mm

$a_i$     Área entre dos isoyetas en  $km^2$

$n$     número de tramos entre isoyetas

$A$     área total de la cuenca en  $km^2$

Las isoyetas de la cuenca del Valle de México se muestran en la Figura 2.17

### 2.2.4 Obtención de datos faltantes

#### 2.2.4.1 Método de la relación Normalizada

Se considerarán dos casos (Springall, 1977)

- a. Si la precipitación media anual o media mensual en cada una de las estaciones auxiliares difiere en menos del 10 por ciento de la registrada en la estación en estudio, para estimar el valor o los valores faltantes se hace un promedio aritmético con los valores registrados en esa fecha en las estaciones auxiliares.



Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

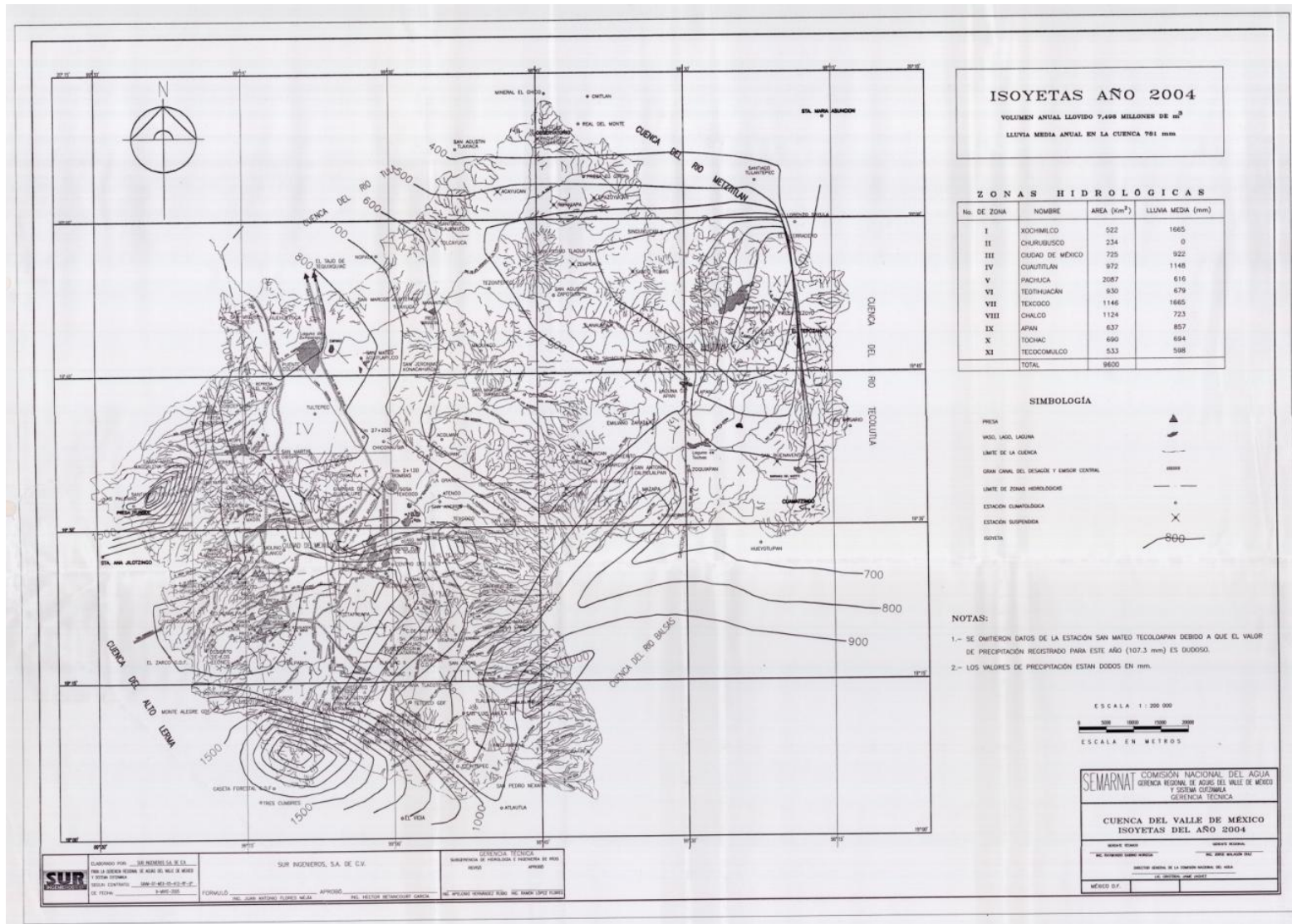


Figura 2.17 Isoyetas medias anuales del Distrito Federal.

- b. Si la precipitación media anual o media mensual de cualquiera de las tres estaciones auxiliares difiere en más del 10 por ciento de la registrada en la estación en estudio, el valor faltante en el registro se calcula con la ecuación:

$$h\bar{p}_x = \frac{1}{3} \left[ \frac{P_x}{P_A} hp_A + \frac{P_x}{P_B} hp_B + \frac{P_x}{P_C} hp_C \right] \quad (2.4)$$

Donde

$hp_A, hp_B, hp_C$  Altura de precipitación registrada en las estaciones auxiliares

$h\bar{p}_x$  Altura de precipitación faltante en la estación en estudio

$P_A, P_B, P_C$  Precipitación media anual o mensual en las estaciones auxiliares

$P_x$  Precipitación media anual o mensual en la estación en estudio

#### 2.2.4.2 Método del U.S. National Weather Service

Los valores faltantes en la estación en estudio ( $h\bar{p}_x$ ), pueden ser obtenidos a través de los registros de las estaciones cercanas sin importar si la escala de tiempo es diaria, mensual o anual.

La metodología consiste en asignar un factor de peso  $W$  a las estaciones cercanas al punto con datos faltantes, este factor de peso tomará en cuenta la distancia ( $D$ ) que existe entre el sitio con datos faltantes y la estación vecina así como su precipitación registrada ( $hp_i$ ) para el día mes o año en cuestión es decir:

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

$$h\bar{p}_x = \frac{\sum_{i=1}^N (hp_i W_i)}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (2.5)$$

Donde:

$$W_i = \frac{1}{D^2} \quad (2.6)$$

### 2.3 Descripción de la Cuenca del Valle de México

La Región XIII cuyo nombre es Valle de México se ubica en la cuenca alta del Río Pánuco, está formada por dos subcuencas, la del Valle de México y la del Río Tula.

Atendiendo al parteaguas de estas cuencas, la superficie física de la Región XIII es de 16,150 km<sup>2</sup>, sin embargo los límites administrativos de la región cubren una superficie de 17,126 km<sup>2</sup>. Tienen jurisdicción política en esta región los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala, así como el Distrito Federal.

En la región el clima es suave y benigno. Los cambios estacionales de la temperatura son de poca consideración. Tiene un verano bien definido y una continua primavera. La época de lluvias abarca de junio a octubre; de abril a junio son los meses más calurosos; diciembre y enero los más fríos, y de noviembre a abril secos; los fenómenos extremos como heladas y granizadas, o bien como sequías y ondas cálidas son escasas en la región, lo que le convierte en un lugar muy agradable para el desarrollo de cualquier tipo de actividad.

En 1900 la población de la Región representaba sólo el 4% del total nacional, mientras que en el año de 1995 este índice alcanzó un valor del 20.3%, ocupando apenas el 1% del Territorio Nacional, resultando de esta manera la región del País

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

con mayor concentración de población, debido principalmente a que en ella se ubica la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

De acuerdo a las tendencias de crecimiento observadas, los pronósticos de población indican que para los años de 2000, 2010 y 2020 llegará a valores de 19.8, 22.3 y 24.7 millones de habitantes.

### *2.3.1 Recurso hidráulico*

La Región Hidrológico-administrativa XIII se localiza dentro de la región hidrológica No. 26 Alto Pánuco; en ella se encuentra la Cuenca del Valle de México, en la que se tiene un escurrimiento anual de 1 636.4 millones de m<sup>3</sup>, así como la Cuenca del Río Tula, a la salida de la cual se tiene un valor de 947.2 millones de m<sup>3</sup>.

La principal fuente de recarga de los acuíferos en la Cuenca Valle de México es la precipitación pluvial. Otro tipo de recarga no natural es la derivada de las fugas en las redes de agua potable y de drenaje.

Las superficies de recarga de mayor importancia se sitúan en las sierras limítrofes del valle hacia el oriente y el sur.

Existen 106 almacenamientos, entre lagos y embalses con una capacidad total de 646.7 millones de m<sup>3</sup>. Las presas se utilizan principalmente para riego, en menor escala para control de avenidas, en mínima proporción para el abastecimiento de agua potable y menor aún para la generación de energía eléctrica.

### *2.3.2 Usos del Agua*

Las fuentes de suministro de agua potable en la Región XIII se clasifican en internas (propias) y externas al Valle y éstas pueden ser superficiales y subterráneas, el porcentaje de las mismas de muestran en la tabla 2.5.

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

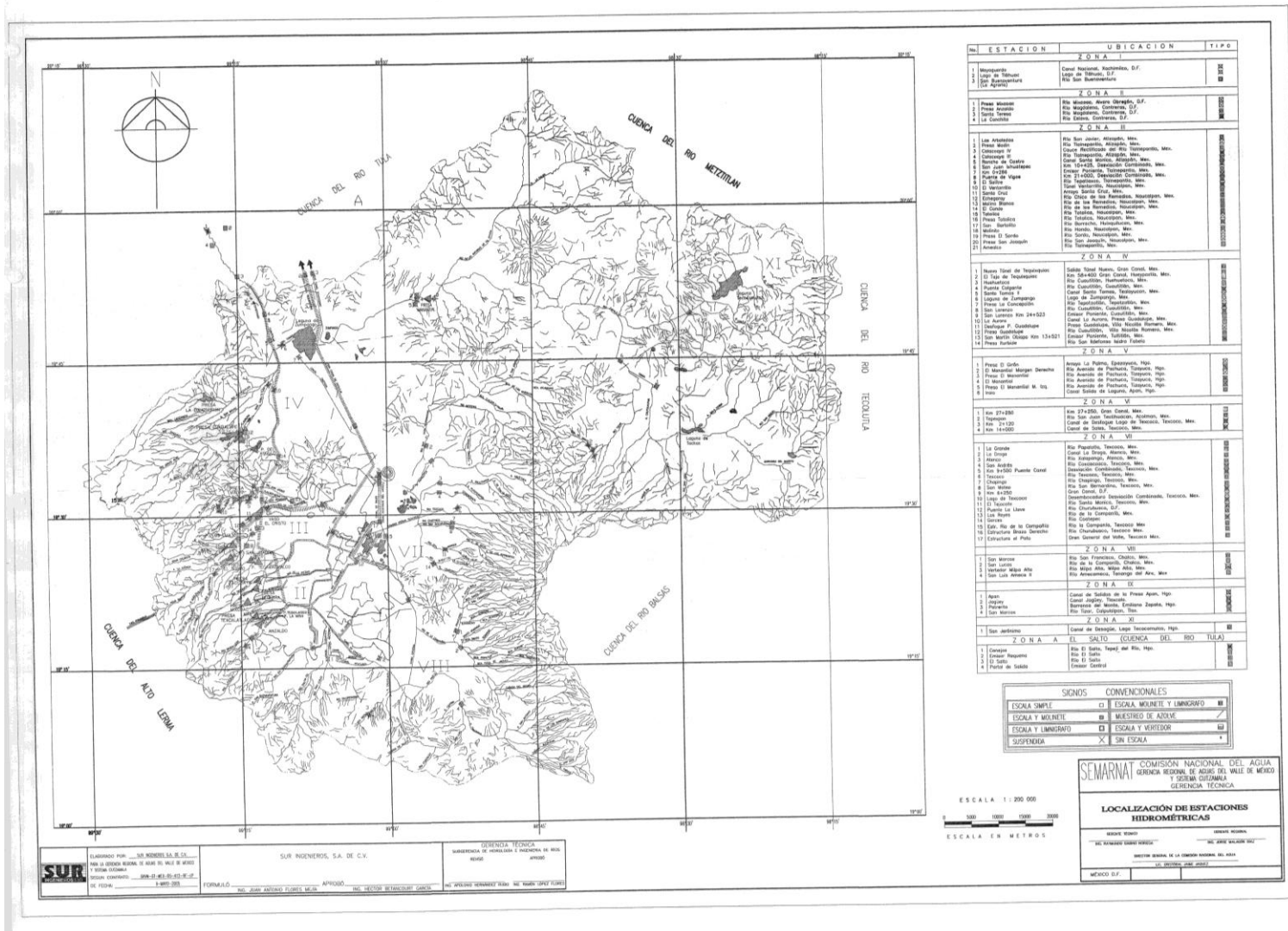


Figura 2.18 Cuenca del Valle de México.

**Tabla 2.5 Características del suministro de agua potable para uso domestico. (Caudal en m<sup>3</sup>/s) CONAGUA**

SUBREGION	INTERNAS		EXTERNAS		SUMAS	
	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial
Valle de México	43.32	2.05	5.86	13.46	49.18	15.51
	<b>45.37</b>		<b>19.32</b>		<b>64.69</b>	
Tula	5.5	0.35	-	-	5.5	0.35
	<b>5.85</b>		<b>-</b>		<b>5.85</b>	
Región XIII	48.82	2.4	5.86	13.46	54.68	15.86
	<b>51.22</b>		<b>19.32</b>		<b>70.54</b>	

Para la Región XIII se dispone de un caudal de 48.82 m<sup>3</sup>/s proveniente de fuentes subterráneas internas; las aguas superficiales de la propia región contribuyen con un gasto medio de 2.40 m<sup>3</sup>/s y la aportación de las fuentes externas, Lerma y Cutzamala, es de 19.32 m<sup>3</sup>/s. lo que representa que 27.4% del suministro total de agua potable para uso doméstico proviene de cuencas vecinas.

En esta región, aparte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que alberga al 92.0% de la población, sólo existe otra localidad mayor de 50,000 habitantes, la Cd. de Pachuca, Hidalgo. Por otro lado, en la región existen cinco Distritos de Riego con 53 932 usuarios y una superficie física de 87 649.50 ha, en el Valle de México se localizan dos; La Concepción y Chiconautla, y en Tula tres; Tula, Jilotepec y Alfajayucan, además existen 364 Unidades de Riego con una superficie de 50,191 ha y 34,569 usuarios. La primera subregión tiene 249 unidades con 21,704 usuarios registrados y la segunda 115 unidades con 12,865 usuarios. Lo anterior significa que se encuentran bajo riego en la Región XIII 137,840.50 ha. Los tres principales cultivos de la región son; alfalfa, maíz y avena forrajera.

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

El 92.4% de los usuarios del sector industrial se localizan en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMCM). El consumo total de agua por este concepto es de 175.73 mill m<sup>3</sup>/año, de éste, el 52.9% corresponde a la subregión Valle de México, y el 47.1% restante a Tula. El 78.3% del volumen total suministrado procede de agua subterránea, mientras que el 21.7% restante tiene un origen superficial. En la Región XIII, las diez industrias más consumidoras demandan por si solas 19.4 mill m<sup>3</sup>/año, el 10.3% de la demanda total de este sector.

Por lo que se refiere a la cobertura de los servicios, a nivel Regional el 92.5% de la población dispone de agua potable entubada, en la subregión Valle de México la cobertura es del 93.3%, mientras que en Tula es de 76.8%.

De acuerdo a las proyecciones de población realizadas se puede anotar que la demanda de agua potable para uso doméstico crecerá a 70.77 m<sup>3</sup>/s para el año 2020.

### *2.3.3 Balance Hidráulico*

El balance hidráulico representa la situación actual del agua y su perspectiva a futuro Figura 2.19. En la tabla 2.6 los principales parámetros que intervienen en los balances hidráulicos de la Región XIII para un ciclo anual.

Como puede observarse, en la cuenca del Valle de México los acuíferos se encuentran en una condición de sobreexplotación, por lo tanto no existe posibilidad de incrementar las extracciones, por el contrario, se deben de reducir las existentes a fin de obtener el equilibrio de los acuíferos de la subregión.

En la cuenca del Río Tula existe una reducida disponibilidad de 40 mill m<sup>3</sup>/año, pero en caso de incrementar la explotación de estos acuíferos, ésta deberá de ser planeada y controlada para no provocar la misma situación de sobreexplotación de la cuenca del Valle de México, además de que debido a la contaminación de estos acuíferos, para la utilización de esta fuente será necesario el control y tratamiento

Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

de las aguas residuales de la ZMCM, así como de la potabilización de las aguas de estos acuíferos.

**Tabla 2.6 Balance hidrológico para la subregión Valle de México y Tula. (Volúmenes en millones de m<sup>3</sup>) CONAGUA**

Región	Lluvia	Evapotranspiración	Infiltración	Escurrimiento virgen
Valle de México	6,646	5,377	689	580
Tula	3,510	1,947	336	1,227

Región	Extracción de agua subterránea	Balance	Importación	Uso Agua Superficial
Valle de México	1,584	-895	610	198
Tula	296	40	-	2,306

Región	Reuso	Escurrimiento aguas abajo
Valle de México	312	1,636
Tula	31	966

Respecto al agua superficial se detectó que a la salida de la cuenca del Río Tula la disponibilidad del recurso es de 966 millones de m<sup>3</sup>/año, que corresponde a la exportación a la cuenca baja del Río Pánuco, región administrativa número IX, Golfo Norte. Dentro de la Región XIII se localiza la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, una de las conurbaciones más grandes del mundo, además esta región presenta una complicada variedad de parámetros tanto físicos como socioeconómicos, que le convierten en una de las regiones más problemáticas del País para el suministro de los servicios básicos que demanda la población.

La escasez del recurso agua potable es notoria, debido entre otros aspectos a que su disponibilidad espacial es compleja, lo que ha provocado la sobreexplotación



Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.

de los acuíferos de la región, así como de la necesidad de importar grandes volúmenes de agua de otras cuencas. Aunado a estos problemas se ha detectado un gran dispendio del recurso, no se realizan verdaderos esfuerzos por eficientar su uso y el avance en la administración de los usos del agua es sumamente bajo.

Se ha detectado que existen graves problemas en la distribución del recurso, lo que provoca que exista competencia entre los usuarios y las entidades federativas de la región, por lo cual se requieren de concertaciones entre usuarios, autoridades y diversas áreas de escasez y de sobreexplotación.

La contaminación del recurso se encuentra en un nivel elevado, tanto en las fuentes superficiales como ríos y arroyos, así como en las presas y lagos de la región, como en la mayor parte de los acuíferos, debido a los grandes volúmenes de aguas residuales generados principalmente en la ZMCM que se vierten al Río Tula sin previo tratamiento, lo que ha generado graves problemas ambientales tanto en el medio urbano como en el rural. Esta inadecuada calidad de los efluentes de la región limitan el reuso y el intercambio del agua.



Figura 2.19 Balance hídrico. CONAGUA

### 3 Métodos para la estimación de las curvas Intensidad-Duración- Periodo de retorno. (i-d-Tr)

#### 3.1 Métodos de regresión

##### 3.1.1 Método de regresión lineal simple

Las técnicas de regresión son el medio para estimar los parámetros de un modelo matemático que expresa la relación de una variable dependiente o respuesta  $Y$ , la cual no se puede controlar en un experimento, en función de una o más variables independientes o de regresión  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , las cuales se miden con un error despreciable y en algunos casos se controlan en el experimento.

La relación fija para un conjunto de datos experimentales se caracteriza por una ecuación de predicción que recibe el nombre de ecuación de regresión. Para el caso de una variable dependiente  $Y$ , y una sola variable independiente  $X$ , se puede plantear un modelo de regresión lineal simple población del tipo.

$$\mu_{Y|X} = \alpha + \beta X \quad (3.1)$$

Donde:

$\alpha, \beta$  Parámetros que se estiman a partir de los datos muestrales .

$\mu_{Y|X}$  Valor esperado de  $Y$  dado que  $X$  ha ocurrido.

La línea de regresión ajustada se puede plantear como:

$$\hat{y} = a + bx \quad (3.2)$$

El símbolo  $\hat{y}$  se utiliza para distinguir entre el valor estimado que da la línea de regresión muestral y un valor experimental real observado  $y_i$  para algún valor de  $x_i$ .

El modelo del tipo de expresión (3.2) no es exacto físicamente, puesto que  $X$  y  $Y$ , son generalmente variables aleatorias y, más aún, su dependencia puede no conocerse en forma exacta.

Por lo anterior es más preciso escribir el modelo como:

$$Y = \mu_{Y|X} + E = aX + E \quad (3.3)$$

Donde:

$E$  error estocástico,

La variable anterior se caracteriza por tener un valor esperado nulo, una varianza constante  $S^2$ , es independiente de la variable explicativa  $X$  y son independientes entre sí.

Si existen  $n$  pares de valores  $(x_i, y_i)$  de las variables aleatorias  $(X, Y)$  y están relacionadas linealmente por la función:

$$y_i = a + bx_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

Entonces;

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (a + bx_i) \quad (3.5)$$

Donde:

$\varepsilon_i$  Residuo y describe el error en el ajuste del modelo en el punto  $i$  de los datos.

Con las prioridades:

$$E[\varepsilon_i] = 0, E[(\varepsilon_i - \mu_\varepsilon)^2] = E[\varepsilon_i^2] = S_\varepsilon^2 \quad y \quad E[\varepsilon_i \varepsilon_j] = 0 \quad (3.6)$$

Al minimizar la suma de los cuadrados de los errores se tendrá,

$$\min SS = \min \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \min \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (3.7)$$

Para encontrar el mínimo se deriva la expresión con respecto a cada uno de los parámetros y se igualan con cero  $\delta SS/\delta b=0$ , así,

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (3.8)$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i = 0 \quad (3.9)$$

Que al resolver para el conjunto de parámetros se tiene:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \bar{y} - bx \quad (3.10)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.11)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.12)$$

$$S_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (3.13)$$

$$\hat{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.14)$$

$$S_y = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2} \quad (3.15)$$

La suma de los cuadrados y productos cruzados aparecen frecuentemente en cálculos de regresión, y se define como:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right\} \quad (3.16)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \left\{ \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right\} \quad (3.17)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i) \right\} \quad (3.18)$$

Así:

$$b = S_{xy} / S_{xx}$$

El coeficiente de correlación lineal simple se define por

$$r = \frac{\text{Cov}(x,y)}{\sqrt{S_x^2} \sqrt{S_y^2}} = \frac{S_{xy}[n-1]^{-1}}{S_x S_y}, \quad -1 < r < 1 \quad (3.19)$$

El coeficiente de determinación, que es igual a la porción de la varianza de y que es explicada por la ecuación de regresión, se expresa como:

$$r^2 = b^2 \frac{S_x^2}{S_y^2}, \quad 0 < r^2 < 1 \quad (3.20)$$

De esta última relación se desprende que para  $r^2 = 0$  la regresión no explica nada de la varianza de las variables independientes. Cuando  $r^2 = 1$  no existen desviaciones o errores en torno a la línea de mínimos cuadrados, es decir, se tiene un ajuste perfecto.

### 3.1.2 Regresión lineal múltiple

Un modelo de regresión lineal múltiple (MRLM) trata de explicar el comportamiento de una determinada variable dependiente o exógena (Y) en función de un conjunto de k variables independientes  $X_1, X_2, \dots, X_k$  mediante una relación de dependencia lineal (suponiendo  $X_1=1$ ):

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + U \quad (3.21)$$

Donde:

$U$  Término de error

Para determinar el modelo anterior, es necesario estimar el valor de los coeficientes  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ . La linealidad en parámetros posibilita la interpretación correcta de los parámetros del modelo. Los parámetros miden la intensidad media de los efectos de las variables independientes sobre la variable a explicar y se obtienen al tomar las derivadas parciales de la variable a explicar respecto a cada una de las variables independientes:

$$\beta_j = \frac{\partial Y}{\partial X_j}; j = 1, \dots, k \quad (3.22)$$

El objetivo es asignar valores numéricos a los parámetros  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ . Es decir, se trata de estimar el modelo de manera que, los valores ajustados de la variable dependiente resulten tan próximos a los valores realmente observados como sea posible.

A fin de poder determinar las propiedades de los estimadores obtenidos al aplicar distintos métodos de estimación y realizar diferentes contrastes, se especifica un conjunto de hipótesis sobre el MRLM. Existen tres grupos de hipótesis:

- Hipótesis sobre el término del error
- Hipótesis sobre las variables independientes
- Hipótesis sobre los parámetros del modelo

### 3.1.2.1 Hipótesis sobre el término del error

Para una muestra de  $n$  observaciones se tendrá el siguiente sistema de  $n$  ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \beta_1 + \beta_2 X_{21} + \dots + \beta_k X_{k1} + U_1 \\
 Y_2 &= \beta_1 + \beta_2 X_{22} + \dots + \beta_k X_{k2} + U_2 \\
 &\vdots \\
 Y_n &= \beta_1 + \beta_2 X_{2n} + \dots + \beta_k X_{kn} + U_n
 \end{aligned}
 \tag{3.23}$$

En forma matricial:

$$Y = XB + U \tag{3.24}$$

Donde:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix}$$

La hipótesis del MRLM se resume en el término de error, así:

a) El valor esperado del error es cero:

$$E[U_i] = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \tag{3.25}$$

b) Todos los términos de error tienen la misma varianza (varianza constante):

$$Var[U_i] = Var[U_j] = \sigma^2 \quad ; \quad i \neq j \tag{3.26}$$

Por lo tanto, todos los términos de la diagonal principal de la matriz de varianzas y covarianzas serán iguales:

$$Var[U] = \begin{bmatrix} \sigma^2 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \sigma^2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \sigma^2 \end{bmatrix} \tag{3.27}$$

- c) No autocorrelación: los errores son independientes unos de otros, la matriz de varianzas y covarianzas es una matriz diagonal (fuera de la diagonal principal los elementos son cero):

$$\text{Var}[U] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Bajo las hipótesis a) y c), la matriz de varianzas y covarianzas tendrá la siguiente forma:

$$\text{Var}[U] = \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma^2 \end{bmatrix} = \sigma^2(I_n) \quad (3.29)$$

Donde:

$I_n$  Matriz identidad de orden  $n$

- d) El error sigue una distribución normal:

$$U \approx N(0_n, \sigma^2(I_n)) \quad (3.30)$$

### 3.1.2.2 Hipótesis sobre las variables independientes

- Las variables independientes son fijas o determinísticas.
- Las variables independientes no están correlacionadas con el error aleatorio.
- Las variables independientes no presentan relación lineal exacta entre sí.
- Las variables independientes son medidas sin error.



- ✿ En el modelo no se excluyen las variables relevantes e irrelevantes al explicar el comportamiento de la variable dependiente.

### 3.1.2.3 Hipótesis sobre los parámetros del modelo

La hipótesis de permanencia estructural, lo cual quiere decir que los parámetros poblacionales,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ , se obtienen a partir de la información muestral disponible de las variables observables del modelo. Únicamente se considerara dos métodos de estimación:

- ✿ Método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO)
- ✿ Método de máxima verosimilitud (MV)

### 3.1.3 Estimación por mínimos cuadrados (MCO)

Sea un modelo en forma matricial:

$$Y = X(B) + U \quad (3.31)$$

Suponiendo que el modelo ha sido estimado, obteniéndose  $\hat{Y}$ , vector de valores de la variable dependiente implicado por el modelo. La diferencia entre los valores observados y los estimados,  $e = Y - \hat{Y} = Y - X(\hat{B})$  se denomina vector de residuos. Ahora bien, el problema consiste en minimizar la suma de los cuadrados de residuos, con respecto del vector de parámetros estimados,  $B$ . Del problema de optimización se deduce la siguiente expresión de mínimos cuadrados ordinarios del modelo de regresión lineal múltiple:

$$\hat{B} = (X'(X))^{-1}(X')Y \quad (3.32)$$

Cuya varianza viene dada por:

$$\text{var}[\hat{B}] = \sigma^2 (X'(X))^{-1} \quad (3.33)$$

El estimador MCO de la varianza del término de error es:

$$\hat{\sigma}_U^2 = \frac{e'e}{n-k} \quad (3.34)$$

Donde  $n$  es el número de observaciones y  $K$  es el número de elementos del vector  $B$ .

Bajo la hipótesis de errores cíclicos, el estimador MCO del vector  $B$  cumple una serie de propiedades que le convierte en un insesgado (el valor esperado del estimador coincide con el valor real del parámetro), eficiente (de varianza mínima), y consistente.

Además, el estimador MCO de la varianza del término de error  $\hat{\sigma}_U^2$  es también insesgado.

#### *3.1.4 Estimación por máxima verosimilitud*

Este método propone como un estimador el valor que maximiza la probabilidad de obtener la muestra ya disponible.

Se basa prácticamente en la distribución que sigue el término de error. A tales efectos, se suele suponer que los errores aleatorios tienen una distribución normal que, además de cumplir las propiedades de una muestra grande, es una aproximación cómoda y fácil de manejar.

El modelo que se utiliza es  $Y = X(B) + U$ , se supondrá que el término aleatorio sigue la distribución Normal:

$$f(u_i) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left\{-\frac{u_i^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.35)$$

Maximizar la posibilidad de obtener la muestra ya disponible equivale a maximizar la función de densidad conjunta del vector aleatorio,  $U$ . Por lo tanto la expresión de la función de densidad conjunta es:

$$f(U) = \prod_{i=1}^n f(u_i) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} \exp\left\{-\frac{\sum u_i^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3.36)$$

Como  $U$  sigue una distribución Normal Multivariada de orden  $k$ , la variable  $Y$ , al ser una combinación lineal de los errores aleatorios, también seguirá el comportamiento de la distribución Normal Multivariada. Así para que la función de densidad conjunta sea una función de verosimilitud, el vector aleatorio  $U$  se expresara en función del vector  $Y$ , es decir:

$$L(Y; \beta, \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} \exp\left\{-\frac{(Y - X\beta)'(Y - X\beta)}{2\sigma^2}\right\} \quad (3.37)$$

Se trata de maximizar la función de verosimilitud. Como la ecuación anterior resulta complicada, se aplicará una transformación logarítmica:

$$\ln L(Y; \beta, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(2\sigma^2) - \frac{(Y - X\beta)'(Y - X\beta)}{2\sigma^2} \quad (3.38)$$

Derivando la función de verosimilitud con respecto a  $B$  y  $\sigma^2$ , e igualando las derivadas a cero, se obtiene:

$$\hat{B}_{MV} = (X'X)^{-1} X'Y \quad (3.39)$$

Cuya varianza es la siguiente:

$$\text{var}[\hat{B}_{MV}] = \sigma^2 (X'X)^{-1} \quad (3.40)$$

Además el estimador MCO de la varianza del término de error es:

$$\hat{\sigma}_{MV}^2 = \frac{e'e}{n} \quad (3.41)$$

Donde:

$n$  es el número de observaciones.

$k$  es el número de elementos del vector  $B$ .

Se observa que el estimador de MV de  $B$  coincide con el MCO, con lo que se tendrá las mismas propiedades; será lineal, insesgado, óptimo y consistente.

Es fácil ver que el estimador de MV de  $\sigma^2$ , en cambio, resulta diferente del MCO y no es insesgado aunque si es asintóticamente insesgado.

### 3.1.5 Medidas de Bondad de Ajuste

Una de las técnicas es la suma de los cuadrados de errores, SCE, que puede expresarse de varias formas, una de ellas es:

$$e'e = \sum_{i=1}^n e_i^2 = Y'Y - \hat{B}X'Y = Y'Y - \hat{Y}'\hat{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i^2 \quad (3.42)$$

Despejando la suma de cuadrados de la variable dependiente se tiene:

$$Y'Y = \hat{Y}'\hat{Y} + e'e \quad (3.43)$$

O bien:

$$\sum_{i=1}^n Y_i^2 = \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i^2 + \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3.44)$$

Restando a ambos lados el término  $n\bar{Y}^2$  se obtiene:

$$Y'Y - n\bar{Y}^2 = \hat{Y}'\hat{Y} - n\bar{Y}^2 + e'e \quad (3.45)$$

O bien:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3.46)$$

El miembro izquierdo representa la suma de cuadrados totales (SCT) y no es sino la suma de cuadrados de las desviaciones respecto a su media aritmética.

Por otra parte, si el modelo tiene término independiente, a la cantidad

$$\hat{Y}'\hat{Y} - n\bar{Y}^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \text{ se le denomina suma de cuadrados de la regresión (SCR).}$$

Se definirá el coeficiente de determinación,  $R^2$ , el cual será la primera medida de bondad de ajuste:

$$R^2 = 1 - \frac{SCE}{SCT} \quad (3.47)$$

Donde:

$SCE$  Suma de los errores cuadrados

$SCT$  Variación Total de la variable dependiente

Si el modelo tiene término independiente, entonces se cumple la igualdad  $SCT=SCR+SCE$ , y el coeficiente de determinación podrá expresarse como:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} \quad (3.48)$$

El coeficiente de determinación indica que proporción de variabilidad total queda explicada por la regresión. Si el modelo tiene término independiente, entonces  $R^2$  toma valores entre 0 y 1.

El uso de  $R^2$  presenta algunas limitaciones a la hora de comparar varios modelos desde la perspectiva de bondad de ajuste. Cuando se desea llevar a cabo un análisis comparativo entre varios modelos, se utilizará el valor de  $R^2$  corregido.

$$R^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2) \quad (3.49)$$

### 3.2 Análisis estadístico

Para contrastar las hipótesis de significatividad individual, se tiene:

$$H_0 : \beta_j = 0 \quad (3.50)$$

$$H_A : \beta_j \neq 0 \quad (3.51)$$

El estadístico t-Student que se utiliza para realizar la prueba es:

$$t_j = \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{\hat{\sigma}_u^2 \alpha_{jj}}} \cong t_{n-k} \quad (3.52)$$

Donde:

$$\sqrt{\hat{\sigma}_u^2 \alpha_{jj}} \quad \text{Error estimado de } \hat{\beta}_j$$

$$\alpha_{jj} \quad \text{j-ésimo elemento de la diagonal principal de la matriz } (X'X)^{-1}$$

Dado un nivel de significación de  $\alpha$  ; las tablas de distribuciones nos proporcionan la cantidad  $t_{n-k, \alpha/2}$  que es el valor asociado a una t-student con  $n-k$  grados de

libertad que deja a su derecha un área de  $\alpha/2$  (o equivalente, deja a su izquierda un área de  $1-\alpha/2$ ). La regla de decisión que se utiliza para determinar si el parámetro asociado a la variable  $X_j$  es individualmente significativo o no será:

- Si  $|t_j| \geq t_{n-k, \alpha/2}$ , el estadístico cae fuera de la región de aceptación, por lo que se rechazará la hipótesis nula. Se concluirá que el parámetro es significativamente diferente de cero.
- Si  $|t_j| < t_{n-k, \alpha/2}$ , el estadístico cae dentro de la región de aceptación, por lo que no se rechazará la hipótesis nula. Por lo tanto, el parámetro no es significativo.

Si se desea contrastar la significación conjunta, las hipótesis se plantearan de la siguiente manera:

$$H_0 : \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0 \quad (3.53)$$

$$H_A : \text{NO } H_0 \quad (3.54)$$

El término independiente no contribuye al explicar la variabilidad de la variable dependiente, con lo cual no se incluye en la restricción

El estadístico  $F$  de *Snedecor* que se utilizará para la realización de la prueba será:

$$F_0 = \frac{R^2}{1-R^2} \left( \frac{n-k}{n-1} \right) \cong F_{k-1, n-k} \quad (3.55)$$

El estadístico se distribuye bajo la hipótesis nula con una distribución  $F$  de *Snedecor* con  $k-1$  grados de libertad en el numerador y  $n-k$  grados de libertad en el denominador. La regla de decisión utilizada para comprobar la significación global del modelo será:

Si  $F_0 \geq F_{k-1, N-k; \beta\alpha}$  el estadístico de contraste cae fuera de la región de aceptación, con lo que se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto es globalmente significativo.

Si  $F_0 < F_{k-1, N-k; \beta\alpha}$ , el estadístico de contraste cae dentro de la región de aceptación, de modo que ahora la hipótesis nula no se rechaza. En consecuencia, se puede afirmar que el modelo no es globalmente significativo.

### 3.2.1 Funciones de probabilidad

#### 3.2.1.1 Distribución exponencial con un parámetro $\beta$

$$f(x) = 1 - e^{-\beta x} \quad x > 0 \quad (3.56)$$

Donde:

$\beta$       Parámetro de escala

Además:

$$\mu = \frac{1}{\beta}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{\beta^2}$$

#### 3.2.1.2 Distribución exponencial de dos parámetros $\beta$ y $x_0$

$$f(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)} \quad (3.57)$$

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)} \quad (3.58)$$

Donde:

$x_0$       Parámetro de ubicación

$\beta$       Parámetro de escala



Además:

$$\mu = x_0 + \beta$$

$$\sigma^2 = \beta^2$$

$$\gamma = 2$$

### 3.2.1.3 Distribución Normal

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (3.59)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty \quad (3.60)$$

Donde:

$\mu$       Parámetro de ubicación

$\sigma$       Parámetro de escala

Además:

$$E(x) = \mu$$

$$E[(x - \mu)^2] = \sigma^2$$

Donde:

$$\gamma = 0$$

$$k = 3$$

$$M(t) = e^{\mu t + (\sigma^2 t^2 / 2)}$$

$$C(\theta) = e^{i\mu\theta - (\sigma^2 \theta^2 / 2)}$$

### 3.2.1.4 Distribución Log Normal con dos parámetros

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}, x > 0 \quad (3.61)$$

Donde:

$\mu_y$  Parámetro de ubicación

$\sigma_y$  Parámetro de escala

$\gamma > 0$

### 3.2.1.5 Distribución Log Normal con tres parámetros

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}, x > x_0 \quad (3.62)$$

Donde:

$X_0$  Parámetro de ubicación

$\mu_y$  Parámetro de forma

$\sigma_y$  Parámetro de escala

### 3.2.1.6 Distribución Gamma con dos parámetros

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1} e^{-x/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} dx \quad (3.63)$$

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)}, \quad 0 \leq x < \infty \quad \text{si } \alpha > 0 \rightarrow \gamma > 0 \quad (3.64)$$

Donde:

$\alpha$  Parámetro de escala

$\beta$  Parámetro de forma

$\Gamma(b)$  Función Gamma completa

Además:

$$\mu = \beta\alpha$$

$$\sigma^2 = \alpha^2\beta$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}}$$

### 3.2.1.7 Distribución Gamma con tres parámetros

$$f(x) = \frac{1}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right)}, \quad \alpha > 0 \quad (3.65)$$

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$\gamma > 0$$

Donde:

$X_0$  Parámetro de ubicación

$\alpha$  Parámetro de escala

$\beta$  Parámetro de forma

Además:

$$\mu = x_0 + \alpha\beta$$

$$\sigma^2 = \alpha^2\beta$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}}$$

$$k = 3 \left(1 + \frac{\gamma^2}{2}\right)$$

### 3.2.1.8 Distribución de valores extremos tipo I (Gumbel)

$$F(x) = e^{-e^{-\left[\frac{x-v}{\alpha}\right]}} \quad (3.66)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{\left(\frac{x-v}{\alpha}\right)} e^{-e^{-\left(\frac{x-v}{\alpha}\right)}} \quad -\infty < x < \infty, \alpha > 0 \quad (3.67)$$

Donde:

$v$  Parámetro de ubicación

$\alpha$  Parámetro de escala

$$E(x) = \hat{v} + 0.5772\hat{\alpha}$$

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2\hat{\alpha}^2}{6}$$

$$\gamma = 1.1396$$

$$k = 5.4002$$

La variable reducida Gumbel es

$$y_i = \frac{x_i - v}{\alpha} \quad (3.68)$$

### 3.3 Estimación de parámetros por el Método de Momentos

El método de los momentos es un procedimiento muy sencillo para encontrar un estimador de uno o más parámetros poblacionales. Consiste básicamente en plantear un sistema de ecuaciones, cuyo tamaño depende del número de parámetros a estimar. Esto se hace al igualar los momentos poblacionales con los muestrales.

Los momentos poblacionales pueden obtenerse con respecto a la media o con respecto al origen. Ya sea que se utilice una u otra se podrá hacer las transformaciones necesarias.

Los momentos muestrales, también conocidos como estadísticos muestrales, se obtienen con las siguientes expresiones:

#### **Media**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.69)$$

#### **Varianza Sesgada**

$$S_{sesg}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.70)$$

#### **Varianza no sesgada**

$$S_{insesg}^2 = \frac{n}{n-1} S_{sesg}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.71)$$

**Coefficiente de asimetría sesgado**

$$g_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(S_{sesg}^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.72)$$

**Coefficiente de asimetría no sesgado**

$$g_{insesg} = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} g_{sesg} \quad (3.73)$$

**Coefficiente de curtosis sesgado**

$$k_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(S_{sesg}^2)^2} \quad (3.74)$$

**Coefficiente de curtosis no sesgado**

$$k_{insesg} = \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} k_{sesg} \quad (3.75)$$

**Desviación estándar**

$$S = \sqrt{S^2} \quad (3.76)$$

**Coefficiente de variación**

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \quad (3.77)$$

En el análisis hidrológico se recomienda el uso de los estadísticos no sesgados, ya que generalmente se trabaja con muestras relativamente pequeñas.

**3.3.1.1 Distribución exponencial con un parámetro  $\beta$** 

$$\beta = \frac{1}{\hat{\mu}} = \frac{1}{\bar{x}} \quad (3.78)$$

### 3.3.1.2 Distribución exponencial de dos parámetros $\beta$ y $x_0$

$$\hat{\beta} = S \quad (3.79)$$

$$\hat{x}_0 = \hat{x} - S \quad (3.80)$$

### 3.3.1.3 Distribución Normal

$$\hat{\mu} = \bar{x} \quad (3.81)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3.82)$$

### 3.3.1.4 Distribución Log Normal con dos parámetros

$$\hat{\mu}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (3.83)$$

$$\hat{\sigma}_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \hat{\mu}_y)^2}{n} \quad (3.84)$$

### 3.3.1.5 Distribución Log Normal con tres parámetros

$$\hat{x}_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{\hat{\eta}_x}{\hat{\eta}_z}\right) \quad (3.85)$$

Donde:

$$\hat{\eta}_x = \frac{S}{\bar{x}} \quad (3.86)$$

$$\hat{\eta}_z = \frac{1-w^{\frac{2}{3}}}{w^{\frac{1}{3}}} \quad (3.87)$$

$$w = \frac{(g^2 + 4)^{\frac{1}{2}} - g}{2} \quad (3.88)$$

$$\hat{\mu}_y = \ln\left(\frac{s}{\hat{\eta}_z}\right) - \frac{1}{2} \ln(\hat{\eta}_z^2 + 1) \quad (3.89)$$

$$\hat{\sigma}_y = [\ln(\hat{\eta}_z^2 + 1)]^{\left(\frac{1}{2}\right)} \quad (3.90)$$

### 3.3.1.6 Distribución Gamma con dos parámetros

$$\hat{\alpha} = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (3.91)$$

$$\hat{\beta} = \left(\frac{\hat{x}}{s}\right)^2 \quad (3.92)$$

### 3.3.1.7 Distribución Gamma con tres parámetros

$$\hat{\beta} = \frac{4}{g^2} \quad (3.93)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{s}{\sqrt{\hat{\beta}}} \quad (3.94)$$

$$\hat{x}_0 = \bar{X} - S\sqrt{\hat{\beta}} \quad (3.95)$$



### 3.3.1.8 Distribución de valores extremos tipo I (Gumbel)

$$\hat{v} = \bar{x} - 0.45 S \quad (3.96)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S = 0.78S \quad (3.97)$$

## 3.4 Límites de confianza

Los límites de confianza son empleados para estimar las incertidumbres asociadas con la determinación de los eventos para periodos de retorno específicos.

Puesto que una distribución de frecuencias es únicamente un estimado de la muestra de cierta población, es probable que otra muestra de igual longitud de esa misma población, pero tomada en diferente tiempo produzca otra curva de frecuencias. Los límites o intervalos de confianza definen el rango dentro del cual se espera que se ubiquen éstas curvas con cierto nivel de confianza. Es decir;

$$\hat{X}_1 = \hat{X}_T \pm u_\alpha S_T \quad (3.98)$$

Donde:

$\hat{X}_1$  Límites de confianza superior e inferior

$\hat{X}_T$  Evento obtenido a partir de la función de distribución para cierto periodo de retorno

$S_T$  Desviación estándar de los eventos estimados para un periodo de retorno  $Tr$ .

$U_\alpha$  Desviación normal estándar para un nivel de confianza

Con límites al 90%

$$\alpha = 0.10 \quad u_\alpha = 1.645212$$

Con límites al 95%

$$\alpha = 0.05 \quad u_\alpha = 1.960395$$

Con límites al 99%

$$\alpha = 0.01 \quad u_\alpha = 2.576236$$

A continuación se dan las expresiones de  $\widehat{X}_T$  y  $\widehat{S}_T$  para algunas distribuciones (Kite, 1988).

### 3.4.1 Distribución Normal

$$\widehat{X}_T = \hat{\mu} + \hat{\sigma}U_T \quad (3.99)$$

Desviación estándar de los eventos  $\widehat{X}_T$  por momentos y máxima verosimilitud.

$$S_T = \left[1 + \frac{U_T^2}{2}\right]^{1/2} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (3.100)$$

Donde:

$n$  tamaño de la muestra analizada.

Para un probabilidad acumulada  $0 < F(X) \leq 0.5$

$$U_T = \frac{b_0 + b_1v + b_2v^2}{1 + b_3v + b_4v^2 + b_5v^3} \quad (3.101)$$

Donde

$$b_0=2.515517$$

$$b_1=0.802853$$

$$b_2=0.010328$$

$$b_3=1.432788$$

$$b_4=0.18926$$

$$b_5=0.001308$$

$$v = \sqrt{\ln \left\{ \frac{1}{[F(x)]^2} \right\}} \quad (3.102)$$

Para una probabilidad acumulada  $0.5 < F(x) \leq 1$  se cambia  $F(x)$  por  $[1-F(x)]$  en la expresión 3.102 y el signo al valor  $U_T$  calculado con la ecuación 3.101 aquí  $F(x)=1/Tr$  y  $Tr$ = periodo de retorno en años.

### 3.4.2 Distribución Log Normal con 2 parámetros

$$\hat{X}_T = \exp(\hat{\mu}_y + U_T \hat{\sigma}) \quad (3.103)$$

Desviación estándar los de los eventos  $\hat{X}_T$  por momentos

$$S_T = \left(1 + \frac{U_T^2}{2}\right)^{1/2} \frac{\sigma_y}{\sqrt{n}} \quad (3.104)$$

### 3.4.3 Distribución de valores extremos tipo I (Gumbel)

$$\hat{X}_T = \hat{v} - \hat{\alpha} \ln[-\ln(1 - 1/T)] \quad (3.105)$$

Desviación estándar de los eventos  $\hat{X}_T$  por momentos

$$S_T = \left[ \frac{\hat{\sigma}^2}{2} (1 + 1.1396k_T + 1.10k_T^2) \right]^{1/2} \quad (3.106)$$

Donde:

$$k_T = - \left\{ 0.45 + 0.7797 \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (3.107)$$

### 3.5 Cálculo de homogeneidad de una muestra

Las fases de planeación, diseño, construcción y operación de los aprovechamientos hidráulicos están siempre relacionadas con eventos hidrológicos futuros. La complejidad de los procesos físicos de estos eventos hace casi imposible tener estimaciones confiables de diseño basadas en las leyes de la mecánica o la física, ya sea porque estos métodos son insuficientes o porque el modelo matemático resultante es muy complicado. Una alternativa en el análisis hidrológico es la aplicación de los conceptos de la teoría de probabilidad y estadística.

El análisis de frecuencias de los gastos máximos anuales se emplea para proveer la magnitud de un evento  $\hat{Q}_T$ , de cierto periodo de retorno  $Tr$ , para el diseño de una obra hidráulica; manejo de las llanuras de inundación, y como ayuda en los procesos de planeación y manejo de las cuencas hidrológicas. Sin embargo, el proyectista no solo debe estimar la magnitud del evento del diseño, sino también debe proporcionar la excedencia, con el fin de fijar la seguridad del funcionamiento de la obra, o bien el riesgo de falla.

Las características estadísticas de las series hidrológicas, como la media, la desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, se afectan cuando la serie presenta tendencia en la media o en la varianza, o cuando ocurren saltos

negativos o positivos; tales anomalías son producidas por la pérdida de homogeneidad.

En general, la falta de homogeneidad de los datos es inducida por las actividades humanas como la deforestación, apertura de nuevas áreas de cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación. También es producto de los procesos naturales súbitos, como incendios forestales, terremotos, deslizamientos de laderas y erupciones volcánicas.

Las pruebas estadísticas que miden la homogeneidad de una serie de datos presentan una hipótesis nula y una regla para aceptarla o rechazarla.

A continuación se describen tres tipos de pruebas para la determinación de la homogeneidad de una muestra.

### *3.5.1 Prueba estadística de Helmer*

Esta prueba es sencilla y consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento  $Q_j$  de la serie para  $j$  para  $i=1,2,\dots,n_j$ , con respecto al valor medio  $Q_j$ . Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia  $S$ , de lo contrario se considera como un cambio  $C$ .

La serie se considera homogénea si se cumple:

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1} \quad (3.108)$$

### *3.5.2 Prueba estadística t de Student*

Cuando la causa probable de la pérdida de la homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico  $t$  es muy útil.

Si se considera una serie  $Q_j$  para  $i=1,2,\dots,n$ , del sitio  $j$ , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño  $n_1=n_2=n/2$ , entonces, el estadístico de prueba se define con la expresión:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[ \frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad (3.109)$$

Donde:

$\bar{X}_1, S_1^2$  Media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño  $n_1$ .

$\bar{X}_2, S_2^2$  Media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño  $n_2$ .

El valor absoluto de  $t_d$  se compara con el valor de la distribución  $t$  de Student de dos colas, y con  $\nu = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel  $\alpha = 0.05$ , tabla 3.1.

Si y solo sí, el valor absoluto de  $t_d$  es mayor que aquel de la distribución  $t$  de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie  $Q_j$  se considera homogénea.

### 3.5.3 Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro  $Q_j$  de la serie  $j$  para  $i=1,2,\dots,n_j$ , y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un periodo de tiempo a otro. Con este propósito se consideran tres bloques, el primero, del tamaño total de la muestra  $n_j$ ; el segundo de tamaño  $n_{60}$  (60% de los últimos valores de la muestra  $n_j$ ); y el tercero de tamaño  $n_{30}$  (30% de los últimos valores de la muestra  $n_j$ ).

Tabla 3.1 Distribución t de Student para una y dos colas y  $\alpha=5\%$ 

Distribución t de Student					
Grados de libertad	Nivel de significancia		Grados de libertad	Nivel de significancia	
	Una cola 5%	Dos colas 5%		Una cola 5%	Dos colas 5%
1	6.314	12.706	18	1.734	2.101
2	2.920	4.303	19	1.729	2.093
3	2.353	3.182	20	1.725	2.086
4	2.132	2.776	21	1.721	2.08
5	2.015	2.571	22	1.717	2.074
6	1.943	2.447	23	1.714	2.069
7	1.895	2.365	24	1.711	2.064
8	1.860	2.306	25	1.708	2.06
9	1.833	2.262	26	1.706	2.056
10	1.812	2.228	27	1.703	2.052
11	1.796	2.201	28	1.701	2.048
12	1.782	2.179	29	1.699	2.045
13	1.771	2.160	30	1.697	2.042
14	1.761	2.145	40	1.684	2.021
15	1.753	2.131	60	1.671	2.000
16	1.746	2.120	120	1.658	1.980
17	1.740	2.110	$\infty$	1.645	1.960

La prueba compara que el valor de la media de  $Q_j$  del registro total con cada una de las medidas de los bloques elegidos  $Q_{60}$  y  $Q_{30}$ . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques.

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j} \quad (3.110)$$

$$S_Q^j = \left[ \frac{1}{(n_j)} \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.111)$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}} \quad (3.112)$$

$$\bar{Q}^J_{30} = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q^j_k}{n_{30}} \quad (3.113)$$

$$\tau^j_{60} = \frac{\bar{Q}_{60}^j - \bar{Q}^J}{s_{Q^j}} \quad (3.114)$$

$$\tau^j_{30} = \frac{\bar{Q}_{30}^j - \bar{Q}^J}{s_{Q^j}} \quad (3.115)$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n_j-2)}{n_j-n_w[1+(\tau^j_w)^2]} \right\}^{\frac{1}{2}} |\tau^j_w| \quad \text{para } w=60 \text{ y } w=30 \quad (3.116)$$

El estadístico  $t_w$  tiene distribución  $t$  de Student de dos colas con  $\nu = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel  $\alpha= 0.05$ .

Si y solo sí, el valor absoluto de  $t_w$ , para  $w=60$  y  $w=30$ , es mayor que el de la distribución  $t$  de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por tanto la serie  $Q_j$  se considera no homogénea.

### 3.6 Determinación de independencia de una muestra

Para que se pueda llevar a cabo el análisis de frecuencias se requiere que la muestra  $Q_j$  de la serie  $j$  para  $i= 1,2,\dots,n_j$ , este compuesta por variables aleatorias. Para probarlo se aplica la prueba de independencia de Anderson, la cual hace uso del coeficiente de autocorrelación serial  $r_k^j$  para diferentes tiempos de retraso  $k$ . Si se analiza un solo registro, entonces  $j=1$ .

La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso  $k$  es:

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)(Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}; r_0^j = 1 \text{ y } k = 1,2, \dots, \frac{n_j}{3} \quad (3.117)$$



Donde:

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j} \quad (3.118)$$

Además los límites al 95% de confianza para  $r_k^j$  se pueden obtener como

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96 \sqrt{(n_j - k - 1)}}{n_j - k} \quad (3.119)$$

La gráfica de los valores estimados para  $r_k^j$  (ordenadas) contra los tiempos de retraso  $k$  (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra.

Si y solo si, el 10% de los valores de  $r_k^j$  sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie  $Q_j$  es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de probabilidad.

### 3.7 Prueba de bondad de ajuste

Kite (1988) propuso un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos  $Q_i^j$  para  $i=1,2,\dots,n_j$ , de un sitio  $j$ .

Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste, y tiene la forma

$$EE = \left[ \sum_{i=1}^{n_j} \frac{(\hat{Q}_T^j - Q_T^j)^2}{n_j - mp} \right]^{1/2} \quad (3.120)$$

Donde:

$Q_{Tr}^j$  Eventos asociado a un periodo de retorno

$Q_i^j$  Gastos ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asignado con la ecuación de Weibull:

$$Tr = \frac{n+1}{m} \quad (3.121)$$

y una probabilidad de no excedencia:

$$P = 1 - \frac{1}{T} \quad (3.122)$$

$n_j$  Longitud en años del registro analizado.

$m$  número de orden del registro,

$mp$  número de parámetros de la distribución ajustada

La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del estadístico  $EE$ . Si una o más distribuciones tienen valores similares del  $EE$ , entonces, se deberá optar por aquella distribución que tenga el menor número de parámetros.

### 3.8 Métodos para la estimación de las curvas intensidad- duración- periodo de retorno.

Si se cuenta con información de pluviógrafo, es posible modelar las intensidades de lluvia  $i$ (mm/h), ajustando una relación empírica entre las intensidades, las duraciones y los periodos de retorno de acuerdo con la siguiente secuencia:

1. Para cada duración de lluvia, las intensidades son ordenadas de mayor a menor
2. Se asigna un periodo de retorno a cada elemento empleando la ley empírica de Weibull

3. A cada elemento se le asocia una probabilidad de no excedencia
4. El último paso consiste en ajustar un modelo general del tipo de la ecuación:

$$i = \frac{a}{(d^v + b)^e} \quad (3.123)$$

Donde:

$a, b, e$  Coeficientes que se obtienen por calibración de la muestra

$i$  Intensidad de lluvia (mm/h)

$d$  duración de la lluvia

De ésta se han establecido algunas otras:

*Talbot:*

$$i = \frac{a}{d + b} \quad (3.124)$$

*Bernard*

$$i = \frac{a}{d^e} \quad (3.125)$$

*Kimijima*

$$i = \frac{a}{d^e + b} \quad (3.126)$$

*Sherman*

$$i = \frac{a}{(d + b)^e} \quad (3.127)$$

Donde:

$a, b$  y  $e$  Constantes que se obtienen por el método de mínimos cuadrados

$i$  Intensidad de la lluvia en mm/hr

Las relaciones donde se adiciona explícitamente el periodo de retorno son:

$$i = \frac{KT^m}{d^n} \quad (3.128)$$

Donde:

$m$  y  $n$  Constantes que se obtienen por el método de mínimos cuadrados

$i$  Intensidad de la lluvia en mm/hr

$T$  Periodo de retorno en años

O también:

*Hargreaves*

$$P = KT^{\frac{1}{6}}d^{\frac{1}{4}} \quad (3.129)$$

Donde:

$P$  Precipitación en mm

$T$  Periodo de retorno en años, válido para  $5 \leq T \leq 100$  años.

$d$  Duración en minutos, válidos para  $30 \text{ min} \leq d \leq 4 \text{ dias}$

$K$  Constante que se calibra para cada región analizada

También existen relaciones en la que se requiere modelar las intensidades máximas de una hora y de 24 horas a través del análisis de frecuencias de eventos extremos. Estas relaciones pueden ser:

*Bell*

$$\frac{P_d^T}{P_1^T} = 0.54d^{0.25} - 0.50 \quad \text{para } 5 < d < 120 \text{ minutos} \quad (3.130)$$

$$\frac{P_d^T}{P_d^{10}} = 0.21 \ln T + 0.52 \quad \text{para } 2 < T < 100 \text{ años} \quad (3.131)$$

Donde:

$P_d^T$  Precipitación de periodo de retorno  $T$  en años y duración  $d$  en minutos

$P_1^T$  Precipitación de periodo de retorno  $T$  en años y duración  $d = 1$  hora

$P_d^{10}$  Precipitación de periodo de retorno  $T = 10$  años y duración  $d$  en minutos

*Chen*

$$I_d^T = \frac{aI_1^{10} \text{Log} \left\{ 10^{2-X} \left[ \text{Ln} \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^{(X+1)} \right\}}{(d+b)^c} \quad \text{Para } 5 \text{ minutos} < d < 24 \text{ h} \quad (3.132)$$

Donde:

$$X = \frac{P_1^{100}}{P_1^{10}} \quad (3.133)$$

$P_1^{100}$  Precipitación de periodo de retorno  $T = 100$  años y duración  $d = 1$  hora

$P_1^{10}$  Precipitación de periodo de retorno  $T = 10$  años y duración  $d = 1$  hora

$I_1^{10}$  Intensidad de periodo de retorno  $T = 10$  años y duración  $d = 1$  hora

$a, b$  y  $c$  Constantes de ajuste

*Kothyari y Garde*

$$I_d^T = C \frac{T^b}{d^a} (P_{24h}^2)^e \quad (3.134)$$

Donde:

$i_d^T$  Intensidad para  $T$  años y  $d$  min

$a, b, C, e$  Constantes obtenidas por un análisis de correlación lineal múltiple

### 3.8.1 Método SCS-USA

Cuando solo se dispone de las láminas de lluvias acumuladas en 24 horas se puede utilizar otro procedimiento empírico, el cual requiere que las lluvias registradas sean maximizadas al multiplicarlas por la constante de 1.13 para transformarlas en máximas diarias.

Posteriormente, a este registro se le ordena de mayor a menor, se le asigna un periodo de retorno mediante la ley de Weibull y una probabilidad de no excedencia.

Con el objetivo de obtener las lluvias de determinado periodo de retorno se aplica el análisis de frecuencias de eventos extremos máximos.

Con ayuda de la Figura 3.1 es posible inferir, en el eje de las ordenadas, la lámina de lluvia de periodo de retorno de 2 años y duración 1h ( $Hp_{1h}^2$ ), mediante el empleo de dos variables, la primera es la media de las lluvias máximas anuales (obtenida de la muestra analizada), y la segunda el número promedio de días con lluvias apreciables en el año ( $H_p > 1$  mm). Con este valor es posible determinar la relación:

$$R = \frac{Hp_{1h}^2}{Hp_{24h}^2} \quad (3.135)$$

Donde:

$Hp_{24h}^2$  Precipitación estimada con la distribución de probabilidad de mejor ajuste.

Como esta relación teóricamente no cambia con el periodo de retorno, es factible obtener las lluvias de 1 hora de duración y diferente periodo de retorno con la expresión:

$$Hp_{1h}^T = RHp_{24h}^T \quad (3.136)$$

Donde los valores  $Hp_{24h}^T$  para  $T = 2, 5, 10, 20, 50$  y  $100$  años se obtienen con la distribución de mejor ajuste.

Conocidos los valores de  $Hp_{1h}^T$  y  $Hp_{24h}^T$  las lluvias para duraciones  $1h < d < 24h$  se obtienen fácilmente por interpolación logarítmica entre estos puntos para  $T = 2, 5, 10, 20, 50$  y  $100$  años.

Para duraciones menores a una hora se deberán emplear las expresiones:

$$Hp_d^T = CHp_{1h}^T \quad (3.137)$$

Donde la constante C depende de la duración d en minutos, así:

Tabla 3.2 Valores de la constante C

Duración	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
C	0.32	0.54	0.71	0.82	0.91	1

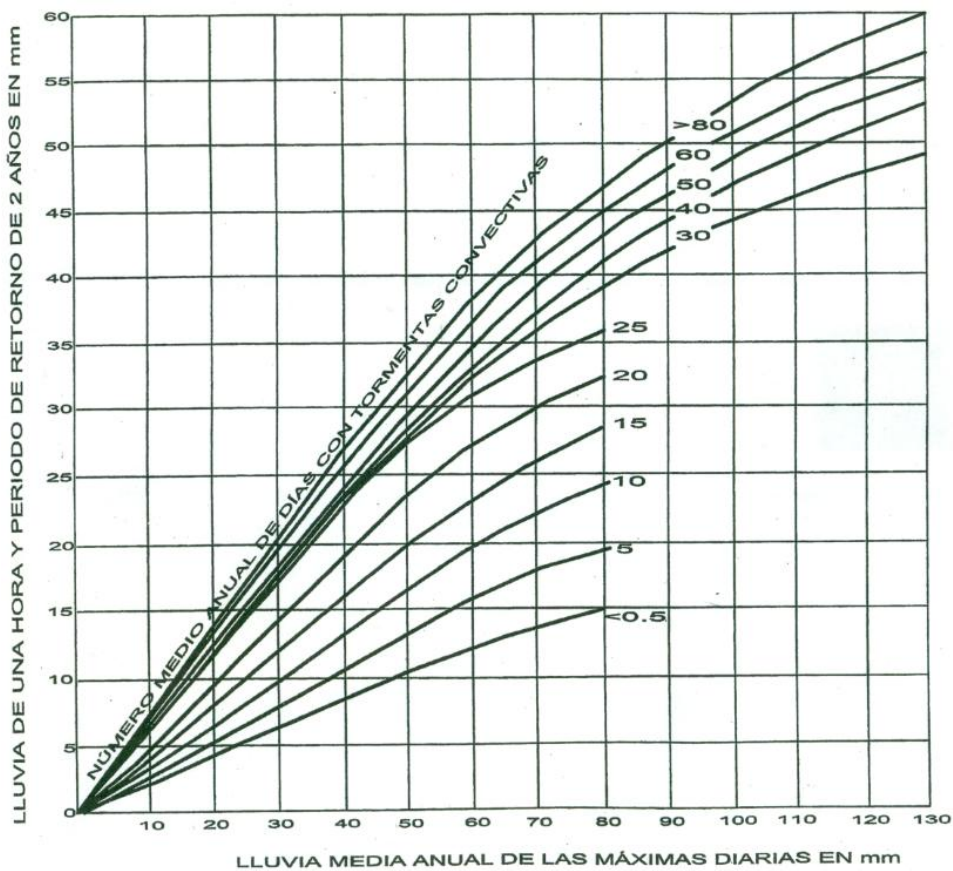


Figura 3.1 Estimación empírica de la lámina de lluvia  $Hp_{1h}^2$

Después de obtener las curvas Hp-d-T, se pueden transformar fácilmente con la expresión:

$$i_d^T = \frac{Hp_d^T}{d} \quad (3.137)$$



## 4 Aplicación

### 4.1 Descripción del área de estudio

El vocablo Coyoacán es el resultado de una serie de transformaciones que en su escritura y pronunciación sufrió la palabra nahúatl “Coyohuacán”, la versión más aceptada es la que lo define como: *lugar de los que tienen o poseen coyotes*, basada en la explicación del topónimo original, que se compone de tres voces nahuas:

**coyotl**, coyote; **hua**, posesión y **can**, lugar

El jeroglífico que identifica a esta entidad es la figura de un coyote sentado visto de perfil, con la lengua de fuera y un círculo a mitad del cuerpo.



Figura 4.1 Logotipo de la Delegación Coyoacán

Algunos investigadores supusieron que la lengua de fuera podría remitirnos a un coyote cansado y jadeante, dadas las cualidades de agilidad y velocidad que le son inherentes, el círculo podría solamente representar una especie de señal para diferenciarlo de otros cándidos de la zona.

Es muy probable que el topónimo y logotipo actuales hayan surgido durante la época en que Coyoacán se fundó, fecha que se cita en el lapso comprendido entre los siglos X y XII. Tanto el logotipo como el topónimo se encuentran representados en diversos pergaminos, códices y pinturas prehispánicas.

Coyoacán, es una de las 16 delegaciones políticas en las que se divide el Distrito Federal, se ubica en el centro geográfico de esta entidad, al suroeste de la cuenca de México y cubre una superficie de 54.4 kilómetros cuadrados que representan el 3.6% del territorio de la capital del país.



Figura 4.2 Ubicación de la Delegación Coyoacán

Las coordenadas de la Delegación Coyoacán son: al norte 19 grados 21 minutos, al sur 19 grados, 18 minutos latitud norte, al este 99 grados 06 minutos, al oeste 99 grados y 12 minutos de longitud oeste.

La mayor parte de la delegación se encuentra a una altura de 2240 msnm, con ligeras variaciones a 2250 msnm en Ciudad Universitaria, San Francisco Culhuacán y Santa Úrsula Coapa. Su elevación más importante se ubica al extremo sur poniente de la delegación, en el cerro del Zacatépétl a 2420 msnm.

Las rocas volcánicas que se localizan al suroeste de Coyoacán provienen de la erupción del volcán Xitle. Esta roca, clasificada como basalto, se extiende hasta las actuales colonias de Santo Domingo, Ajusco y el Pueblo de Santa Úrsula.

Dos tipos de suelo componen la mayor parte de esta demarcación: el de origen volcánico y el de zonas lacustres, que provienen de los lagos que se encontraban ubicados en esta zona. Sin embargo, las cualidades de estos suelos han sido transformadas significativamente por el hombre.

En base en la clasificación estratigráfica, la ciudad se ha subdividido en 3 zonas convencionales. En Coyoacán encontramos dos de ellas:

- Lomas cubiertas por derrames basálticos que conforman el pedregal: Comprende zonas de los pedregales y la central entre las que se encuentran la Ciudad Universitaria, El Pedregal de Carrasco, Santa Úrsula Coapa, Copilco el Alto, Viveros de Coyoacán y el Centro Histórico, entre otros.
- Zonas de transición (se compone de depósitos arcillosos y limosos que cubren capas de arcilla volcánica de potencia variable), corresponde al límite superior del plan lacustre. Este tipo de suelo comprende el resto de la delegación.

En lo referente a la hidrografía, dos son los ríos que cruzan la demarcación: el río Magdalena (casi totalmente entubado) penetra en la Delegación por el sureste, cerca de los Viveros de Coyoacán se le une el río Mixcoac (entubado), para juntos formar el río Churubusco que sirve como límite natural con la Delegación Benito Juárez, al norte.

El esquema general de hidrografía ubica a estos ríos como las corrientes principales. También al interior de la demarcación se localiza el canal Nacional. De acuerdo con la carta hidrográfica de Aguas Superficiales, el 100% de la Delegación Coyoacán se encuentra en la Región del Pánuco, en la Cuenca Rey Moctezuma y en la Sub cuenca Lago Texcoco Zumpango.

Los grandes lagos, los suelos fértiles, los bosques y la variedad de coníferas que caracterizaban el paisaje de Coyoacán, han sido sustituidos gradualmente por el

avance de la mancha urbana, llevando a la deforestación y al agotamiento del suelo, lo que pone en serio peligro natural a la zona.



Figura 4.3 Centro de Coyoacán

Como medidas de protección ambiental, se han cultivado bosques artificiales de eucaliptos, pirules, casuarinas, entre otros, en cerros que originalmente carecían de vegetación y en áreas naturales extintas, tal es el caso del cerro Zacatépetl.

Su total de áreas verdes es de 4, 318, 783.56 m<sup>2</sup>

Los Viveros de Coyoacán, constituyeron el primer vivero oficial forestal del país. Actualmente, además de ser un centro de producción arbórea, es uno de los pulmones más importantes de la Ciudad de México.

Las zonas utilizadas anteriormente para el cultivo, al oriente de la demarcación, hoy son escasas debido al proceso de urbanización.

Coyoacán cuenta también con espacios verdes que tienen un papel vital en la recarga de mantos acuíferos y de oxígeno. Tomando en cuenta, no sólo las grandes áreas verdes ya mencionadas, sino también los parques vecinales y jardines de barrio con que cuenta la mayoría de las colonias.

Dos de los principales puntos de interés ubicados en esta delegación son el *Jardín del Centenario* y *Jardín Hidalgo*, (también conocido como: "el parque de los coyotes"). También están Los Viveros donde abunda una gran cantidad de especies vegetales, La Plaza y Capilla de la Conchita y La Capilla Santa Catalina de Siena, también conocida como "Santa Catarina".

En la delegación Coyoacán se encuentra Ciudad Universitaria, la Plaza de Churubusco y el ex-convento de Churubusco, los Viveros de Coyoacán y otros parques y jardines como el parque Frida Kahlo, alameda del sur, jardín Centenario, parque Xicotencatl, parque Masayoshi Ohira y el parque ecológico Huayamilpas entre otros; así como los Museos Diego Rivera Anahuacalli, León Trotsky, Frida Kahlo, Nacional de las Intervenciones, de la Acuarela, del Automóvil, El Kiosco de las palomas, Culturas Populares, MUCA y MUAC. También se pueden encontrar casas representativas como; la casa Colorada, de los Camilos, Municipal, de Diego de Ordaz, del Indio Fernández, de Alvarado y de Dolores del Río y los centros comerciales Perisur, Gran Sur y Galerías Coapa, además de la Alameda del Sur que cuenta con la biblioteca General Vicente Guerrero. Otro lugar simbólico de la delegación es el zoológico regional Los Coyotes donde se exhibe fauna endémica y nativa del Valle de México.

Ubicado en el Pueblo de San Pablo Tepetlapa, cercano a la estación del tren ligero Xotepingo, El Anahuacalli es un museo, edificado con la idea de un templo ceremonial prehispánico, lo hizo Diego Rivera para albergar sus colecciones personales del mismo origen, y lo donó al pueblo de México.

La Delegación Coyoacán es, por lo tanto, una comunidad plena en opciones culturales, recreativas y comerciales. Algunos de los teatros que se encuentran ubicados en esta delegación son: El teatro Rafael Solana, Sala Nezahualcoyotl, Teatro Juan Luis de Alarcón, Foro Sor Juana Inés de la Cruz, Centro Nacional de las Artes, Sala Miguel Covarrubias y la Sala Carlos Chávez, entre otros.

En la delegación Coyoacán se encuentran 5 estaciones climatológicas manejadas por CONAGUA, en la tabla 4.1 se muestran los nombres, ubicación, altitud y fechas de registro de cada una de ellas. Para este trabajo se trabajará con la variable meteorológica de precipitación.

**Tabla 4.1 Estaciones climatológicas ubicadas en la delegación Coyoacán**

Estaciones en el área de estudio					
Estación	Nombre	Municipio	Altitud [msnm]	Fechas de registro	
				Inicio	Fin
00009008	Ciudad Universitaria	Coyoacán	2,278.0	Octubre 2003	Diciembre 2009
00009014	Colonia Santa Úrsula Coapa	Coyoacán	2,256.0	Enero 1971	Diciembre 2010
00009055	Pedro Arvizu 36	Coyoacán	2,240.0	Enero 1961	Diciembre 1970
00009070	Campo Exp. Coyoacán	Coyoacán	2,260.0	Enero 1976	Noviembre 2007
00009071	Colonia Educación	Coyoacán	2,250.0	Enero 1982	Diciembre 2010

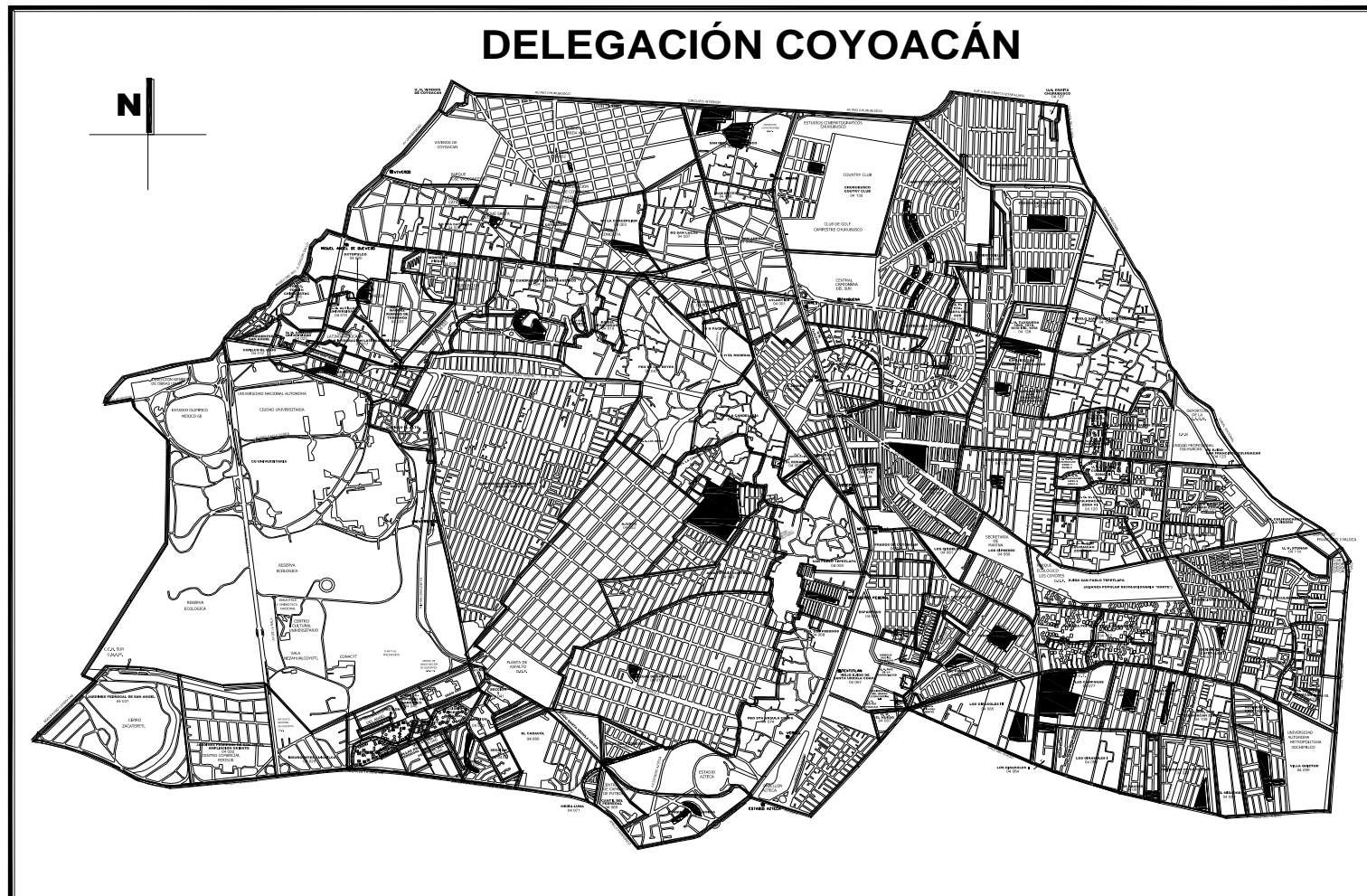


Figura 4.4 Plano de la Delegación Coyoacán. BIBLIOCAD.COM

## 4.2 Verificación de Homogeneidad de los datos

Se recopiló información de precipitaciones diarias Tabla 4.2 para las estaciones climatológicas 09008, 09014, 09055, 09070 y 09071 contenidas en la base de datos Clima Computarizado (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional. Para los cálculos se eliminó la estación 09008 ya que solo se contaba con 5 años de registro (2005 a 2009).

Para la obtención de las curvas i-d-t se requiere obtener los valores  $\hat{P}_{24h}^T$ , para lo que se debe llevar a cabo un análisis de frecuencias de eventos extremos máximos, a la serie  $Hp_{24h}$ . Estos valores, corresponden al registro pluviométrico, por lo que es necesario maximizar los valores de  $Hp_{24h}$  multiplicándolos por 1.13, para obtener la serie  $Hp_{max\ diaria}$ .

Para verificar que la serie de datos sea homogénea en las cuatro estaciones en estudio, se hará la revisión de la homogeneidad empleando las ecuaciones de Helmert, T-studen y Cramer, mismas que se explicaron en el capítulo 3.

Tabla 4.2 Datos pluviométricos de la estación 09014

Estación 09014			Estación 09014		
Año	$Hp_{24h}$	$Hp_{max\ diaria}$	Año	$Hp_{24h}$	$Hp_{max\ diaria}$
1971	38	42.94	1982	37	41.81
1972	37.5	42.375	1983	59	66.67
1973	35.5	40.115	1984	49.3	55.709
1974	53.5	60.455	1985	56	63.28
1975	34.4	38.872	1986	41.6	47.008
1976	44	49.72	1987	34	38.42
1977	82	92.66	1988	65	73.45
1978	74	83.62	1989	56.5	63.845
1979	40.5	45.765	1990	93	105.09
1980	43	48.59	1991	57	64.41
1981	58	65.54	1992	39.2	44.296



Tabla 4.2 Datos pluviométricos de la estación 09014 (continuación)

Estación 09014			Estación 09014		
<b>Año</b>	<b><i>H<sub>p</sub></i><sub>24 h</sub></b>	<b><i>H<sub>p</sub></i><sub>max diaria</sub></b>	<b>Año</b>	<b><i>H<sub>p</sub></i><sub>24 h</sub></b>	<b><i>H<sub>p</sub></i><sub>max diaria</sub></b>
1993	53.5	60.455	2002	73	82.49
1994	42.2	47.686	2003	40	45.2
1995	68.3	77.179	2004	29	32.77
1996	47.3	53.449	2005	36	40.68
1997	38.5	43.505	2006	58	65.54
1998	79.5	89.835	2007	48	54.24
1999	28.5	32.205	2008	38	42.94
2000	57	64.41	2009	40	45.2
2001	52	58.76	2010	50	56.5

N=	40
media=	56.6921
varianza=	295.00201
desviación=	17.175623

Tabla 4.3 Datos pluviométricos de la estación 09055

Estacion 09055		
<b>Año</b>	<b><i>H<sub>p</sub></i><sub>24 h</sub></b>	<b><i>H<sub>p</sub></i><sub>max diaria</sub></b>
1961	30	33.9
1962	86	97.18
1963	39.5	44.635
1964	60	67.8
1965	45.7	51.641
1966	37	41.81
1967	46.6	52.658
1968	65.2	73.676
1969	41.5	46.895
1970	23.5	26.555

N=	10
media=	53.675
varianza=	432.4917
desviación=	20.79643

Tabla 4.4 Datos pluviométricos de la estación 09070

Estación 09070		
Año	$H_p_{24 h}$	$H_p_{max\ diaria}$
1990	41.1	46.443
1991	47.1	53.223
1992	90.9	102.717
1993	79.4	89.722
1994	90.8	102.604
1995	49.5	55.935
1996	13.6	15.368
1997	61.8	69.834
1998	51	57.63
1999	47.6	53.788
2000	43.4	49.042
2001	57.5	64.975
2002	61.4	69.382
2003	76.2	86.106
2004	39	44.07
2005	20.5	23.165
2006	67.3	76.049
2007	82.8	93.564

N=	18
media=	64.08983
varianza=	618.2588
desviación=	24.86481

Tabla 4.5 Datos pluviométricos de la estación 09071

Estación 09071		
Año	$H_p_{24 h}$	$H_p_{max\ diaria}$
1982	42	47.46
1983	43	48.59
1984	42.5	48.025
1985	78	88.14
1986	30.3	34.239
1987	32	36.16
1988	66	74.58
1989	11	12.43
1990	50.7	57.291
1991	67.5	76.275
1992	40	45.2
1993	46	51.98
1994	31	35.03
1995	11	12.43
1996	29	32.77
1997	40	45.2
1998	60.2	68.026
1999	22	24.86
2000	31	35.03
2001	42	47.46
2002	31.8	35.934
2003	11	12.43
2004	35.7	40.341
2005	27.8	31.414
2006	44	49.72
2007	41.6	47.008
2008	41.2	46.556
2009	41.6	47.008
2010	41.6	47.008

N=	29
media=	44.08948
varianza=	318.2127
desviación=	17.83852

Empezando el análisis de Homogeneidad para la **estación 09014** se tendrá:

Por **Helmert**

Tabla 4.6 Análisis de homogeneidad para la estación 09014 por la prueba estadística de Helmert.

Por Helmert			
Año	$H_p$ max diaria	Signo	Resultado
	mm		
1971	42.94	-	
1972	42.375	-	S
1973	40.115	-	S
1974	60.455	+	C
1975	38.872	-	C
1976	49.72	-	S
1977	92.66	+	C
1978	83.62	+	S
1979	45.765	-	C
1980	48.59	-	S
1981	65.54	+	C
1982	41.81	-	C
1983	66.67	+	C
1984	55.709	-	C
1985	63.28	+	C
1986	47.008	-	C
1987	38.42	-	S
1988	73.45	+	C
1989	63.845	+	S
1990	105.09	+	S

Por Helmert			
Año	$H_p$ max diaria	Signo	Resultado
	mm		
1991	64.41	+	S
1992	44.296	-	C
1993	60.455	+	C
1994	47.686	-	C
1995	77.179	+	C
1996	53.449	-	C
1997	43.505	-	S
1998	89.835	+	C
1999	32.205	-	C
2000	64.41	+	C
2001	58.76	+	S
2002	82.49	+	S
2003	45.2	-	C
2004	32.77	-	S
2005	40.68	-	S
2006	65.54	+	C
2007	54.24	-	C
2008	42.94	-	S
2009	45.2	-	S
2010	56.5	-	S

De lo anterior se tiene que:

$$S=17$$

$$C= 22$$

$$S-C=-5$$

Sustituyendo en la ecuación 3.108

$$-\sqrt{39} \leq -5 \leq \sqrt{39}$$

De lo anterior se concluye que la muestra es **HOMEGÉNEA**

Por **t-Student**

Dividiendo a la muestra en dos se tendrá:

**Tabla 4.7 División de la muestra de datos pluviométricos para la estación 09014**

Primera muestra		Segunda muestra	
Año	$H_p$ max diaria mm	Año	$H_p$ max diaria mm
1971	42.94	1991	64.41
1972	42.375	1992	44.296
1973	40.115	1993	60.455
1974	60.455	1994	47.686
1975	38.872	1995	77.179
1976	49.72	1996	53.449
1977	92.66	1997	43.505
1978	83.62	1998	89.835
1979	45.765	1999	32.205
1980	48.59	2000	64.41
1981	65.54	2001	58.76
1982	41.81	2002	82.49
1983	66.67	2003	45.2
1984	55.709	2004	32.77
1985	63.28	2005	40.68
1986	47.008	2006	65.54
1987	38.42	2007	54.24
1988	73.45	2008	42.94
1989	63.845	2009	45.2
1990	105.09	2010	56.5

Tabla 4.8 Estadísticos de la estación 09014 por t Student

Por t-Student			
Primera muestra		Segunda muestra	
$N_1 =$	20	$N_2 =$	20
$\bar{X}_1 =$	58.2967 mm	$\bar{X}_2 =$	55.0875 mm
$S_1^2 =$	355.1192 mm	$S_2^2 =$	244.9907 mm

Empleando la ecuación 3.109

$$t_d = 0.571$$

De la tabla 3.1 para  $\alpha = 0.05$  y  $\nu = 38$  grados de libertad se obtiene:

$$t = 2.0252$$

Por lo que:

$$0.571 < 2.0252 \quad \text{La muestra es } \mathbf{HOMOGÉNEA}$$

Por **Cramer**

Dividiendo la muestra en dos partes se tendrá:

El 30% de los últimos valores representa una muestra con 12 valores los cuales son:

Tabla 4.9 Muestra 1, representa el 30% de los valores correspondientes a la estación 09014

30%		30%	
Año	$H_p$ max diaria	Año	$H_p$ max diaria
	mm		mm
1999	32.205	2005	40.68
2000	64.41	2006	65.54
2001	58.76	2007	54.24
2002	82.49	2008	42.94
2003	45.2	2009	45.2
2004	32.77	2010	56.5

El 60% de los últimos valores representará una muestra de 24 elementos los cuales serán:

**Tabla 4.10 Muestra 2, representa el 60% de los valores correspondientes a la estación 09014**

60%		60%	
Año	$H_p$ max diaria	Año	$H_p$ max diaria
	mm		mm
1987	38.42	1999	32.205
1988	73.45	2000	64.41
1989	63.845	2001	58.76
1990	105.09	2002	82.49
1991	64.41	2003	45.2
1992	44.296	2004	32.77
1993	60.455	2005	40.68
1994	47.686	2006	65.54
1995	77.179	2007	54.24
1996	53.449	2008	42.94
1997	43.505	2009	45.2
1998	89.835	2010	56.5

De las ecuaciones 3.110 a 3.116

**Tabla 4.11 Variables estadísticas de la estación 09014 por Cramer**

Por Cramer			
30%		60%	
$N_{30\%} =$	12	$N_{60\%} =$	24
$\bar{X}_{30} =$	51.744 mm	$\bar{X}_{60} =$	57.606 mm
$S_{30} =$	14.776 mm	$S_{60} =$	18.29 mm
$\tau_{30} =$	-0.288	$\tau_{60} =$	0.0532
$t_{30} =$	1.184	$t_{60} =$	0.403

Comparando los valores con el obtenido de la tabla

Para  $N_{30\%}$

1.184 < 2.0252 **HOMOGÉNEA**

Para  $N_{60\%}$

0.403 < 2.0252 **HOMOGÉNEA**

El mismo procedimiento se realizará para las estaciones faltantes, a continuación se presentarán los resultados de manera resumida:

**Tabla 4.12 Resultados de la prueba estadística de Helmer para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán**

Por Helmer					
<i>Estación</i>	<i>S</i>	<i>C</i>	<i>S-C</i>	$-\sqrt{n-1} \leq (S-C) \leq \sqrt{n-1}$	<i>Resultado</i>
9055	3	6	-6	$-3 \leq -3 \leq 3$	HOMOGÉNEA
9070	10	7	3	$-4.123 \leq 3 \leq 4.123$	HOMOGÉNEA
9071	18	10	8	$-5.29 \leq 8 \leq 5.29$	NO HOMOGÉNEA

**Tabla 4.13 Resultados de la prueba estadística t de Student para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán**

Por t-Student						
<i>Estación</i>	<i>Primera muestra</i>			<i>Segunda muestra</i>		
	$n_1$	$\bar{X}_1$ mm	$S_1^2$ mm	$n_2$	$\bar{X}_2$ mm	$S_2^2$ mm
<b>9055</b>	5	59.031	606.416	5	43.319	294.968
<b>9070</b>	9	65.942	818.26	9	62.238	487.823
<b>9071</b>	15	46.707	461.631	14	41.285	171.862

**Tabla 4.13 Resultados de la prueba estadística t de Student para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán. (Continuación)**

Por t-Student				
<i>Estación</i>	$t_d$	$\nu$	$t$	<i>Resultado</i>
<b>9055</b>	0.7136	8	2.306	HOMOGÉNEA
<b>9070</b>	0.2898	16	2.12	HOMOGÉNEA
<b>9071</b>	0.7847	27	2.052	HOMOGÉNEA

**Tabla 4.14 Resultados de la prueba estadística de Cramer para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán.**

Por Cramer							
Primera muestra							
<i>Estación</i>	$n_{30\%}$	$\bar{X}_{30} \text{ mm}$	$S_{30} \text{ mm}$	$\tau_{30}$	$t_{30}$	$t$	<i>Resultado</i>
9055	3	49.042	23.634	-0.223	0.413	2.306	HOMOGÉNEA
9070	5	64.591	29.878	0.0201	0.0499	2.12	HOMOGÉNEA
9071	9	39.713	11.909	-0.245	0.867	2.052	HOMOGÉNEA

**Tabla 4.14 Resultados de la prueba estadística de Cramer para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán. (Continuación)**

Por Cramer							
Segunda muestra							
<i>Estación</i>	$n_{60\%}$	$\bar{X}_{60} \text{ mm}$	$S_{60} \text{ mm}$	$\tau_{60}$	$t_{60}$	$t$	<i>Resultado</i>
9055	6	48.872	15.421	-0.231	0.834	2.306	HOMOGÉNEA
9070	11	62.509	19.952	-0.0635	0.320	2.12	HOMOGÉNEA
9071	17	38.719	13.844	-0.301	1.99	2.052	HOMOGÉNEA

De los resultados anteriores se concluye que no existe cambio en la tendencia de comportamiento por lo que se podrán emplear las funciones univariadas para el análisis de frecuencias.

### 4.3 Verificación de la independencia de la serie de datos

Para calcular la independencia de los valores de las estaciones se emplearán las ecuaciones 3.117 y 3.119

#### Estación 09014

Para esta estación se tendrán 13 valores de  $r_k$  siendo sus valores y los de los límites los presentados en la tabla 4.15.



Tabla 4.15 Valores del correlograma de la estación 09014

<b><math>k</math></b>	0	1	2	3	4	5	6
<b><math>r_k</math></b>	1	-0.012	-0.092	-0.115	-0.024	0.126	-0.174
<b>lim superior</b>	0.281	0.284	0.287	0.291	0.294	0.298	0.302
<b>lim inferior</b>	-0.331	-0.335	-0.340	-0.345	-0.350	-0.355	-0.361
<b><math>k</math></b>	7	8	9	10	11	12	13
<b><math>r_k</math></b>	0.101	0.029	-0.188	0.003	-0.002	0.308	0.098
<b>lim superior</b>	0.306	0.31	0.314	0.318	0.323	0.328	0.333
<b>lim inferior</b>	-0.366	-0.372	-0.379	-0.385	-0.392	-0.399	-0.407

Cuya representación Gráfica será:

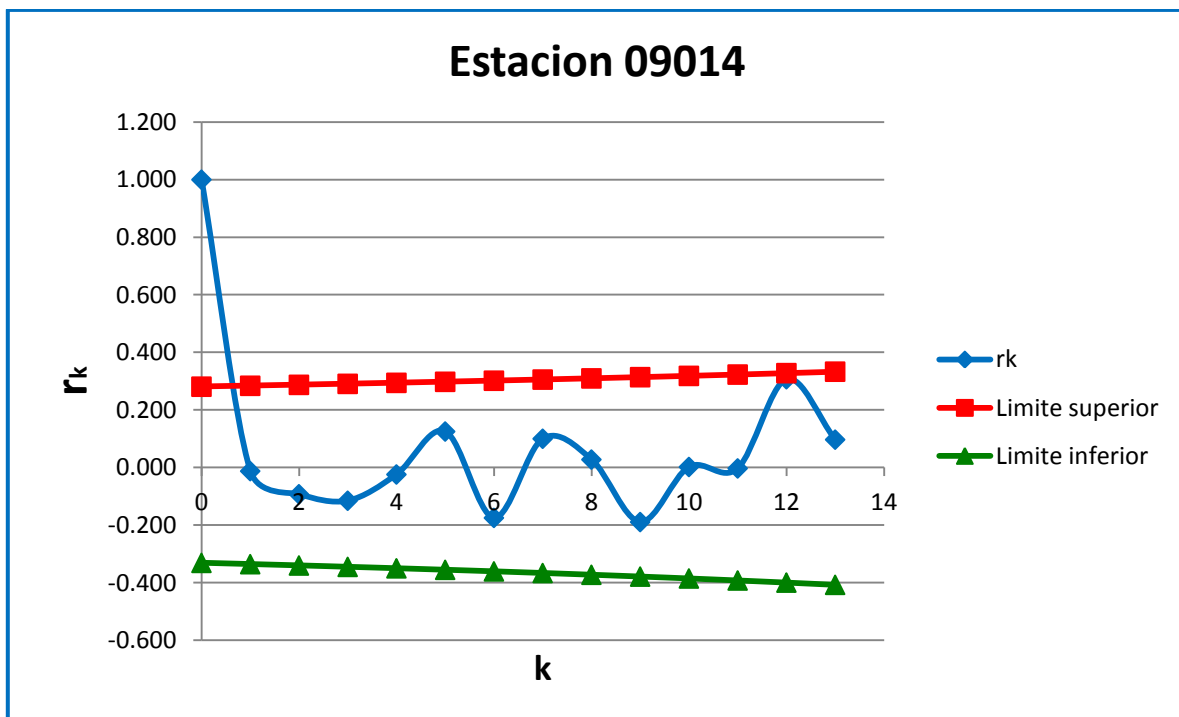


Figura 4.5 Correlograma de la estación 09014

Se concluye que la serie de datos es independiente

## Estación 09055

Para esta estación se tendrán 3 valores de  $r_k$  siendo sus valores y los de los límites los presentados en la tabla 4.16

Tabla 4.16 Valores del correlograma de la estación 09055

$k$	0	1	2	3
$r_k$	1	-0.346	-0.032	-0.053
lim superior	0.488	0.505	0.523	0.543
lim inferior	-0.688	-0.727	-0.773	-0.829

La representación gráfica será:

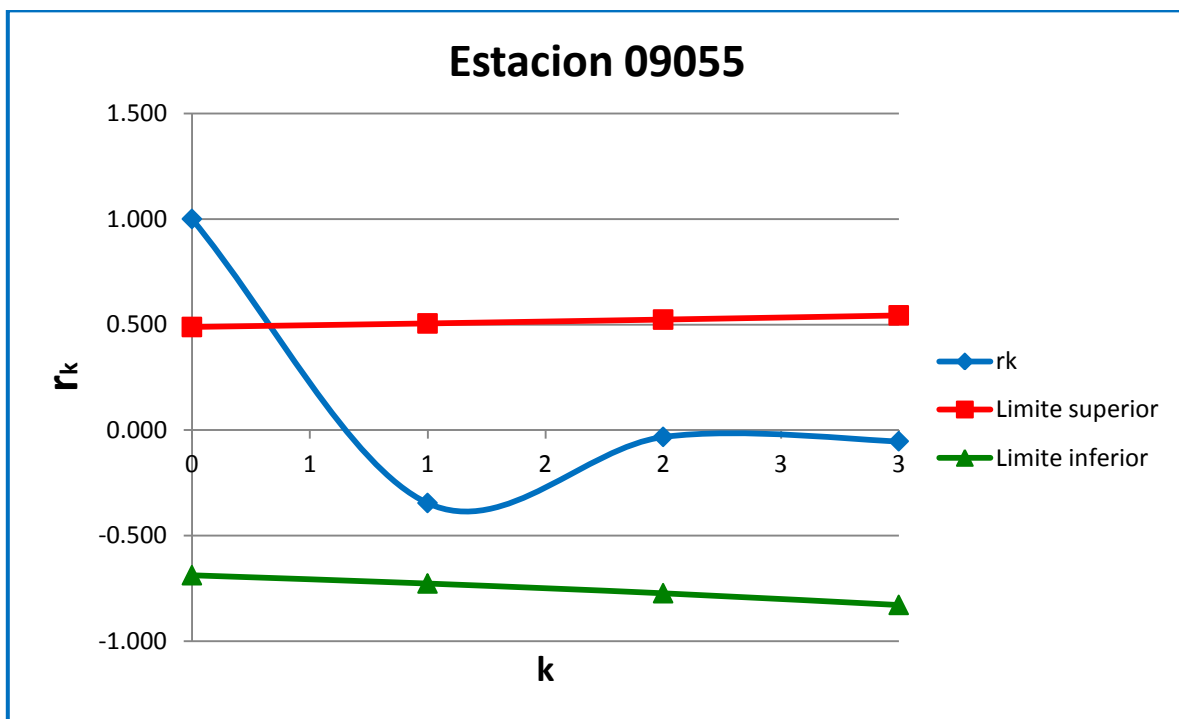


Figura 4.6 Correlograma de la estación 09055

Se concluye que la serie es independiente.

## Estación 09070

Para esta estación se tendrán 6 valores de  $r_k$  siendo sus valores y los de los límites los presentados en la tabla 4.17:

Tabla 4.17 Valores del correlograma de la estación 09070

$k$	0	1	2	3	4	5	6
$r_k$	1	0.199	-0.359	-0.256	-0.098	0.123	-0.003
<i>lim superior</i>	0.393	0.402	0.412	0.422	0.433	0.445	0.458
<i>lim inferior</i>	-0.505	-0.520	-0.537	-0.556	-0.576	-0.599	-0.625

La representación gráfica será:

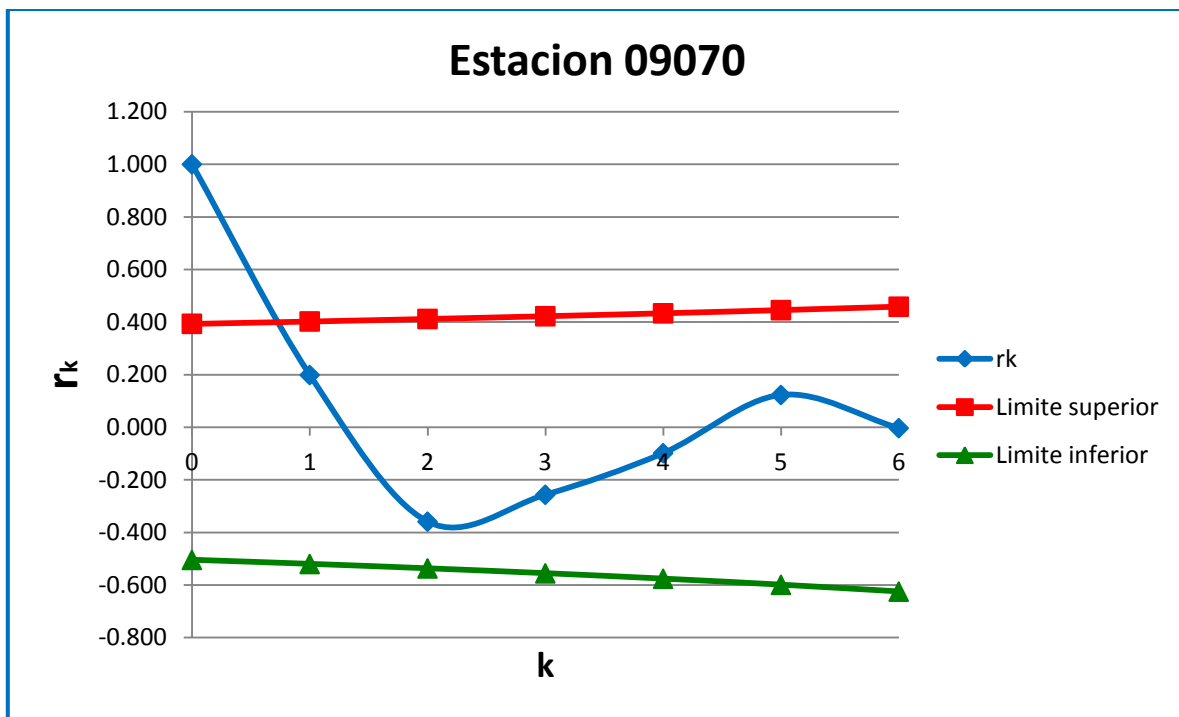


Figura 4.7 Correlograma de la estación 09070

Se concluye que la serie es independiente.

## Estación 09071

Para esta estación se tendrán 10 valores de  $r_k$  siendo sus valores y los de los límites los presentados en la tabla 4.18.

Tabla 4.18 Valores del correlograma de la estación 09071

<b><math>k</math></b>	0	1	2	3	4	5	6
<b><math>r_k</math></b>	1	-0.075	-0.109	0.238	-0.264	-0.119	0.21
<b>lim superior</b>	0.323	0.328	0.333	0.338	0.344	0.350	0.356
<b>lim inferior</b>	-0.392	-0.399	-0.407	-0.415	-0.424	-0.433	-0.443
<b><math>k</math></b>	7	8	9	10			
<b><math>r_k</math></b>	0.028	0.154	-0.069	0.016			
<b>lim superior</b>	0.363	0.369	0.377	0.385			
<b>lim inferior</b>	-0.454	-0.465	-0.477	-0.490			

La representación gráfica será:

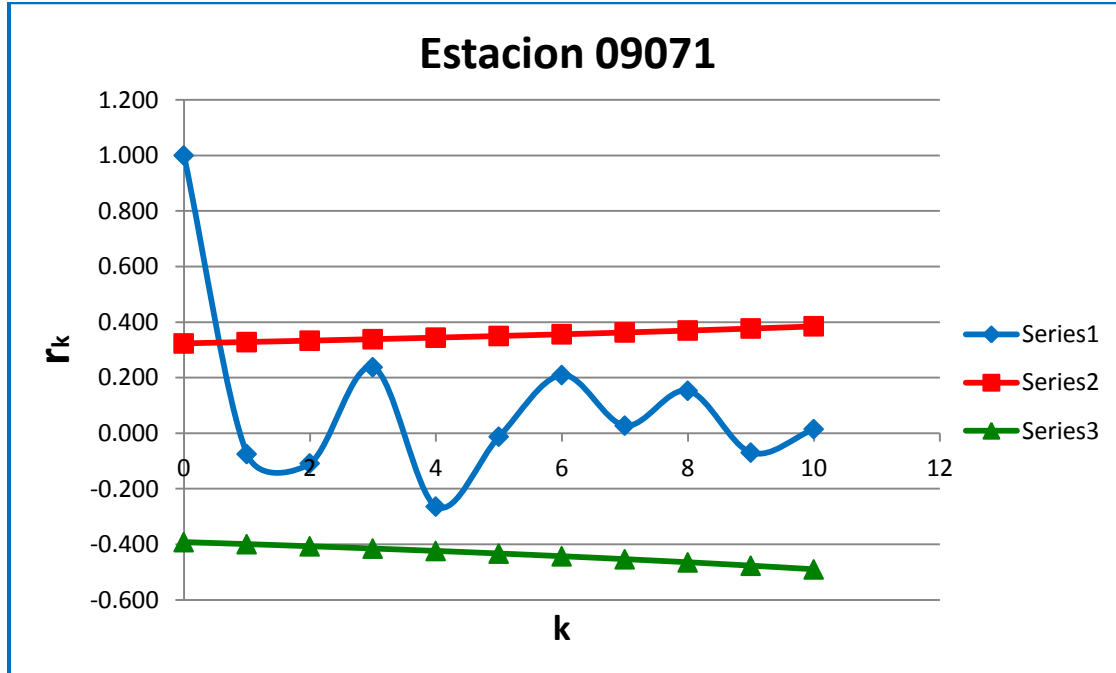


Figura 4.8 Correlograma de la estación 09071

Se concluye que la serie es independiente.

#### 4.4 Funciones de probabilidad en la serie de datos

Para la realización del análisis de frecuencias será necesario calcular los estadísticos de la muestra a continuación se presentan los resultados.

Tabla 4.19 Valores de los estadísticos muestrales de las estaciones en estudio.

ESTADÍSTICOS	ESTACIONES			
	9014	9055	9070	9071
N	40	10	18	29
$\bar{X}$	56.692	53.675	64.089	44.089
$S^2$	295.002	432.492	618.259	318.213
S	17.176	20.796	24.865	17.838
$g$	0.954	0.969	-0.148	0.3706
$k$	3.519	3.917	2.6	3.711

Las funciones en competencia serán:

- ✿ Exponencial-1p
- ✿ Exponencial-2p
- ✿ Normal
- ✿ Lognormal-2p
- ✿ Lognormal-3p
- ✿ Gamma-2p
- ✿ Gamma-3p
- ✿ Gumbel

Y la estimación de los parámetros se realizará a través de la técnica de

- ✿ Momentos
- ✿ Máxima Verosimilitud

Adicionalmente se trabajaron las técnicas de:

- ✿ Momentos-L

- ✿ Máxima Entropía
- ✿ Momentos de Probabilidad Pesada

Cuyo desarrollo se muestra en Escalante, 2002

Los resultados obtenidos fueron:

**Tabla 4.20 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09014.**

<b>MOMENTOS</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.018	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	39.516	17.176	
<b>NORMAL</b>	56.692	17.176	
<b>LOGNORMAL -2P</b>	3.996	0.287	
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	0.957	0.301	3.975
<b>GAMMA 2P</b>		5.204	10.895
<b>GAMMA 3P</b>	20.675	8.191	4.397
<b>GUMBEL</b>	48.963	13.397	

<b>MAXIMA VEROSIMILITUD</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.018	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	31.577	25.115	
<b>NORMAL</b>	56.692	17.176	
<b>LOGNORMAL -2P</b>	4.194	0.203	
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	0.957	3.978	0.083
<b>GAMMA 2P</b>		4.634	12.234
<b>GAMMA 3P</b>	NO VALORABLE		
<b>GUMBEL</b>	49.024	12.749	

Tabla 4.20 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09014. (Continuación)

<b>MOMENTOS-L</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>NORMAL</b>	56.692	16.851	
<b>GAMMA 2P</b>		5.126	11.06
<b>GUMBEL</b>	48.773	13.72	

<b>MÁXIMA ENTROPÍA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GUMBEL</b>	49.149	13.069	

<b>MOMENTOS DE PROBABILIDAD PESADA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GAMMA 3P</b>	28.806	12.075	2.309

Tabla 4.21 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09055.

<b>MOMENTOS</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.019	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	32.879	20.796	
<b>NORMAL</b>	53.675	20.796	
<b>LOGNORMAL -2P</b>	3.918	0.378	
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	-12.811	0.306	4.150
<b>GAMMA 2P</b>		8.058	6.661
<b>GAMMA 3P</b>	10.751	10.076	4.260
<b>GUMBEL</b>	44.317	16.221	

<b>MAXIMA VEROSIMILITUD</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.019	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	23.542	30.133	
<b>NORMAL</b>	53.675	20.796	
<b>LOGNORMAL -2P</b>	3.918	0.378	

Tabla 4.21 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09055. (Continuación)

<b>MAXIMA VEROSIMILITUD</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	-12.811	4.155	0.081
<b>GAMMA 2P</b>		6.795	7.899
<b>GAMMA 3P</b>	NO VALORABLE		
<b>GUMBEL</b>	44.664	15.256	

<b>MOMENTOS-L</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>NORMAL</b>	53.675	21.123	
<b>GAMMA 2P</b>		8.659	6.199
<b>GUMBEL</b>	43.748	17.197	

<b>MÁXIMA ENTROPÍA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GUMBEL</b>	44.749	15.464	

<b>MOMENTOS DE PROBABILIDAD PESADA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GAMMA 3P</b>	20.453	16.259	2.043

Tabla 4.22 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09070.

<b>MOMENTOS</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.016	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	39.225	24.865	
<b>NORMAL</b>	64.09	24.865	
<b>LOGNORMAL -2P</b>	4.065	0.494	
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	568.452	0.049	NO VALORABLE
<b>GAMMA 2P</b>		9.647	6.644
<b>GAMMA 3P</b>	-271.879	1.84	182.569
<b>GUMBEL</b>	52.901	19.395	



Tabla 4.22 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09070. (Continuación)

<b>MAXIMA VEROSIMILITUD</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.016	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	12.502	51.588	
<b>NORMAL</b>	64.09	24.865	
<b>LOGNORMAL -2P</b>	4.065	0.494	
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	568.452	NO VALORABLE	
<b>GAMMA 2P</b>		11.82	5.422
<b>GAMMA 3P</b>	NO VALORABLE		
<b>GUMBEL</b>	51.874	23.754	

<b>MOMENTOS-L</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>NORMAL</b>	64.09	25.58	
<b>GAMMA 2P</b>		10.647	6.019
<b>GUMBEL</b>	52.069	20.826	

<b>MÁXIMA ENTROPÍA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GUMBEL</b>	51.171	22.382	

<b>MOMENTOS DE PROBABILIDAD PESADA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GAMMA 3P</b>	-197.439	1.962	133.266

Tabla 4.23 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09071.

<b>MOMENTOS</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.023	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	26.251	17.839	
<b>NORMAL</b>	44.089	17.839	

Tabla 4.23 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09071. (Continuación)

<b>MOMENTOS</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>LOGNORMAL -2P</b>	3.688	0.490	
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	-101.048	0.122	4.970
<b>GAMMA 2P</b>		7.217	6.109
<b>GAMMA 3P</b>	-52.184	3.305	29.127
<b>GUMBEL</b>	36.062	13.914	

<b>MAXIMA VEROSIMILITUD</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>EXPONENCIAL 1P</b>		0.023	
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	11.299	32.79	
<b>NORMAL</b>	44.089	17.839	
<b>LOGNORMAL -2P</b>	3.881	0.257	
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	-101.048	4.97	
<b>GAMMA 2P</b>		8.365	5.271
<b>GAMMA 3P</b>	NO VALORABLE		
<b>GUMBEL</b>	35.558	16.32	

<b>MOMENTOS-L</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>NORMAL</b>	44.089	17.315	
<b>GAMMA 2P</b>		7.082	6.226
<b>GUMBEL</b>	35.952	14.097	

<b>MÁXIMA ENTROPÍA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GUMBEL</b>	35.145	15.495	

<b>MOMENTOS DE PROBABILIDAD PESADA</b>			
<b>Distribución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>
<b>GAMMA 3P</b>	-97.428	1.875	75.483

Cuyos Errores estándar son:

**Tabla 4.24 Errores estándar para la estación 09014**

<b>FUNCIÓN</b>	<b>M</b>	<b>M.V</b>	<b>M-L</b>	<b>M.E</b>	<b>M.P.P</b>
<b>NORMAL</b>	4.806	4.806	4.848		
<b>LOGNORMAL 2-P</b>	3.113	11.505			
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	2.837	13.992			
<b>GAMMA 2P</b>	3.272	3.715	3.32		
<b>GAMMA 3P</b>	2.696				<b>1.132</b>
<b>GUMBEL</b>	2.688	3.251	2.488	2.93	
<b>EXPONENCIAL 1P</b>	32.738				
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	3.393	5.779			

**Tabla 4.25 Errores estándar para la estación 09055**

<b>FUNCIÓN</b>	<b>M</b>	<b>M.V</b>	<b>M-L</b>	<b>M.E</b>	<b>M.P.P</b>
<b>NORMAL</b>	6.738	6.738	6.621		
<b>LOGNORMAL 2-P</b>	5.748	5.748			
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	6.345	19.12			
<b>GAMMA 2P</b>	5.816	6.833	5.421		
<b>GAMMA 3P</b>	6.19				<b>5.144</b>
<b>GUMBEL</b>	6.065	6.894	5.367	6.67	
<b>EXPONENCIAL 1P</b>	20.089				
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	7.056	5.313			

**Tabla 4.226 Errores estándar para la estación 09070**

<b>FUNCIÓN</b>	<b>M</b>	<b>M.V</b>	<b>M-L</b>	<b>M.E</b>	<b>M.P.P</b>
<b>NORMAL</b>	4.949	4.949	4.634		
<b>LOGNORMAL 2-P</b>	9.047	9.047			
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	NO VALORABLE				
<b>GAMMA 2P</b>	6.425	6.292	6.38		
<b>GAMMA 3P</b>	5.259				<b>4.81</b>
<b>GUMBEL</b>	7.405	6.768	6.882	6.708	
<b>EXPONENCIAL 1P</b>	30.533				
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	10.651	21.92			

Tabla 4.27 Errores estándar para la estación 09071

<b>FUNCIÓN</b>	<b>M</b>	<b>M.V</b>	<b>M-L</b>	<b>M.E</b>	<b>M.P.P</b>
<b>NORMAL</b>	4.878	4.949	4.634		
<b>LOGNORMAL 2-P</b>	5.882	9.047			
<b>LOGNORMAL 3-P</b>	4.867				
<b>GAMMA 2P</b>	4.812	6.292	6.38		
<b>GAMMA 3P</b>	4.874				<b>4.81</b>
<b>GUMBEL</b>	4.947	6.768	6.882	6.708	
<b>EXPONENCIAL 1P</b>	21.733				
<b>EXPONENCIAL 2P</b>	6.654	21.92			

Donde:

**M:** Momentos; **M.V:**Máxima Verosimilitud; **M.L:** Momentos-L; **M.E:** Máxima Entropía; **M.P.P:** Momentos de Probabilidad Pesada

Como puede observarse la mejor distribución será en las cuatro estaciones la función **Gamma de 3-P**

Calculando los eventos de diseño con dicha distribución:

Tabla 4.28 Eventos de diseño para la estación 09014

<b>T</b>	<b><math>P_{24h}^T</math> mm</b>
2	52.858
5	69.737
10	81.083
20	91.894
50	105.731
100	115.995
500	139.484

Tabla 4.29 Eventos de diseño para la estación 09055

<b>T</b>	<b><math>P_{24h}^T</math> mm</b>
2	48.545
5	69.912
10	84.489
20	98.484
50	116.513
100	129.954
500	160.88

Tabla 4.30 Eventos de diseño para la estación 09070

$T$	$P_{24h}^T$ mm
2	63.436
5	82.934
10	93.512
20	102.443
50	112.708
100	119.679
500	134.105

Tabla 4.31 Eventos de diseño para la estación 09071

$T$	$P_{24h}^T$ mm
2	43.465
5	57.578
10	65.324
20	71.91
50	79.529
100	84.733
500	95.576

#### 4.5 Método SCS-USA aplicado a la serie de datos

El siguiente paso es obtener el valor de  $P_{1h}^2$  mediante la figura 3.1 para esto será necesario conocer el valor medio de  $H_p$  máx diaria y días con lluvia mayores a 1 mm para cada una de las estaciones:

Tabla 4.32 Valores de  $P_{1h}^2$  para las estaciones en estudio

ESTACIÓN	Valores medios		
	$H_p$ máx diaria mm	Días con lluvia >1 mm	$P_{1h}^2$ mm
9014	56.692	95.577	36
9055	53.675	87.3	34.8
9070	64.09	106.72	40
9071	44.09	99.69	29

Por lo que calculando  $R$  con la ecuación 3.126 y considerando el valor de la precipitación para el periodo de retorno de dos años

Tabla 4.33 Valores de la relación  $R$  para las estaciones en estudio.

ESTACIÓN	$P_{24h}^2$ mm	$R$
9014	52.858	0.681
9055	48.545	0.717
9070	63.436	0.631
9071	43.465	0.667

Con la expresión de R y los valores de  $P_{24h}^2$  se obtienen  $P_{1h}^T$

Tabla 4.234 Valores de  $P_{24h}^2$  y  $P_{1h}^T$  para la estación 09014

Distribución Gamma 3-P	2	5	10	20	50	100	500
Hp max diaria	52.858	69.737	81.083	91.894	105.731	115.995	139.484
Hp 1 h	35.99	47.491	55.217	62.579	72.003	78.992	94.989

Tabla 4.35 Valores de  $P_{24h}^2$  y  $P_{1h}^T$  para la estación 09055

Distribución Gamma 3-P	2	5	10	20	50	100	500
Hp max diaria	48.545	69.912	84.489	98.484	116.513	129.954	160.88
Hp 1 h	34.807	50.127	60.579	70.613	83.539	93.177	115.351

Tabla 4.3246 Valores de  $P_{24h}^2$  y  $P_{1h}^T$  para la estación 09070

Distribución Gamma 3-P	2	5	10	20	50	100	500
Hp max diaria	63.436	82.934	93.512	102.443	112.708	119.679	134.105
Hp 1 h	40.028	52.331	59.006	64.639	71.119	75.517	84.62

Tabla 4.37 Valores de  $P_{24h}^2$  y  $P_{1h}^T$  para la estación 09071

Distribución Gamma 3-P	2	5	10	20	50	100	500
Hp max diaria	43.465	57.578	65.324	71.91	79.529	84.733	95.576
Hp 1 h	28.991	38.404	43.571	47.964	53.058	56.517	63.749

Para determinar las intensidades para duraciones menores a una hora se aplicaran los coeficientes mostrados en la tabla 3.2 a los valores de  $P_{1h}^T$  siendo:

Tabla 4.38 Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09014

<b>DURACIÓN, min</b>	<b>PERIODO DE RETORNO, años</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>10</b>	69.101	91.183	106.017	120.152	138.246	151.665	182.379
<b>20</b>	58.304	76.935	89.452	101.378	116.645	127.967	153.882
<b>30</b>	51.106	67.437	78.408	88.862	102.244	112.169	134.884
<b>40</b>	44.268	58.414	67.917	76.972	88.564	97.16	116.836
<b>50</b>	39.301	51.86	60.297	68.336	78.627	86.259	103.728
<b>60</b>	35.99	47.491	55.217	62.579	72.003	78.992	94.989

Tabla 4.39 Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09055

<b>DURACIÓN, min</b>	<b>PERIODO DE RETORNO, años</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>10</b>	66.829	96.244	116.312	135.577	160.395	178.9	221.474
<b>20</b>	56.387	81.206	98.138	114.393	135.333	150.947	186.869
<b>30</b>	49.426	71.18	86.022	100.27	118.625	132.311	163.798
<b>40</b>	42.813	61.656	74.512	86.854	102.753	114.608	141.882
<b>50</b>	38.009	54.739	66.152	77.109	91.225	101.749	125.963
<b>60</b>	34.807	50.127	60.579	70.613	83.539	93.177	115.351

Tabla 4.40 Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09070

<b>DURACIÓN, min</b>	<b>PERIODO DE RETORNO, años</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>10</b>	76.854	100.476	113.292	124.107	136.548	144.993	162.47
<b>20</b>	64.845	84.776	95.59	104.715	115.213	122.338	137.084
<b>30</b>	56.84	74.31	83.789	91.787	100.989	107.234	120.16
<b>40</b>	49.234	64.367	72.577	79.506	87.476	92.886	104.083
<b>50</b>	43.711	57.145	64.435	70.586	77.662	82.465	92.405
<b>60</b>	40.028	52.331	59.006	64.639	71.119	75.517	84.62

Tabla 4.41 Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09071

DURACIÓN, min	PERIODO DE RETORNO, años						
	2	5	10	20	50	100	500
10	55.663	73.736	83.656	92.091	101.871	108.513	122.398
20	46.965	62.214	70.585	77.702	85.954	91.558	103.273
30	41.167	54.534	61.871	68.109	75.342	80.254	90.524
40	35.659	47.237	53.592	58.996	65.261	69.516	78.411
50	31.658	41.937	47.58	52.377	57.939	61.717	69.614
60	28.991	38.404	43.571	47.964	53.058	56.517	63.749

Con los valores  $P_{1h}^T$  y  $P_{24h}^2$  mediante interpolación logarítmica se obtienen los correspondientes  $P_d^T$  para duraciones entre una y 24 horas y aplicando la ecuación 3.129 se obtienen las  $i_d^T$ .

Tabla 4.42 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09014

t hr	PERIODO DE RETORNO						
	2	5	10	20	50	100	500
1	35.99	47.491	55.217	62.579	72.003	78.992	94.989
2	18.362	24.229	28.171	31.927	36.735	40.3	48.462
3	12.486	16.475	19.155	21.709	24.979	27.403	32.953
4	9.548	12.598	14.648	16.601	19.101	20.955	25.198
5	7.785	10.272	11.943	13.535	15.574	17.085	20.545
6	6.609	8.721	10.14	11.492	13.223	14.506	17.444
7	5.77	7.613	8.852	10.032	11.543	12.664	15.228
8	5.14	6.783	7.886	8.938	10.284	11.282	13.566
9	4.651	6.137	7.135	8.086	9.304	10.207	12.274
10	4.259	5.62	6.534	7.405	8.52	9.347	11.24
11	3.939	5.197	6.042	6.848	7.879	8.644	10.394
12	3.671	4.844	5.632	6.383	7.344	8.057	9.689
13	3.445	4.546	5.286	5.99	6.892	7.561	9.093
14	3.252	4.29	4.988	5.653	6.505	7.136	8.581
15	3.084	4.069	4.731	5.362	6.169	6.768	8.138



Tabla 4.42 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09014.  
(Continuación)

<i>t hr</i>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>
16	2.937	3.875	4.505	5.106	5.875	6.445	7.75
17	2.807	3.704	4.307	4.881	5.616	6.161	7.408
18	2.692	3.552	4.13	4.68	5.385	5.908	7.104
19	2.589	3.416	3.972	4.501	5.179	5.682	6.832
20	2.496	3.293	3.829	4.34	4.993	5.478	6.587
21	2.412	3.183	3.7	4.194	4.825	5.294	6.366
22	2.336	3.082	3.583	4.061	4.673	5.126	6.164
23	2.266	2.99	3.476	3.94	4.533	4.973	5.98
24	2.202	2.906	3.378	3.829	4.405	4.833	5.812

Tabla 4.43 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09055

<i>t hr</i>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>
1	34.807	50.127	60.579	70.613	83.539	93.177	115.351
2	17.702	25.494	30.809	35.912	42.486	47.388	58.665
3	12.001	17.282	20.886	24.346	28.802	32.125	39.77
4	9.15	13.177	15.924	18.562	21.96	24.494	30.322
5	7.439	10.714	12.947	15.092	17.855	19.915	24.654
6	6.299	9.071	10.963	12.779	15.118	16.862	20.875
7	5.484	7.898	9.545	11.126	13.163	14.682	18.175
8	4.874	7.019	8.482	9.887	11.697	13.046	16.151
9	4.398	6.334	7.655	8.923	10.556	11.774	14.576
10	4.018	5.787	6.994	8.152	9.644	10.757	13.317
11	3.707	5.339	6.452	7.521	8.898	9.924	12.286
12	3.448	4.966	6.001	6.995	8.276	9.231	11.427
13	3.229	4.65	5.62	6.55	7.749	8.643	10.7
14	3.041	4.379	5.292	6.169	7.298	8.14	10.077
15	2.878	4.145	5.009	5.839	6.907	7.704	9.538

Tabla 4.43 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09055.  
(Continuación)

<i>t hr</i>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>
16	2.735	3.939	4.761	5.549	6.565	7.323	9.065
17	2.61	3.758	4.542	5.294	6.263	6.986	8.648
18	2.498	3.597	4.347	5.067	5.995	6.687	8.278
19	2.398	3.453	4.173	4.864	5.755	6.419	7.946
20	2.308	3.324	4.017	4.682	5.539	6.178	7.648
21	2.226	3.206	3.875	4.517	5.343	5.96	7.378
22	2.152	3.1	3.746	4.366	5.166	5.762	7.133
23	2.085	3.002	3.628	4.229	5.003	5.581	6.909
24	2.023	2.913	3.52	4.104	4.855	5.415	6.703

Tabla 4.44 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09070

<i>t hr</i>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>
1	40.028	52.331	59.006	64.639	71.119	75.517	84.62
2	20.523	26.831	30.253	33.141	36.464	38.719	43.386
3	14.021	18.331	20.669	22.642	24.912	26.452	29.641
4	10.77	14.081	15.877	17.392	19.136	20.319	22.769
5	8.82	11.531	13.001	14.243	15.67	16.639	18.645
6	7.519	9.831	11.085	12.143	13.36	14.186	15.896
7	6.591	8.616	9.715	10.643	11.71	12.434	13.933
8	5.894	7.706	8.688	9.518	10.472	11.12	12.46
9	5.352	6.997	7.89	8.643	9.509	10.098	11.315
10	4.919	6.431	7.251	7.943	8.739	9.28	10.398
11	4.564	5.967	6.728	7.371	8.109	8.611	9.649
12	4.269	5.581	6.292	6.893	7.584	8.053	9.024
13	4.019	5.254	5.924	6.489	7.14	7.581	8.495
14	3.804	4.973	5.608	6.143	6.759	7.177	8.042
15	3.618	4.731	5.334	5.843	6.429	6.827	7.649

Tabla 4.44 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09070.  
(Continuación)

<i>t hr</i>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>
16	3.456	4.518	5.094	5.581	6.14	6.52	7.306
17	3.312	4.331	4.883	5.349	5.885	6.249	7.003
18	3.185	4.164	4.695	5.143	5.659	6.009	6.733
19	3.071	4.015	4.527	4.959	5.456	5.794	6.492
20	2.968	3.881	4.376	4.793	5.274	5.6	6.275
21	2.875	3.759	4.239	4.643	5.109	5.425	6.079
22	2.791	3.649	4.114	4.507	4.959	5.265	5.9
23	2.714	3.548	4.001	4.383	4.822	5.12	5.737
24	2.643	3.456	3.896	4.268	4.696	4.987	5.588

Tabla 4.45 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09071

<i>t hr</i>	<b>PERIODO DE RETORNO</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>
1	28.991	38.404	43.571	47.964	53.058	56.517	63.749
2	14.81	19.619	22.258	24.503	27.104	28.872	32.566
3	10.083	13.357	15.154	16.682	18.453	19.657	22.172
4	7.72	10.226	11.602	12.772	14.128	15.049	16.975
5	6.302	8.348	9.471	10.426	11.532	12.285	13.857
6	5.356	7.095	8.05	8.862	9.802	10.442	11.778
7	4.681	6.201	7.035	7.744	8.566	9.125	10.293
8	4.175	5.53	6.274	6.906	7.639	8.138	9.179
9	3.781	5.008	5.682	6.255	6.918	7.37	8.313
10	3.465	4.591	5.208	5.733	6.342	6.756	7.62
11	3.208	4.249	4.821	5.307	5.87	6.253	7.053
12	2.993	3.965	4.498	4.951	5.477	5.834	6.581
13	2.811	3.724	4.225	4.651	5.144	5.48	6.181
14	2.655	3.517	3.99	4.393	4.859	5.176	5.838
15	2.52	3.338	3.787	4.169	4.611	4.913	5.541

Tabla 4.45 Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09071.  
(Continuación)

<i>t hr</i>	PERIODO DE RETORNO						
	2	5	10	20	50	100	500
<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>	<i>i mm/hr</i>
16	2.402	3.182	3.61	3.974	4.395	4.682	5.282
17	2.298	3.044	3.453	3.801	4.204	4.479	5.052
18	2.205	2.921	3.314	3.648	4.035	4.298	4.849
19	2.122	2.811	3.189	3.511	3.883	4.137	4.666
20	2.047	2.712	3.077	3.387	3.746	3.991	4.502
21	1.98	2.623	2.976	3.276	3.623	3.86	4.354
22	1.918	2.541	2.883	3.174	3.51	3.74	4.219
23	1.862	2.467	2.799	3.081	3.408	3.631	4.095
24	1.811	2.399	2.722	2.996	3.314	3.531	3.982

La representación gráfica de las curvas i-d-T se muestra de manera representativa en la estación 09014.

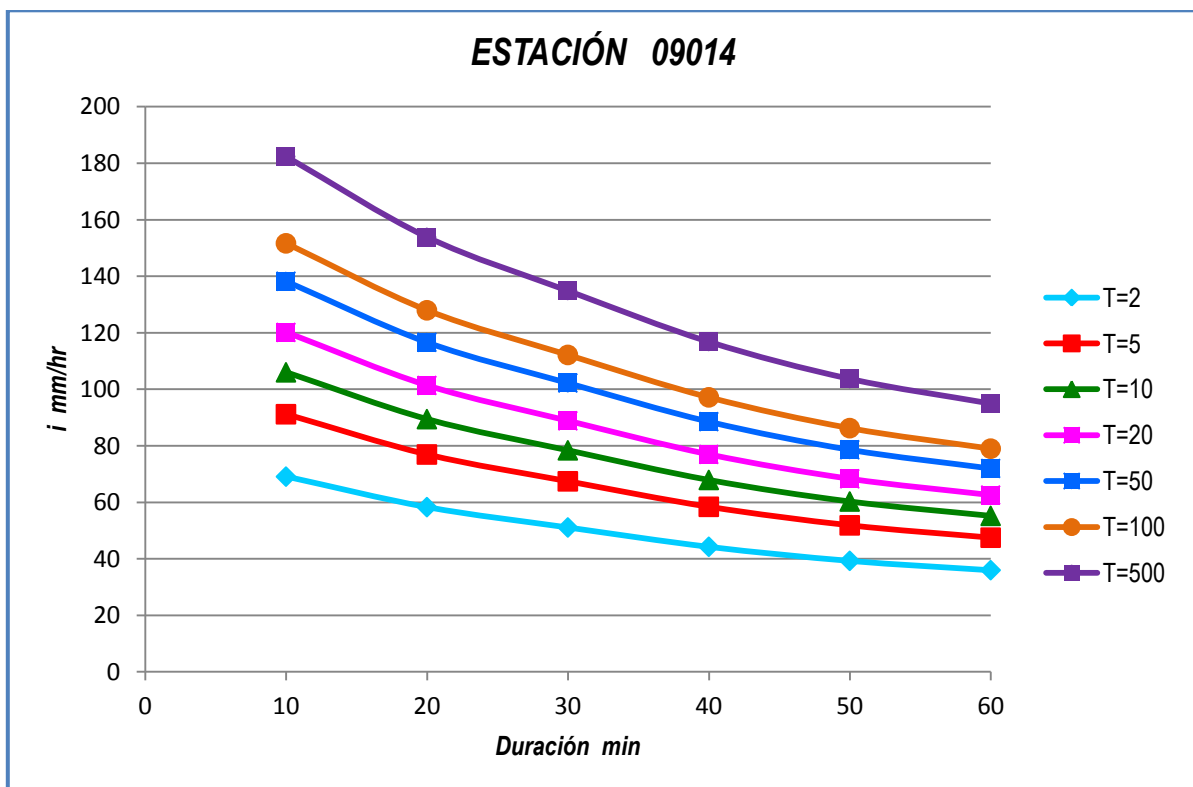


Figura 4.9 Curvas i-d-T para duraciones menores a una hora para la estación 09014

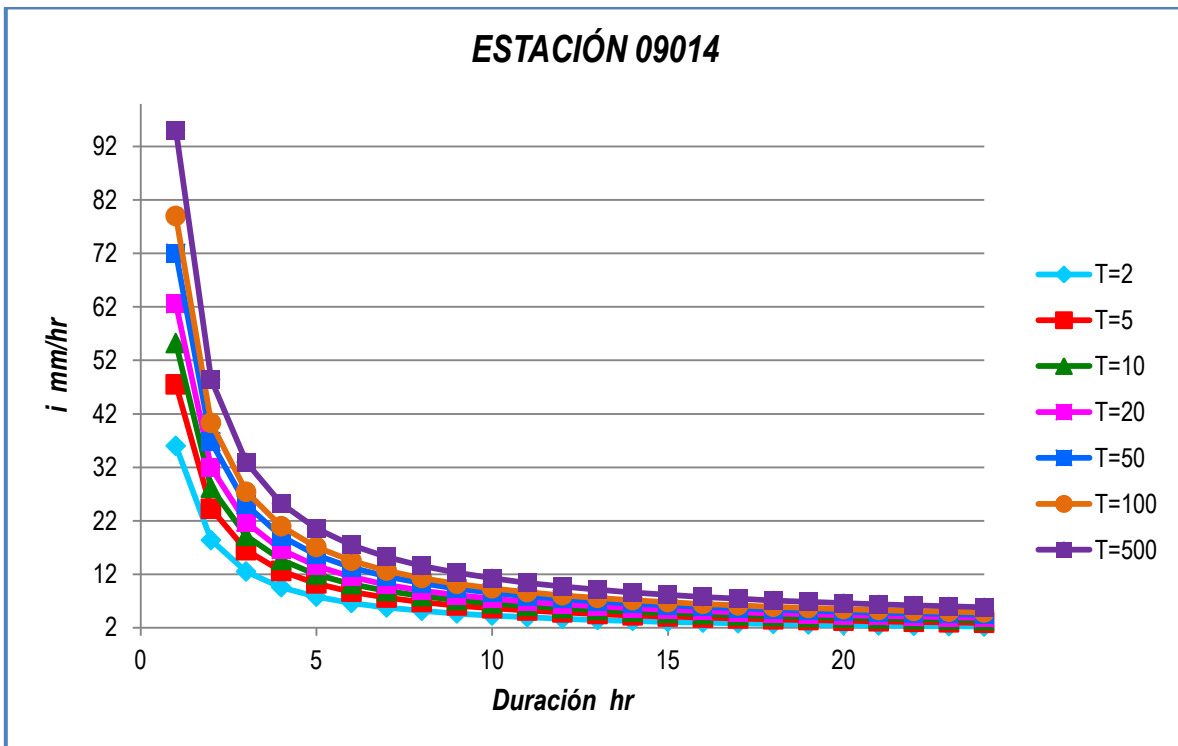


Figura 4.10 Curvas i-d-T para duraciones mayores a una hora para la estación 09014

## 5. Conclusiones y/o recomendaciones

Con respecto al fenómeno meteorológico de precipitación nuestro país es de contrastes, ya que para el mismo año se puede tener un exceso o escasas de la misma. Ejemplificando lo anterior, en el ámbito de escasas de lluvia, actualmente en el norte del territorio mexicano se está padeciendo una de las peores sequías en los últimos 70 años, mientras que en Tabasco y Veracruz se presentan problemas severos de inundación año tras año.

Si bien es cierto que la precipitación es una variable aleatoria, los diversos modelos matemáticos pueden representar su comportamiento a través de las leyes de la probabilidad. Para poder emplear las teorías probabilísticas, es necesario contar con información histórica sobre el comportamiento de la variable tanto en el tiempo como en el espacio.

En los últimos años, en México, se han experimentado severos problemas ocurridos por lluvias torrenciales que aunado a la degradación o urbanización de las cuencas los efectos se han magnificado.

Una de las principales problemáticas de nuestro país es la carencia de información climatológica, en la República Mexicana el censo reportado por CONAGUA establece que se cuenta con 3,324 estaciones climatológicas que para un territorio cuya extensión es de 1,964,375 km<sup>2</sup> resultan insuficientes, aunado a lo anterior, no existe información que indique cual es el porcentaje de pluviómetros y/o pluviógrafos solo se sabe que la mayoría de las estaciones solo cuenta con pluviómetros.

La obtención de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno a través de información pluviométrica se vuelve una necesidad, ante la carencia de pluviógrafos. El conocimiento de la magnitud y duración de la lluvia permitirá proyectar de manera adecuada las diferentes obras civiles que ayuden a la captación, conducción y almacenamiento del volumen precipitable disminuyendo

los problemas que pudieran presentarse ante una precipitación de gran intensidad u optimizar el uso del recurso hídrico ante la ausencia de la misma.

Con respecto a la aplicación en la delegación Coyoacán, desafortunadamente se observo que las cinco estaciones trabajadas tenían problemas en cuanto a la información reportada. Todos los registros presentaban datos faltantes que tuvieron que ser deducidos a través de la teoría reportada en este trabajo.

En particular la estación 09008 tuvo que ser eliminada dado que su longitud de registro tan solo fue de cinco años, lo que estadísticamente resulta insuficiente.

Al generar la familia de curvas intensidad-duración-periodo de retorno para la Delegación Coyoacán se cuenta con una herramienta que disminuirá la incertidumbre para el diseño o revisión de las obras de alcantarillado, por ejemplo, reduciendo las inundaciones provocadas por el volumen precipitable misma que provocan deterioro en la calidad de vida de los habitantes o la afectación en sus bienes materiales, también se logrará reducir la afectación en las vías de comunicación dado que una inundación impide el libre tránsito vehicular por mencionar algunas de las afectaciones en la vida cotidiana.

Desafortunadamente se vive una cultura que actúa más hacia la corrección que a la prevención.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones arrojadas por este trabajo se listan a continuación:

- Crear consciencia sobre la importancia y necesidad de contar con un número mayor de instrumentos de medición las variables meteorológicas así como planes periódicos de mantenimiento para dichos dispositivos.
- Evitar sobredimensionar o subdimensionar las obras que conformaran la infraestructura hidráulica a través del correcto planteamiento y evaluación de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno.

- ✿ No eludir el cálculo de la familia de curvas cuando no se cuente con información pluviográfica.
- ✿ Enfocar los esfuerzos económicos hacia las medidas preventivas y no solo sobre las correctivas.
- ✿ Por parte de las autoridades locales, dar a conocer las zonas con mayor incidencia a inundarse para diseñar a nivel doméstico y junto con los habitantes de esas localidades, obras de captación de agua precipitable a nivel de azoteas, cuando se trate de cuencas urbanas, para disminuir los tiempos de inundación. Además de poder establecer en un futuro cercano algún tipo de tratamiento local de estas aguas para poder ser empleadas por la misma localidad.
- ✿ Crear políticas de estímulo para fomentar la participación de los residentes de las zonas afectadas.

Finalmente como ingenieros Civiles se debe actuar con el compromiso de empezar a planear y proyectar obras que permitan optimizar el recurso hídrico ya que se está enfrentando una variable aleatoria que puede tener un comportamiento de abundancia o escases para que como sociedad se consiga tener la capacidad física y moral de poder enfrentar los impactos generados por este comportamiento.



## Lista de Figuras

Figura 1.1 Regiones Hidrológicas – Administrativas de la Republica Mexicana. CONAGUA	2
Figura 1.2 Región 1. Península de Baja California.	3
Figura 1.3 Región 2. Noroeste.	4
Figura 1.4 Región 3. Pacifico Norte.	5
Figura 1.5 Región 4. Balsas.	6
Figura 1.6 Región 5. Pacifico Sur.	7
Figura 1.7 Región 6. Rio Bravo.	8
Figura 1.8 Región 7. Cuencas Centrales del Norte.	9
Figura 1.9 Región 8. Lerma- Santiago Pacifico.	10
Figura 1.10 Región 9. Golfo Norte.	11
Figura 1.11 Región 10. Golfo Centro.	12
Figura 1.12 Región 11. Frontera Sur.	13
Figura 1.13 Región 12. Península de Yucatán.	14
Figura 1.14 Región 13. Valle de México.	15
Figura 1.15 Disponibilidad per cápita anual en las dos grandes zonas del país. CONAGUA	16
Figura 1.16 Distribución de la precipitación media mensual histórica en México. CONAGUA	17
Figura 1.17 Evolución de la disponibilidad del agua en México. CONAGUA	17
Figura 1.18 Precipitación pluvial normal media mensual histórica 1941-2006. CONAGUA	18
Figura 1.19 Cobertura de agua potable por municipios 2005. CONAGUA	20
Figura 1.20 Plantas potabilizadoras 2008. CONAGUA	21

Figura 1.21 Cobertura de alcantarillado por municipios 2005. CONAGUA	23
Figura 1.22 Plantas de tratamiento de agua residual. CONAGUA	24
Figura 1.23 Distritos de riego 2008. CONAGUA	25
Figura 1.24 Proyecto hidroeléctrico La Yesca. CFE	27
Figura 1.25 Distribución de los usos del agua en México. CONAGUA	28
Figura 1.26 Usos consuntivos del agua. CONAGUA	29
Figura 1.27 Sequia en México.	33
Figura 1.28 Porcentaje de área afectada con sequia en México desde 2003. CONAGUA	34
Figura 1.29 Periodicidad de las sequias en México. ESCALANTE	35
Figura 1.30 Duración de las sequias en México. ESCALANTE	36
Figura 1.31 Monitor de Sequía de América del Norte, Marzo 2011.	37
Figura 1.32 Monitor de Sequía de América del Norte, Abril 2011.	38
Figura 1.33 Monitor de Sequía de América del Norte, Junio 2011.	39
Figura 1.34 Monitor de Sequía de América del Norte, Agosto 2011.	40
Figura 1.35 Monitor de Sequía de América del Norte, Septiembre 2011.	41
Figura 1.36 Monitor de Sequía de América del Norte, Octubre 2011.	42
Figura 1.37 Monitor de Sequía de América del Norte, Enero 2012.	43
Figura 1.38 Monitor de Sequía de América del Norte, Febrero 2012.	44
Figura 1.39 Hidrografía del sistema Grijalva-Usumacinta. ACADEMIA DE INGENIERIA	48
Figura 1.40 Obras de protección contra inundaciones. CONAGUA	52

Figura 1.41 Niveles de alertamiento para la prevención de desastres de fenómenos hidrometeorológicos, CENAPRED	53
Figura 1.42 Mapa “Peligros por inundaciones”. Atlas nacional de riesgos, CENAPRED.	55
Figura 1.43 Trayectorias promedio de desplazamiento de ciclones en el mundo. CENAPRED	56
Figura 1.44 Huracanes que han afectado a México en el periodo 1970 a 2008. CONAGUA	62
Figura 2.1 Pluviómetro. APARICIO	73
Figura 2.2 Pluviógrafo.	75
Figura 2.3 Estructura tipo andamio. Servicio Meteorológico Nacional, SMN	77
Figura 2.4 Estructura de tipo torre triangular. SMN	78
Figura 2.5 Estructura de una ESIME. SMN	81
Figura 2.6 Presión atmosférica.SMN      Figura 2.7 Temperatura y humedad relativa.SMN	81
Figura 2.8 Radiación solar.SMN      Figura 2.9 Dirección y velocidad del viento. SMN	82
Figura 2.10 Precipitación. SMN      Figura 2.11 Visibilidad. SMN	82
Figura 2.12 Temperatura a 10 cm de la superficie. SMN	82
Figura 2.13 Registro generado por el pluviógrafo.	84
Figura 2.14 Curva masa.	85
Figura 2.15 Hietograma de alturas de precipitación y hietograma de intensidades.	86
Figura 2.16 Trazo de Polígonos de Thiessen para la delegación Coyoacán.	88
Figura 2.17 Isoyetas medias anuales de la Cuenca del Valle de México	90
Figura 2.18 Cuenca del Valle de México.	94
Figura 2.19 Balance hidráulico. CONAGUA	98

Figura 3.1 Estimación empírica de la lámina de lluvia $Hp_{1h}^2$	137
Figura 4.1 Logotipo de la Delegación Coyoacán	138
Figura 4.2 Ubicación de la Delegación Coyoacán	139
Figura 4.3 Centro de Coyoacán	141
Figura 4.4 Plano de la Delegación Coyoacán. BIBLIOCAD.COM	144
Figura 4.5 Correlograma de la estación 09014	154
Figura 4.6 Correlograma de la estación 09055	155
Figura 4.7 Correlograma de la estación 09070	156
Figura 4.8 Correlograma de la estación 09071	157
Figura 4.9 Curvas i-d-T para duraciones menores a una hora para la estación 09014	173
Figura 4.10 Curvas i-d-T para duraciones mayores a una hora para la estación 09014	174

## Lista de Tablas

Tabla 1.1 Ciudades sede de las regiones Hidrológicas - Administrativas, CONAGUA	2
Tabla 1.2 Cobertura de la población con servicio de agua potable por Región Hidrológico Administrativa. Serie de años censales de 1190 a 2005 (porcentaje). CONAGUA	19
Tabla 1.3 Plantas potabilizadoras en operación, por región Hidrológico- Administrativa, 2008. CONAGUA	21
Tabla 1.4 Cobertura de la población con servicio de alcantarillado por Región Hidrológico Administrativa. Serie de años censales de 1990 a 2005 (porcentaje). CONAGUA	22
Tabla 1.5 Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación, por región Hidrológico- Administrativa, 2008. CONAGUA	24
Tabla 1.6 Volúmenes concesionados para usos consuntivos por región hidrológico-administrativa. 2009. (Millones de metros cúbicos, hm <sup>3</sup> ). CONAGUA	30
Tabla 1.7 Estadísticas mexicanas de pérdidas materiales y de vidas. CENAPRED	45
Tabla 1.8 Estados que son afectados por los ciclones tropicales (Probabilidad de que se presente en un año). CENAPRED	57
Tabla 1.9 Clasificación de los ciclones tropicales de Saffir-Simpson.	59
Tabla 1.10 Lluvia máxima de huracanes q han afectado el territorio nacional. CENAPRED	60
Tabla 1.11 Huracanes intensos que han impactado en México, según fecha de ocurrencia, en el periodo 1970-2010. CONAGUA	61
Tabla 2.1 Clasificación de la precipitación respecto a su intensidad. IMTA	71
Tabla 2.2 Clases de precipitación respecto a la nube de procedencia. Apuntes de hidrología, REYES	71
Tabla 2.3 Estaciones Meteorológicas automáticas EMAs Administradas por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. SMN	79
Tabla 2.4 Variables meteorológicas. SMN	83

Tabla 2.5 Características del suministro de agua potable para uso domestico. (Caudal en m <sup>3</sup> /s) CONAGUA	95
Tabla 2.6 Balance hidrológico para la subregión Valle de México y Tula. (Volúmenes en millones de m <sup>3</sup> ). CONAGUA	97
Tabla 3.1 Distribución t de Student para una y dos colas y $\alpha=5\%$	128
Tabla 3.2 Valores de la constante C	137
Tabla 4.1 Estaciones climatológicas ubicadas en la delegación Coyoacán.	143
Tabla 4.2 Datos pluviométricos de la estación 09014	145
Tabla 4.3 Datos pluviométricos de la estación 09055	146
Tabla 4.4 Datos pluviométricos de la estación 09070	147
Tabla 4.5 Datos pluviométricos de la estación 09071	147
Tabla 4.6 Análisis de homogeneidad para la estación 09014 por la prueba estadística de Helmert.	148
Tabla 4.7 División de la muestra de datos pluviométricos para la estación 09014	149
Tabla 4.8 Estadísticos de la estación 09014 por t Student	150
Tabla 4.9 Muestra 1, representa el 30% de los valores correspondientes a la estación 09014	150
Tabla 4.10 Muestra 2, representa el 60% de los valores correspondientes a la estación 09014	151
Tabla 4.11 Variables estadísticas de la estación 09014 por Cramer	151
Tabla 4.12 Resultados de la prueba estadística de Helmert para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán	152
Tabla 4.13 Resultados de la prueba estadística t de Student para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán	152

Tabla 4.14 Resultados de la prueba estadística de Cramer para verificar la homogeneidad de las estaciones pluviométricas de la delegación Coyoacán.	153
Tabla 4.15 Valores del correlograma de la estación 09014	154
Tabla 4.16 Valores del correlograma de la estación 09055	155
Tabla 4.17 Valores del correlograma de la estación 09070	156
Tabla 4.18 Valores del correlograma de la estación 09071	157
Tabla 4.19 Valores de los estadísticos muestrales de las estaciones en estudio.	158
Tabla 4.20 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09014.	159
Tabla 4.21 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09055.	160
Tabla 4.22 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09070	161
Tabla 4.23 Resultados de la estimación de parámetros con diferentes funciones de probabilidad para la estación 09071.	162
Tabla 4.24 Errores estándar para la estación 09014	164
Tabla 4.25 Errores estándar para la estación 09055	164
Tabla 4.26 Errores estándar para la estación 09070	164
Tabla 4.27 Errores estándar para la estación 09071	165
Tabla 4.28 Eventos de diseño para la estación 09014	165
Tabla 4.29 Eventos de diseño para la estación 09055	165
Tabla 4.30 Eventos de diseño para la estación 09070	166
Tabla 4.31 Eventos de diseño para la estación 09071	166

Tabla 4.32	Valores de $P_{1h}^2$ para las estaciones en estudio	166
Tabla 4.33	Valores de la relación R para las estaciones en estudio.	166
Tabla 4.34	Valores de $P_{24h}^2$ y $P_{1h}^T$ para la estación 09014	167
Tabla 4.35	Valores de $P_{24h}^2$ y $P_{1h}^T$ para la estación 09055	167
Tabla 4.36	Valores de $P_{24h}^2$ y $P_{1h}^T$ para la estación 09070	167
Tabla 4.37	Valores de $P_{24h}^2$ y $P_{1h}^T$ para la estación 09071	167
Tabla 4.38	Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09014	168
Tabla 4.39	Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09055	168
Tabla 4.40	Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09070	168
Tabla 4.41	Valores de las intensidades para duraciones menores a una hora en la estación 09071	169
Tabla 4.42	Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09014	169
Tabla 4.43	Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09055	170
Tabla 4.44	Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09070	171
Tabla 4.45	Valores de intensidades para duraciones de 1 hasta 24 hrs para la estación 09071	172



## Bibliografía

### Capítulo 1 Situación del recurso agua en la República Mexicana.

Atlas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua, Septiembre 2011.

Programa Nacional Hídrico 2007-2012, Comisión Nacional del Agua, Febrero 2008.

[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=236&Itemid=74](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=236&Itemid=74)

[http://www.imta.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=177:las-sequias-en-mexico&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=106](http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=177:las-sequias-en-mexico&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=106)

[http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/333/1/images/FAQS\\_FOPREDEN\\_Nuevas\\_Reglas\\_2010.pdf](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/333/1/images/FAQS_FOPREDEN_Nuevas_Reglas_2010.pdf)

[http://www.proteccioncivil.gob.mx/en/ProteccionCivil/Que\\_es](http://www.proteccioncivil.gob.mx/en/ProteccionCivil/Que_es)

[http://portal.funcionpublica.gob.mx:8080/wb3/wb/SFP/dgaor\\_fonden](http://portal.funcionpublica.gob.mx:8080/wb3/wb/SFP/dgaor_fonden)

[http://www.inafed.gob.mx/wb/ELOCAL/ELOC\\_FONDEN\\_](http://www.inafed.gob.mx/wb/ELOCAL/ELOC_FONDEN_)

[http://www.imta.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopedia-del-agua&id=179:precipitaciones-pluviales-extremas&option=com\\_content&view=article](http://www.imta.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopedia-del-agua&id=179:precipitaciones-pluviales-extremas&option=com_content&view=article)

Tesis Avenidas de Diseño de las aportaciones del túnel del Río de la Compañía, M.I. Rocío Salinas Prado, junio 2011

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Investigacion/RHidrometeorologicos/FenomenosMeteorologicos/Sequia/>

<http://www.eluniversal.com.mx/notas/824109.html>

<http://foros.eluniversal.com.mx/entrevistas/detalles/22825.html>

Revista Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C.  
Num.514 Febrero 2012

<http://www.cenapred.unam.mx/es/Investigacion/RHidrometeorologicos/FenomenosMeteorologicos/CiclonesTropicales/>

<http://www.cenapred.unam.mx/es/PreguntasFrecuentes/faqpopo5.html>

<http://www.cenapred.unam.mx/es/Investigacion/Atlas/>

[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=39&Itemid=47](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=47)

Inundaciones, serie fascículos, Centro Nacional de Prevención de Desastres, octubre 2004.

Desastres naturales por inundaciones en el sureste mexicano, Academia de Ingeniería, febrero 2012.

Análisis de sequías (volumen I), Escalante Sandoval, Carlos Agustín y Lilia Reyes Chávez, México, UNAM, Facultad de Ingeniería 2005 (2 vols.).

## **Capítulo 2 Conceptos teóricos de la variable meteorológica precipitación, y descripción de la Cuenca del Valle de México.**

Apuntes de la clase de Hidrología, Dra. Lilia Reyes Chávez. FI UNAM

<http://smn.cna.gob.mx/emas/>

[http://www.imta.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopedia-del-agua&id=179:precipitaciones-pluviales-extremas&option=com\\_content&view=article](http://www.imta.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopedia-del-agua&id=179:precipitaciones-pluviales-extremas&option=com_content&view=article)

Diccionario de hidrología y ciencias afines; de la Lanza Espino, Guadalupe.

<http://www.conagua.gob.mx/OCAvm/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=4ef684f7-5c3d-4519-9456-517d186e9757|Acerca%20de%20la%20Cuenca|0|6|0|0|0>

Fundamentos de hidrología de superficie. Aparicio Mijares, Francisco Javier. Ed. Limusa México 1989.

[http://www.bibliocad.com/biblioteca/mapa-en-cad-de-la-delegacion-coyoacan\\_14241](http://www.bibliocad.com/biblioteca/mapa-en-cad-de-la-delegacion-coyoacan_14241)

### **Capítulo 3 Métodos para la estimación de las curvas Intensidad–Duración–Periodo de retorno. (i-d-Tr)**

Apuntes de la clase de Hidrología, Dra. Lilia Reyes Chávez. FI UNAM

### **Capítulo 4 Aplicación**

<http://www.coyoacan.df.gob.mx/>