

01162



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO PARA  
DETERMINAR RELACIONES  $i-d-T_r$  A PARTIR DE  
LLUVIAS DE 24 HORAS**

**T E S I S**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA  
(HIDRÁULICA)**

**PRESENTA  
PABLO AMARO RÍOS**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ**



MÉXICO, D. F.

FEBRERO DE 2005

m341368



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Pablo Amaro Rios

FECHA: 25/Febrero/2005

FIRMA: 

Agradecimientos:

A Dios, por haberme dado licencia de vida e inteligencia para lograr mis propósitos.

Al Dr. Jesús Gracia Sánchez, por la dirección, supervisión y participación en el trabajo; además, por la gran amistad y confianza brindada durante el desarrollo del Tema.

A los Drs. Ramón Domínguez Mora, Oscar A. Fuentes Mariles, Carlos A. Escalante Sandoval, por la revisión y opinión realizada al presente trabajo; y, en especial al M.I. Víctor Franco por la amistad, apoyo y consejos brindados durante mi estancia en el postgrado.

A los profesores del pos grado de Ingeniería de la UNAM.

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

	Pág.
<b>1 LA LLUVIA Y SU AFORO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Base para la evaluación de los recursos hídricos.....	1
1.2 ¿Quién evalúa?.....	2
1.3 La lluvia en México.....	3
1.4 Recursos hidráulicos.....	4
1.5 Distribución general de la precipitación.....	5
1.6 Medición de la precipitación.....	6
1.7 Red pluviométrica.....	7
1.7.1 Utilidad.....	7
1.7.2 Importancia.....	8
1.7.3 Criterios elementales de diseño.....	9
1.7.4 Estado actual de la red pluviométrica en México.....	9
1.8 Serie anual de máximos.....	13
1.9 Estimación de registros anuales faltantes.....	13
1.10 Hidrología en cuencas pequeñas con escasa información.....	14
1.10.1 Análisis de la información hidrometeorológica.....	14
1.10.2 Transposición de tormentas.....	15
1.11 Estimación de la precipitación promedio.....	16
1.12 Relaciones lluvia-escurrimiento.....	16
<b>2 BASES PARA ELABORAR UN ANÁLISIS DE FRECUENCIAS</b> .....	<b>18</b>
2.1 Periodo de retorno.....	18
2.2 Análisis de homogeneidad o consistencia.....	19
2.3 Prueba estadística de Helmer.....	19
2.4 Prueba estadística t de Student.....	20
2.5 Prueba estadística de Cramer.....	20
2.6 Prueba estadística de las secuencias.....	21
2.7 Prueba de independencia de eventos.....	22
2.8 Análisis de frecuencias de lluvias máximas anuales.....	23
<b>3 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS EN 60 ESTACIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA</b>	<b>25</b>
3.1 Recopilación de información.....	26
3.2 Secuencia de Análisis.....	28
3.3 Ajuste de distribuciones de probabilidad a series anuales de lluvias máximas.....	42

<b>4</b>	<b>MÉTODO EMPÍRICO DE CHEN LUNG CHEN.....</b>	<b>54</b>
4.1	Ecuación generalizada de $hp-d-Tr$ , propuesta por Chen.....	55
4.2	Ecuación de Sherman.....	56
4.3	Comparación de resultados obtenidos, a través, del análisis de frecuencias realizado a las 60 estaciones de la República Mexicana, con los resultados obtenidos al utilizar el método empírico propuesto por Chen Lung Chen.....	58
<b>5</b>	<b>EJEMPLOS DE APLICACIÓN.....</b>	<b>87</b>
5.1	Ejercicio No 1.....	87
5.2	Ejercicio No 2.....	90
5.3	Ejercicio No 3.....	92
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>96</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>98</b>
	<b>APÉNDICE A</b>	

## **RESUMEN**

Una parte importante del presente trabajo es la recolección y análisis de los datos básicos de algunos fenómenos naturales que tienen que ver con la Hidrología. Con frecuencia, el ingeniero se encuentra situaciones difíciles cuando no cuenta con datos apropiados, lo cual, le ha obligado a razonamientos deductivos rigurosos. En este trabajo, se parte de un conjunto de hechos observados en las series históricas de datos de lluvia que después de ser examinados empíricamente permitieron establecer algunas normas sistemáticas.

## INTRODUCCIÓN

Se puede afirmar que todo lo que vive sobre la faz de la tierra depende del agua. El hombre la requiere para sus necesidades básicas, usos recreativos, transformarla en energía, procesos de manufactura y para la agricultura.

Por desgracia, no siempre es posible satisfacer las necesidades humanas y con frecuencia su escasez no permite disponer de la cantidad necesaria, aunque otras veces, su exceso produce inundaciones originando graves daños materiales y algunas veces pérdida de vidas humanas.

La irregular distribución espacial y temporal de aguas, ha obligado a construir grandes obras de protección, drenaje, y regulación; capaces de compensar estas últimas (la escasez y el exceso de agua). El desarrollo de tales proyectos no puede llevarse a cabo sin estudios básicos necesarios para asegurar la mejor utilización racional de los recursos hidráulicos disponibles o para evitar las desastrosas consecuencias de su almacenamiento incontrolado o inseguro, además de prevenir contra los proyectos absurdos y costosos.

En la fase de planeación y diseño, el análisis se dirige básicamente a fijar la capacidad y seguridad de las estructuras hidráulicas. Las dimensiones físicas o la capacidad de conducción de una estructura hidráulica se determinan, desde luego, de acuerdo con los volúmenes y gastos que se deseen almacenar, controlar o transmitir. En este sentido, se requieren estudios hidrológicos para determinar la disponibilidad de fuentes naturales y para saber si el abastecimiento de la fuente es adecuado en todo tiempo, o si se requerirá de otras estructuras para corregir las deficiencias o para disponer de los volúmenes excedentes de agua.

La hidrología trata con un aspecto importante y vital del medio ambiente, que es el agua, y es una ciencia esencial para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y el diseño de obras de defensa. Aunque esta ciencia, está lejos de tener un desarrollo completo, existen varios métodos analíticos y estadísticos que son en mayor o menor grado aceptados en la profesión ingenieril.

Para conocer un poco más de la situación actual y futura del agua en nuestro planeta, en el primer capítulo se hace una breve reseña de la problemática que se vive actualmente a nivel mundial, y algunos aspectos que se deben tomar en cuenta para mejorar la relación que se tiene con ella. Se incluye un escenario que muestra el comportamiento de los recursos hidráulicos en México, así como, la distribución general de la precipitación. Por otra parte, dadas las limitaciones en las mediciones de la precipitación y por ende, de los datos disponibles, se presenta una discusión sobre el estado actual y necesidades futuras de la red pluviométrica en nuestro país, diversos tipos de aparatos de medición, algunos criterios elementales para el diseño de las redes pluviométricas y las técnicas utilizadas para el análisis de la información disponible.

El segundo capítulo es un tema relacionado con el análisis de frecuencias de eventos extremos, que en particular está enfocado hacia las series de lluvias máximas anuales, para lo cual, se toma en cuenta el concepto del período de retorno, la homogeneidad o consistencia de las series y la independencia de los eventos de cada serie en particular.

En el tercer capítulo, se desarrolla un estudio elaborado a 60 estaciones climatológicas que cuentan con pluviómetro y pluviógrafo, mismas que se encuentran ubicadas en diferentes estados de la República Mexicana. En esta parte, se presentan los resultados obtenidos después de haber recabado, comparado, completado y procesado las series de lluvias máximas anuales para cada una de las estaciones a partir de los registros de información disponibles; y además, se presenta una breve explicación de la forma en la que se obtuvieron los resultados de la tabla resumen, mediante un análisis de frecuencias aplicado a dichas estaciones.

El objetivo principal de este trabajo, se encuentra los capítulos cuarto y quinto, en donde, el primero de ellos se refiere a la introducción de un método simple realizado por Chen (1983), que consiste en una ecuación generalizada de intensidad-duración-período de retorno para cualquier localidad en los EEUU, y aplicando éste, de la misma forma para las estaciones utilizadas en el presente trabajo, se hace una comparación de los resultados obtenidos mediante el análisis de frecuencias y el criterio propuesto por Chen (1983); además, se mencionan algunos trabajos, que pueden resultar útiles para el cálculo de las  $i-d-Tr$  en la República Mexicana. En el capítulo quinto, se presentan algunos ejemplos de aplicación del método empírico propuesto para la generación de curvas  $hp-d-Tr$  y curvas  $i-d-Tr$ , a partir de registros de lluvias diarias.

## CAPÍTULO 1 LA LLUVIA Y SU AFORO

### 1.1 Base para la evaluación de los recursos hídricos

Es necesario medir regularmente los elementos hidrológicos que controlan los recursos hídricos, para determinar de cuanta agua se dispone para el consumo. Esos elementos incluyen la precipitación, la evaporación y el caudal fluvial, así como el agua almacenada en el suelo, los acuíferos, embalses y glaciares. La cantidad, calidad y características biológicas del agua deberían medirse con regularidad. La tabla siguiente da una indicación de la cantidad total de instrumentos de la red hidrológica mundial, que sirven para medir esos diferentes elementos.

Red hidrológica mundial (millar más próximo)

	No de estaciones
Precipitación (Pluviógrafo + Pluviómetro)	194 000
Evaporación (Tanques + métodos indirectos)	14 000
Caudal (Limnógrafo + Limnómetro)	64 000
Caudal de sedimentos (Suspendidos + carga de fondo)	16 000
Calidad del agua	44 000
Agua Subterránea (Nivel de los pozos de observación)	146 000

*Fuente: Manual de INFOHYDRO, OMM, 1994*

El análisis de los registros procedentes de esa red, que es la suma total de las redes de casi 200 países y territorios, constituye nuestra única fuente de conocimientos sobre los recursos hídricos del planeta, desde la cuenca fluvial más pequeña del mundo hasta la más grande, y desde horas y días hasta mediciones a largo plazo.

A pesar de la gran cantidad total de estaciones, la cobertura de la red es muy inadecuada, en particular en los países en desarrollo que, paradójicamente, es donde más se necesitan los datos sobre el agua. De hecho, en gran parte del mundo en desarrollo las redes nacionales

están disminuyendo hasta el extremo de que en muchos países, son menos capaces de determinar sus recursos hídricos en 1997 de lo que eran en 1967. Es un problema reunir esos datos regional y globalmente. Gracias al establecimiento del centro mundial de datos de escorrentía en Coblenza, Alemania, y del centro de colaboración sobre la calidad del agua superficial y el agua subterránea (SIMUVINA/OMM) en Burlington, Canadá, ha mejorado esa situación. Sin embargo, algunos países no han proporcionado datos a esos centros. Con los registros actualmente disponibles resulta extremadamente difícil establecer la situación de los recursos hídricos mundiales, y en particular los de una región o cuenca fluvial determinada, y para un año, mes o día determinado. Pero dicha información es vital para la inversión, y también para el progreso científico.

Es paradójico que organismos y gobiernos estén dispuestos a invertir muchos millones en proyectos sustentados por tan frágiles bases de datos hidrológicos, y que pueden no ser sostenibles, pero que no estén dispuestos a gastar las sumas mucho menores que se precisan a fin de garantizar la recopilación y el tratamiento de datos para satisfacer las necesidades actuales y futuras y demostrar la sostenibilidad de los proyectos. Se suele argumentar que no hay tiempo para la recopilación de datos. La respuesta es que éste es precisamente el momento para empezar a recopilar datos para el futuro, usando técnicas de evaluación rápida.

## **1.2 ¿Quién evalúa?**

La OMM en colaboración con el Banco Mundial, la Unión Europea y otros organismos, ha emprendido el establecimiento del Sistema Mundial de Observación del Ciclo Hidrológico (WHYCOS). Se prevé que ese sistema proporcione datos, sobre la cantidad y la calidad, en tiempo casi real, de una red de casi mil estaciones situadas en los principales ríos del mundo, inclusive los compartidos por varios países. Las obras para la instalación de la red han comenzado en los países que rodean el Mar Mediterráneo y en África Meridional (OMM-Nº 857, 1997).

En México, los organismos encargados de recolectar la información de las estaciones hidroclimatológicas e hidrométricas, son la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad, por ser las dependencias oficiales que tienen a su cargo la operación y conservación de las mismas. Estas a su vez, reportan los datos recopilados diariamente en sus sitios de aforo, al Servicio Meteorológico Nacional.

### 1.3 La lluvia en México

Prácticamente en todo el mundo, pero principalmente en los países en desarrollo y México no es la excepción, el aumento o crecimiento de la población hace que el agua resulte escasa con respecto a las necesidades, lo que ha originado el inicio de una política hidráulica orientada hacia el mejor aprovechamiento de los almacenamientos disponibles y hacia una rigurosa planeación para el futuro. Esto último, requiere del perfeccionamiento de los métodos y técnicas de los análisis hidrológicos, pues se requiere: procesar y obtener conclusiones sobre los datos de lluvias, evaporaciones y escurrimientos, la estimación del transporte y depósito de los sedimentos, etc.

Los recursos hidráulicos superficiales son función de un gran número de factores, entre los principales, se tienen: los climáticos, los geomorfológicos, los geológicos y los hidráulicos; dichos recursos están asociados a la incertidumbre o aleatoriedad de la naturaleza. Por lo anterior, para su cuantificación y aprovechamiento se debe recurrir primeramente al acervo teórico y a las metodologías hidrológicas más adecuadas, así como también a la profusión de los conocimientos científicos y tecnológicos acerca del agua.

Las técnicas hidrológicas modernas han abierto enormes perspectivas de análisis (como la simulación), permitiendo realizar estudios económicos de factibilidad y jerarquización de las obras en proyecto. Sin embargo, la hidrología deberá evolucionar más y tender hacia la formulación de modelos que permitan prever las consecuencias de una determinada política hidráulica en una cuenca o región del país, pero, tomando en cuenta los problemas de carácter eminentemente social, la contaminación y la reutilización de las aguas poco contaminadas o tratadas (Aranda, 1983).

Es conveniente elaborar estudios de contraste a la metodología empírica utilizada, para definir su confiabilidad, zonas de aplicabilidad, etc. En base a la información hidrológica disponible actualmente, emprender estudios de investigación para generar nuevos criterios, corregir o modificar los que están en uso y tratar de ampliar el horizonte del conocimiento teórico.

Es muy importante ampliar la red pluviográfica e hidrométrica del país, principalmente para instrumentar cuencas medianas y pequeñas y poder realizar estudios de investigación en ellas, para llegar a criterios más adecuados y confiables. Respecto a la red pluviométrica, sólo se requiere que sea complementada en ciertas zonas del país, para que se cumpla con las especificaciones de los diversos criterios de diseño de este tipo de redes.

#### 1.4 Recursos hidráulicos

La ubicación geográfica de México, sus climas, su topografía, la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos y el uso del agua, configuran un panorama que hoy se caracteriza por presentar una fuerte disminución en la disponibilidad y calidad del agua.

##### Clima y precipitación

Por su nivel de humedad, el 56% del territorio del país comprende zonas muy áridas y semiáridas, las cuales están ubicadas principalmente en el norte y centro del mismo. El 37% es subhúmedo y se presenta en las sierras y en las planicies costeras del Pacífico, Golfo de México y el noreste de la Península de Yucatán. Las zonas húmedas, cubren sólo el 7% del territorio, se localizan donde inicia el ascenso a las sierras y se deposita la humedad del Golfo de México, además de una porción en la vertiente del Pacífico al sur del país.



Fuente: Comisión Nacional del Agua

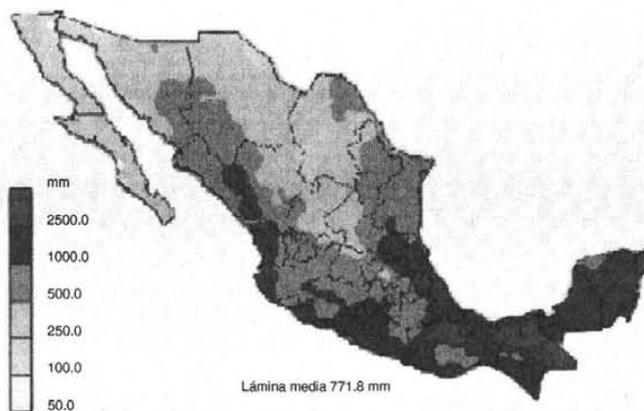
En cuanto a la temporalidad, el régimen de lluvias de verano cubre el 66% de su superficie y en la zona intermedia, para esta misma estación, se cubre el 31% y corresponde a la frontera norte del país y a las zonas de mayor precipitación en el trópico mexicano. Sólo el 3% de la superficie continental tiene régimen de lluvias de invierno, que ocurren en la península de Baja California.

De los 772 mm de lluvia que, en promedio ocurren anualmente en el territorio, el 67% acontece en los meses de junio a septiembre, lo que dificulta su aprovechamiento, dado su carácter torrencial en la generalidad de sus casos (CNA, 2004).

---

## Precipitación media anual promedio, período 1941-2002

---

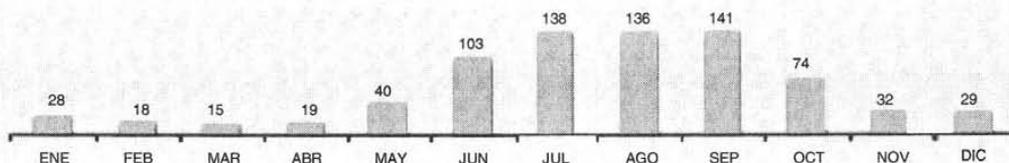


Fuente: Comisión Nacional del Agua

---

## Precipitación media mensual histórica, período 1941-2002

---



### 1.5 Distribución general de la precipitación

La precipitación predominante en el país es la de clase pluvial y su distribución en el territorio es muy irregular dada la situación geográfica del mismo. En general la precipitación aumenta en una dirección norte-sur debido a la influencia de la latitud, sin embargo el relieve produce un efecto muy importante en la distribución, la cual se puede resumir como sigue:

1. La mayor precipitación (más de 4,000 mm anuales) se concentra en la parte sur-oriental del país, debido a su gran altitud e incidencia de todos los fenómenos meteorológicos previamente citados.

2. Se advierte que las zonas altas: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Volcánica Transversal y Sierra Madre del Sur especialmente, registran precipitaciones mayores a los 1,000 mm, pues constituyen barreras al paso de las masas de aire húmedo.
3. Las regiones limitadas por las zonas altas citadas, como son: la Depresión del Balsas y los Valles de Oaxaca, de Puebla y del Distrito Federal, así como las planicies costeras, reciben precipitaciones comprendidas entre los 500 y los 2,000 mm, dependiendo de su ubicación en cuanto a su altitud y exposición a los vientos húmedos.
4. La península de Yucatán recibe en realidad poca precipitación para su latitud, debido a la escasez de relieve.
5. Por último, respecto al resto del país, es decir, Península de Baja California, planicies costeras y altiplanicie mexicana, constituyen las zonas de más baja precipitación (fluctúa de 50 a 500 mm), pues por estar bajo las influencias de las calmas tropicales, únicamente reciben los efectos de algunos de los fenómenos meteorológicos mencionados (Aranda, 1983).

## **1.6 Medición de la precipitación**

En la actualidad existe una gran variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de las diferentes fases de la precipitación. Sin embargo, los aparatos que miden la cantidad y la intensidad de la precipitación son los más importantes. Los otros tipos de instrumentos miden el tamaño y distribución de las gotas de lluvia, o bien, el comienzo y fin de la lluvia.

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

Los pluviómetros están formados por un recipiente cilíndrico de lámina galvanizada graduada con un área transversal "a" al que descarga un embudo que capta el agua de lluvia, y cuya área de captación es "A". Se acostumbra a 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. El empaque del pluviómetro es una caja de madera que a la vez sirve como abrigo a éste cuando se instala, con objeto de que los rayos solares no lo calienten demasiado y produzcan en su interior evaporaciones, que originen errores en las mediciones.

El pluviómetro únicamente proporciona la altura de precipitación total en intervalos previamente establecidos, comúnmente 24 horas y en México se acostumbra tomar lecturas diariamente a partir de las 8 de la mañana de cada día.

Todas las formas o clases de precipitación se miden como columna vertical de agua que se acumula sobre una superficie impermeable a nivel, si la precipitación permaneciera en el lugar donde cae. En el sistema métrico la precipitación se mide en milímetros y décimas de milímetro. En teoría cualquier recipiente abierto, cuyos lados sean verticales puede emplearse para medir la lluvia, sin embargo, debido a los efectos del viento y el salpicado, las observaciones no son comparables a menos que los recipientes de medida sean del mismo tamaño y forma, además de estar expuestos de manera similar, es por ello que se utilizan los pluviómetros.

Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación. Este mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las lecturas de precipitación en el papel. El recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón autocebante (Aparicio, 2001).

## **1.7 Red pluviométrica**

### **1.7.1 Utilidad**

Los datos de precipitación son básicos en el desarrollo y administración de los recursos hidráulicos del país, así como también para la operación de las obras hidráulicas. Además, en la planeación de un proyecto de abastecimiento de agua para irrigación o usos municipales, es fundamental conocer primero la lluvia media anual que recibe su cuenca de captación. Otras características, como la variabilidad de la lluvia mes a mes y a través de un período largo de años, son muy necesarias para el diseño hidrológico de los embalses.

Por otra parte, los datos sobre la pluviometría son útiles en el desarrollo de proyectos sobre uso de suelo, pues los cultivos prosperan mejor dentro de ciertos rangos de humedad y entonces es conveniente delimitar zonas climáticas que correspondan a áreas favorables para determinados cultivos. Por último, todos los estudios para estimar gastos máximos para el diseño de drenajes urbanos o de zonas de riego, requieren conocer la intensidad y duración de las tormentas de la zona.

### 1.7.2 Importancia

Tomando en cuenta que los registros o datos sobre la precipitación previamente citados, se recolectan en la red pluviométrica y pluviográfica del país, la importancia de ésta nunca debe ser subestimada, pues de su densidad depende la calidad de la información utilizada en los diversos estudios climáticos e hidrológicos. Mismos que, son indispensables desde el inicio hasta la formulación de un proyecto y aún más, hasta su explotación. Dentro de tales aspectos se tienen: el abastecimiento de agua potable y de riego, la protección contra crecientes, el drenaje, las centrales hidroeléctricas, etc. El dimensionamiento, la seguridad y la correcta explotación de las obras hidráulicas están siempre unidas a una acertada evaluación de los recursos hidráulicos promedio y extremos (avenidas y estiajes).

Para elaborar los estudios hidrológicos necesarios en los proyectos de aprovechamiento y control, primeramente se debe establecer un adecuado programa de investigaciones hidrológicas, que comprenderán la recopilación e interpretación de datos climatológicos (precipitación, evaporación y temperaturas, principalmente) e hidrométricos (volúmenes escurridos y avenidas).

Con respecto al proceso de la información, es conveniente indicar que la hidrología utiliza herramientas analíticas basadas en teorías, las cuales, permiten obtener respuestas cuantitativas que resuelven el problema; pero además, sucesivamente se han elaborado mejores implementos para observar los procesos hidrológicos y probar esas teorías.

Sin embargo, la aplicación de las técnicas analíticas es uno de los pasos que son necesarios para desarrollar un proyecto de aprovechamiento o control, que en general se basa en lo siguiente (Aranda, 1983):

1. Determinación precisa del problema que se quiere resolver, con las estructuras en proyecto.
2. Identificación y acopio de la información disponible.
3. Selección de alternativas.
4. Análisis de alternativas aplicando métodos analíticos y algunas veces experimentales.
5. Evaluación cuantitativa de los resultados.
6. Evaluación de los factores no técnicos.
7. Formulación de los estudios definitivos.
8. Elaboración de recomendaciones para la construcción, operación y mantenimiento de las obras.

### **1.7.3 Criterios elementales de diseño**

Básicamente se pueden citar tres criterios elementales de diseño de una red pluviométrica, el primero debido a W.B. Langbein (1954), el cuál, propone recomendaciones para la densidad mínima de estaciones en relación a la densidad de la población. El segundo criterio se debe a la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.), que ha formulado unas recomendaciones relativas a la densidad mínima de estaciones pluviométricas, requeridas en diversas regiones. Y el tercer criterio también de la O.M.M., en el cual el número de pluviómetros requeridos en una cuenca, es función del tamaño de ésta, del promedio de días con precipitación por año y del volumen escurrido medio anual.

### **1.7.4 Estado actual de la red pluviométrica en México**

Los dos primeros criterios elementales de diseño de una red pluviométrica, presentados anteriormente, han servido de apoyo para evaluar el estado actual de la red de estaciones de nuestro país. De acuerdo con la información recabada por la entonces Secretaría de Obras Públicas en 1973, se puede decir que la red pluviométrica sigue sensiblemente la tendencia de los valores mínimos recomendados, quedando el estado de Coahuila muy por debajo del mínimo. Con respecto al criterio de la O.M.M., Jáuregui O., lo aplica para determinar en que medida la red pluviométrica nacional satisface las normas de densidad mínima, de donde se puede concluir que el Distrito Federal tiene 20 veces más la densidad mínima, siguiendo en orden decreciente los estados de Tlaxcala, Sinaloa, Puebla y Veracruz.

Otros estados que cuentan con una red mínima satisfactoria son: Baja California Norte, San Luis Potosí, Baja California Sur y Tabasco. En cambio la red es más deficiente en los estados de Durango, Jalisco, Guerrero, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, Chiapas y Guanajuato, todos con menos de un 25% de la red mínima.

Adicionalmente se puede concluir que de 9 a 17 estados del país cuentan con una red mínima, según se tome el límite superior de las normas de la O.M.M. Esto es, en el mejor de los casos, sólo la mitad de los estados de la República Mexicana cuentan con una red mínima aceptable.

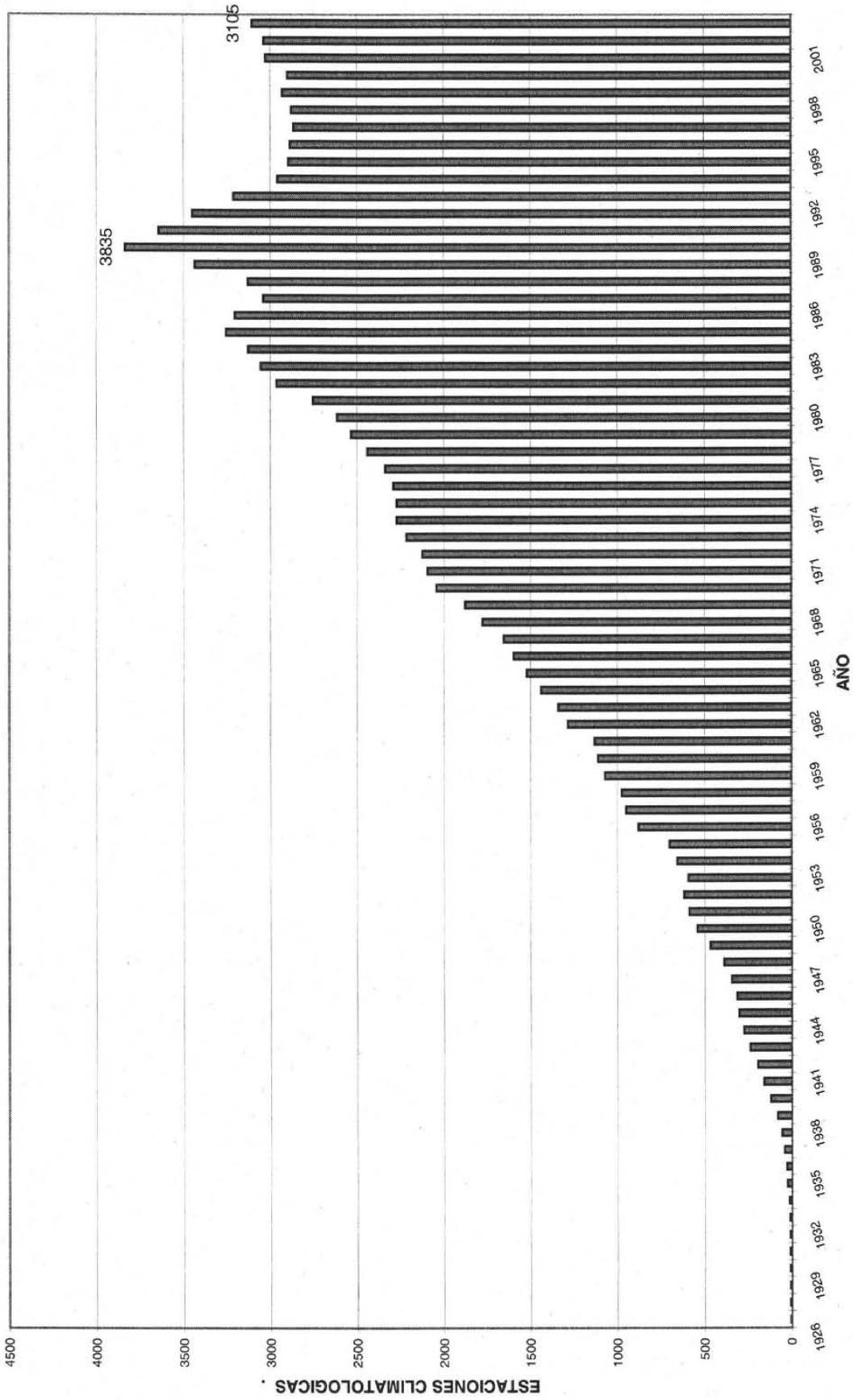
En el caso más general, la comisión Nacional del Agua (CNA) a través de la Subdirección General Técnica (SGT), en la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR), Subgerencia de Hidrometría tiene a su cargo la información hidroclimatológica disponible, que incluye todas las estaciones ubicadas en la República Mexicana, con su ubicación, tipo de estación, aparatos que se tienen en existencia, datos registrados y condición o estado actual de los aparatos que se encuentran en las mismas.

Como información adicional, a continuación se presenta un resumen de la evolución de la red hidroclimatológica con la cantidad de estaciones climatológicas e hidrométricas que han estado en operación, desde 1926 hasta el 2002 (CNA).

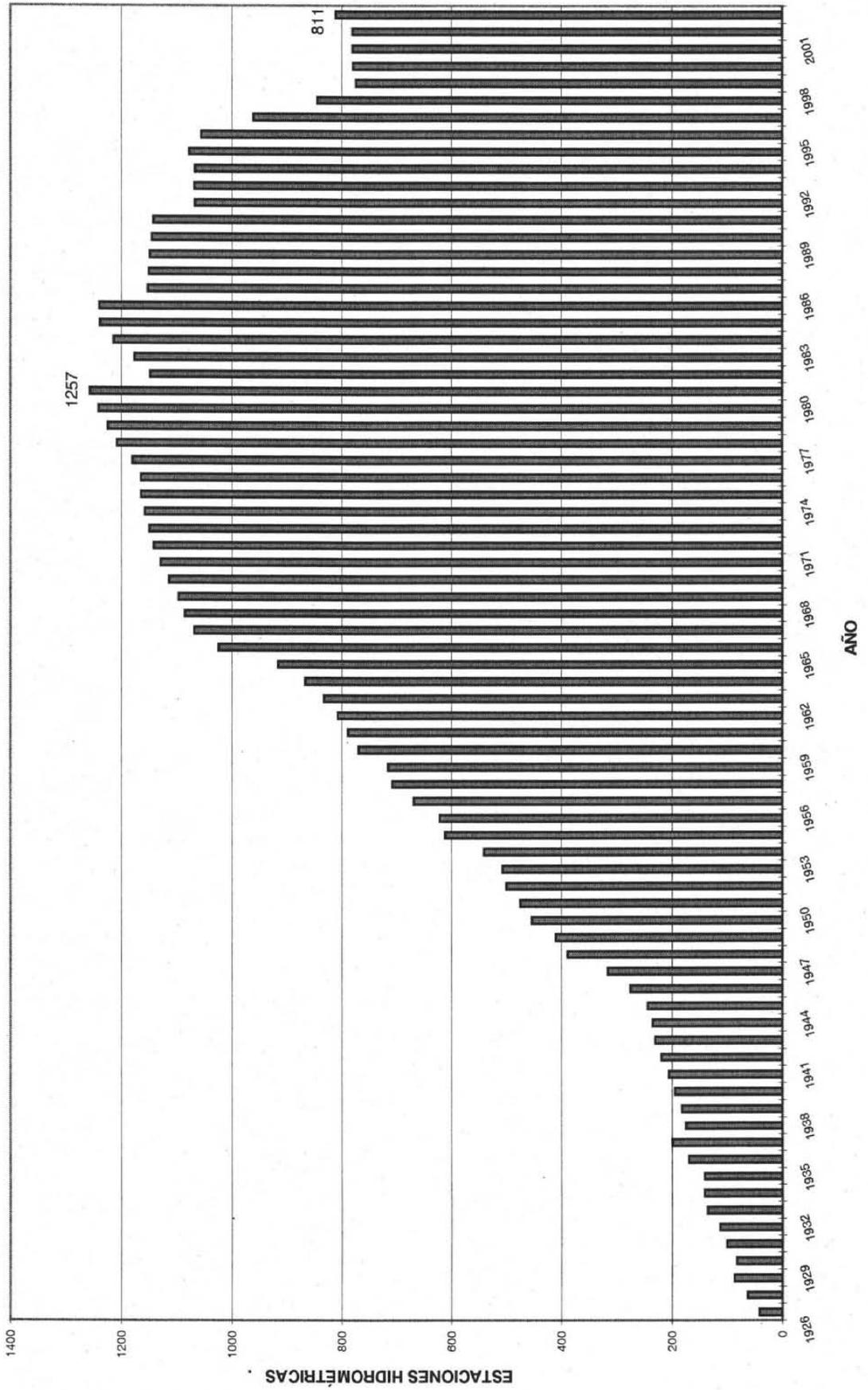
AÑO	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN OPERACIÓN	AÑO	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN OPERACIÓN	AÑO	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN OPERACIÓN
1926	4	1952	591	1978	2534
1927	6	1953	656	1979	2615
1928	6	1954	699	1980	2753
1929	7	1955	878	1981	2963
1930	8	1956	949	1982	3055
1931	9	1957	974	1983	3126
1932	10	1958	1071	1984	3255
1933	15	1959	1111	1985	3204
1934	24	1960	1132	1986	3039
1935	27	1961	1284	1987	3128
1936	42	1962	1339	1988	3433
1937	56	1963	1438	1989	3835
1938	81	1964	1520	1990	3642
1939	119	1965	1596	1991	3449
1940	158	1966	1652	1992	3211
1941	195	1967	1778	1993	2958
1942	238	1968	1877	1994	2895
1943	273	1969	2043	1995	2885
1944	302	1970	2093	1996	2865
1945	313	1971	2123	1997	2879
1946	344	1972	2215	1998	2929
1947	389	1973	2271	1999	2900
1948	466	1974	2272	2000	3027
1949	541	1975	2291	2001	3036
1950	588	1976	2338	2002	3105
1951	616	1977	2442		

AÑO	ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN OPERACIÓN	AÑO	ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN OPERACIÓN	AÑO	ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN OPERACIÓN
1926	41	1952	507	1978	1224
1927	63	1953	541	1979	1241
1928	87	1954	612	1980	1257
1929	82	1955	622	1981	1147
1930	100	1956	669	1982	1176
1931	113	1957	708	1983	1214
1932	135	1958	716	1984	1239
1933	141	1959	769	1985	1240
1934	141	1960	788	1986	1152
1935	169	1961	807	1987	1150
1936	199	1962	832	1988	1148
1937	175	1963	866	1989	1145
1938	182	1964	915	1990	1142
1939	194	1965	1024	1991	1067
1940	205	1966	1068	1992	1068
1941	219	1967	1085	1993	1067
1942	230	1968	1096	1994	1077
1943	235	1969	1113	1995	1055
1944	244	1970	1129	1996	960
1945	275	1971	1141	1997	844
1946	316	1972	1149	1998	774
1947	389	1973	1157	1999	779
1948	410	1974	1164	2000	780
1949	454	1975	1164	2001	780
1950	475	1976	1180	2002	811
1951	500	1977	1207		

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN OPERACION



ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN OPERACIÓN



## **1.8 Serie anual de máximos**

Se puede decir que la serie anual es generalmente la más utilizada, debido en primer lugar a su rapidez y facilidad de integración, pero además, dicha serie presenta una base teórica sólida para la extrapolación de los eventos, más allá del intervalo de observación, a través del concepto de período de retorno.

La desventaja principal de la serie anual radica en que cada año queda representado por un solo evento y el máximo de un año puede ser menor que el segundo o tercero en magnitud de otro año y sin embargo, no fueron considerados. En la serie de duración parcial se toman en cuenta los eventos secundarios en magnitud de todos los años y por ello, un evento de una cierta magnitud tendrá un período de retorno de diferente magnitud en cada una de las dos series.

## **1.9 Estimación de registros anuales faltantes**

Es frecuente que en un registro de precipitación falten los datos de un cierto período, debido a la ausencia del operador o a fallas del aparato registrador. Existen varias técnicas para la estimación de los registros anuales faltantes, pero en este caso, sólo se mencionan algunas que son consideradas las más frecuentemente utilizadas:

Método de la relación normalizada.- En este método la lluvia anual faltante a una cierta estación pluviométrica, se estima a partir de los valores observados en tres estaciones cercanas, situadas uniformemente alrededor de la estación incompleta y que contengan los registros faltantes. Si la precipitación media anual de cada una de las estaciones auxiliares está dentro de un 10% de la registrada en la estación incompleta, se usará el promedio aritmético de las tres estaciones para estimar el dato anual faltante.

Si la precipitación media anual de cualquiera de las estaciones auxiliares difiere aún más de un 10% de la medida en la estación incompleta, el dato faltante será determinado por el Método de la relación normalizada, en el cual los valores observados en las estaciones auxiliares son ponderados mediante las relaciones o cocientes de la precipitación media anual correspondiente.

Uso de técnicas de regresión lineal.- Para completar registros anuales en uno o más años, seguidos o intercalados, el uso de la regresión lineal entre la estación incompleta y otra u otras cercanas, es de enorme ayuda para estimar los valores faltantes. La regresión lineal y la correlación extendida, ésta última, como una forma de medir el grado de asociación o dependencia entre datos de las estaciones que se analizan; son de gran utilidad para estimar el valor de los datos faltantes. Estas técnicas también son empleadas para realizar el incremento

o la extensión de los registros anuales de lluvias, entre dos o más estaciones pluviométricas (Aranda, 1983).

### **1.10 Hidrología en cuencas pequeñas con escasa información**

Los objetivos que cumplen los estudios hidrológicos en proyectos que utilizan los recursos hidráulicos de una cuenca son los mismos en un desarrollo pequeño que en uno grande. En ambos casos, el ingeniero debe utilizar al máximo la información disponible y aplicar las técnicas más apropiadas para obtener los mejores resultados posibles.

Lo anterior, indica que no puede hablarse de una hidrología diferente, exclusiva de los pequeños proyectos de desarrollo regional o local. Sin embargo, por regla general muchos proyectos pequeños están localizados en zonas donde los registros de escurrimientos son deficientes en la red hidrometeorológica, o donde la cartografía no existe a la escala adecuada. Por esta razón, los proyectos que se desarrollan en cuencas pequeñas (50 km<sup>2</sup>) están casi siempre asociados con el problema de información escasa.

#### **1.10.1 Análisis de la información hidrometeorológica**

La información recolectada se analiza con procedimientos que dependen de la calidad de los datos obtenidos. Los métodos de análisis que se aplican en cada caso particular dependen de la calidad de la información disponible.

Cuando existen registros suficientemente confiables en las áreas climatológica, pluviométrica e hidrométrica, es posible conformar series históricas que cumplen con todos los requisitos que exigen el análisis estadístico de frecuencias y la aplicación de la teoría de las probabilidades.

Si alguna de las series históricas presenta deficiencias, ya sea en longitud, fallas en la toma de datos, o falta de consistencia, hay necesidad de construir las series utilizando información de estaciones vecinas o relaciones entre variables, por ejemplo ecuaciones de regresión.

Sin embargo, cabe señalar que las series reconstruidas ya no son tan buenas como las series históricas registradas y comienzan a presentarse dudas, tanto en los estadísticos de los análisis de frecuencias, como en la aplicación de modelos matemáticos complejos.

Existen algunas zonas del país donde la información hidrometeorológica es mínima y los registros de lluvia son muy cortos e incompletos. Por ejemplo, solo hay registros de lluvias mensuales, o no existen cerca de la cuenca.

Una vez analizada la información se procede a conformar las series históricas según las necesidades del estudio; estas series constituyen la base del pronóstico del comportamiento futuro de los regímenes pluviométrico, climatológico e hidrométrico de la cuenca y su corriente de drenaje.

Los métodos de análisis de proyección al futuro se basan en la generación estocástica de series de lluvias o caudales y en la aplicación de los modelos de simulación. Estos métodos se recomiendan solamente cuando los análisis de frecuencias de las series históricas presentan un grado de confiabilidad aceptable.

Cuando la información es escasa los métodos estadísticos de confiabilidad no son aplicables; por lo tanto, en una primera aproximación debe presumirse que la información recolectada es aceptable. De cualquier forma, los estudios hidrológicos con información escasa no deben utilizar métodos de generación estocástica ni modelos matemáticos demasiado elaborados.

No obstante, la información que se toma en períodos cortos es útil porque permite calibrar algunas de las ecuaciones que se emplean en el estudio o porque sirve para comprobar en las etapas avanzadas del proyecto las suposiciones iniciales que resultan de la escasez de la información básica preliminar (Silva, 2003).

### **1.10.2 Transposición de tormentas**

Cuando se cuenta con poca información sobre tormentas extremas ocurridas en una cuenca, o cuando se desea ampliar la información sobre las cantidades máximas de precipitación que se pueden presentar en la misma, puede resultar conveniente transponer, a la cuenca en estudio, tormentas ocurridas en sitios diferentes. Esto, tiene desde luego, la limitación de que la tormenta transpuesta sea meteorológicamente factible de ocurrir en la cuenca en estudio, de manera que el sitio donde se presentó debe ser similar desde el punto de vista meteorológico. Así, por ejemplo, no es válido transponer una tormenta ciclónica a una zona donde sólo se pueden presentar tormentas de tipo convectivas, ni una tormenta tropical a zonas polares.

Al transponer una tormenta de un sitio a otro, se plantea la hipótesis de que no hay cambios en su estratificación de humedad, sus dimensiones espaciales ni en la magnitud y distribución de los vientos de entrada y salida. Estos y otros factores deben ser considerados al transponer una tormenta y, en caso de duda, debe consultarse a un meteorólogo.

### **1.11 Estimación de la precipitación promedio**

En general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. Los pluviómetros y los pluviógrafos registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en el que está instalado el aparato y, para los cálculos ingenieriles, es necesario determinar la magnitud de la precipitación promedio sobre un área o cuenca específica, para una tormenta determinada o para un período de tiempo dado, comúnmente un año.

La precisión con la cual, la lluvia de un área puede ser estimada, depende principalmente de la densidad de la red pluviométrica, del tamaño y tipo de tormenta analizada o de la duración de la lluvia en estudio.

En general, se puede indicar que las redes pluviométricas de poca densidad y muy dispersas, tienden a subestimar las cantidades máximas de lluvia y sus intensidades, lo mismo sucede, si el registro disponible es corto.

Básicamente se tienen tres métodos para la estimación de la precipitación promedio sobre un área, los cuales son aplicables a intervalos muy diferentes como son: la duración de la tormenta, días, meses o años. Tales métodos son los siguientes:

1. Método del promedio aritmético.- Es igual a la media aritmética de las alturas de precipitación, es decir, consiste en sumar la altura de precipitación registrada en cada una de las estaciones y dividirla entre el número total de estas.
2. Método de los polígonos de Thiessen.- Para la aplicación de este criterio se requiere señalar la ubicación de las estaciones en la cuenca y delimitar el área de influencia de cada una de ellas por medio de polígonos.
3. Método de las Isoyetas.- Para poder aplicarlo, se requiere de un plano con la localización de las estaciones. En cada una de ellas se anota el valor de la precipitación y se trazan las curvas de igual precipitación, denominadas isoyetas.

### **1.12 Relaciones lluvia-escorrentía**

Es sumamente común que no se cuente con registros adecuados de escorrentía en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de obras hidráulicas. En general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escorrentía y, además, no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. Por ello, es conveniente contar con

métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación. Las características de la cuenca se conocen por medio de los planos topográficos y de uso de suelo.

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

- 1.- Área de la cuenca.
- 2.- Altura total de precipitación.
- 3.- Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc).
- 4.- Distribución de la lluvia en el tiempo.
- 5.- Distribución de la lluvia en el espacio y de las características de la cuenca.

Debido a que, por un lado, la cantidad y calidad de la información disponible varían grandemente de un problema a otro y a que, por otro lado, no siempre se requiere la misma precisión en los resultados, se han desarrollado una gran cantidad de métodos para analizar la relación lluvia-escurrimiento (Aparicio, 2001).

## CAPÍTULO 2 BASES PARA ELABORAR UN ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

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 de 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 teoría de probabilidad y estadística.

El análisis de frecuencias de las series de lluvias máximas anuales se emplea para proveer la magnitud de un evento  $\hat{X}_T$ , de cierto período de retorno  $\hat{T}_r$ , y con ello, estimar el gasto máximo anual que se utiliza para el diseño de una obra hidráulica, el manejo de las llanuras de inundación, etc. Sin embargo, el proyectista no solo debe estimar la magnitud del evento de diseño, sino que también debe proporcionar la probabilidad de excedencia, con el fin de fijar la seguridad del funcionamiento de la obra, o bien el riesgo de falla.

### 2.1 Período de retorno

En el análisis de frecuencias de una serie de máximos anuales  $X_i^j$  de la estación  $j$ , para un conjunto de datos  $i = 1, 2, \dots, n_j$ , el primer objetivo es determinar el intervalo de ocurrencia del período de retorno  $\hat{T}_r$  en años, de un evento hidrológico dada una magnitud  $x$ .

El período de retorno se define como el número de años que transcurren en promedio para que un evento de magnitud dada  $x$ , sea igualado o excedido por lo menos una vez en ese período de tiempo (Escalante, 2002).

$$T = \frac{1}{P(X > x)} = \frac{1}{[1 - P(X \leq x)]}$$

## 2.2 Análisis de homogeneidad o consistencia

Concepto de homogeneidad de la serie.- Una serie de datos es llamada homogénea si es una muestra de una única población. La homogeneidad de una serie se puede perder por un sinnúmero de causas, las cuales son diferenciadas en dos grupos: primero, las debidas a cambios físicos en la estación pluviométrica y segundo, las originadas por las modificaciones o cambios en el medio ambiente; las cuales, se manifiestan en una alteración relativa en la cantidad de lluvia captada por un pluviómetro.

Las características estadísticas de las series hidrológicas, como la media, 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 y la inconsistencia.

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, deslizamiento 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.

## 2.3 Prueba estadística de Helmer

Esta prueba consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento  $X_i^j$  de la serie  $j$ , para  $i = 1, 2, \dots, n_j$ , con respecto a su valor medio  $\bar{X}^j$ . 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  $C$ . Cada año, excepto el primero, definirán una secuencia o un cambio.

La serie se considera homogénea si se cumple

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

## 2.4 Prueba estadística t de Student

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

Si se considera una serie  $X_i^j$  para  $i = 1, 2, \dots, n_j$ , del sitio j, la cual se divide en dos conjuntos de tamaño  $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$ , entonces, el estadístico de la prueba se define con la expresión

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[ \frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde

$\bar{x}_1, s_1^2$  son la media y varianza de la primera parte del registro de tamaño  $n_1$

$\bar{x}_2, s_2^2$  son la media y 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  $\alpha = 0.05$ .

Si y solo si, el valor absoluto de  $t_d$  es mayor que el de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto, la serie  $X_i^j$  se considera no homogénea.

## 2.5 Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro  $X_i^j$  de la serie j para  $i = 1, 2, \dots, n_j$ , y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período 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  $n_{30}$  (30% de los últimos valores de la muestra  $n_j$ ).

La prueba compara el valor de  $\bar{X}^j$  del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos  $\bar{X}_{60}^j$  y  $\bar{X}_{30}^j$ . 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.

$$\bar{X}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{X_i^j}{n_j}, \text{ para una sola muestra analizada } j = 1$$

$$S_X^j = \left[ \frac{1}{(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_j} (X_i^j - \bar{X}^j)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{X}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{X_k^j}{n_{60}}$$

$$\bar{X}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{X_k^j}{n_{30}}$$

$$\tau_{60}^j = \frac{X_{60}^j - \bar{X}^j}{S_X^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{\bar{X}_{30}^j - \bar{X}^j}{S_X^j}$$

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

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

Si y solo si, el absoluto de  $t_w^j$ , 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 lo tanto la serie  $X_i^j$  se considera no homogénea.

## 2.6 Prueba estadística de las secuencias

Esta prueba es bastante común y muy sensitiva; en ella, se deben contar el número de secuencias (u) que se encuentran por arriba o debajo de la mediana de la serie. El valor de la mediana se obtiene ordenando los datos con respecto a su magnitud y seleccionando el valor central en el caso de que n sea impar, o bien, la media aritmética de los dos valores centrales en caso de que n sea par. En caso de que un valor de la serie sea mayor que la mediana se le asigna una A; en caso contrario la letra correspondiente es B; finalmente, se encuentran las sucesiones de A o B (Aranda, 1983).

La serie es homogénea si el número de secuencias se encuentra en el rango marcado en la siguiente tabla:

Número de datos	Rango de u
12	5 a 8
14	5 a 10
16	6 a 11
18	7 a 12
20	8 a 13
22	9 a 14
24	9 a 16
26	10 a 17
28	11 a 18
30	12 a 19
32	13 a 20
34	14 a 21
36	15 a 22
38	16 a 23
40	16 a 25
50	22 a 30
60	26 a 36
70	31 a 41
80	35 a 47
100	45 a 57

## 2.7 Prueba de independencia de eventos

Para que se pueda llevar a cabo el análisis de frecuencias se requiere que la muestra  $X_i^j$  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 cociente de auto-correlación 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 auto-correlación serial de retraso  $k$  es:

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (X_i^j - \bar{X}^j)(X_{i+k}^j - \bar{X}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (X_i^j - \bar{X}^j)^2} ; \text{ para } r_0^j = 1 \text{ y } k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3}$$

Donde

$$\bar{X}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{X_i^j}{n_j}$$

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

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

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

## 2.8 Análisis de frecuencias de lluvias máximas anuales

El análisis de frecuencias de las lluvias máximas anuales se emplea para proveer la magnitud de un evento  $\hat{X}_T$ , de cierto período de retorno  $\hat{T}_T$ , por medio del ajuste de una distribución de probabilidad, la cual es seleccionada como la mejor entre un grupo de ellas (Escalante, 2002).

Para asignar los periodos de retorno a una serie de datos, es recomendable utilizar la siguiente expresión:

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Donde

$m$  = número de orden de los datos, en una lista de mayor a menor

$n$  = número de datos

El procedimiento de cálculo de un análisis de frecuencias, tiene los siguientes pasos:

1. Conformación de una serie histórica de lluvias máximas anuales. En este punto se debe verificar la calidad y cantidad de la información.
2. Verificar la homogeneidad de la serie mediante las pruebas de Helmer, t de Student, Cramer y de las secuencias.

3. Obtener los estadísticos muestrales de la serie X: media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis, estimación de la esperanza matemática y varianza; para estudios de probabilidad.
4. Verificar con la prueba de Anderson la independencia de eventos de la serie X.
5. Ordenar la serie máxima anual X de mayor a menor, asignarle un período de retorno  $\hat{T}_r$  y una probabilidad de no excedencia.
6. A la serie X, se le ajustan diferentes distribuciones de probabilidad para el análisis de máximos y se selecciona la que proporcione el mínimo error estándar de ajuste.
7. Determinación de las lluvias máximas para varios niveles de probabilidad o frecuencia, con esto, es posible calcular los eventos  $\hat{X}_T$  para los períodos de retorno requeridos.

### **CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS EN 60 ESTACIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA**

La necesidad de conocer con detalle sobre la distribución de la precipitación en la República Mexicana y sus posibles cambios en el tiempo y espacio, motivó a realizar una investigación que permita identificar las zonas que tienen características similares en sus eventos extremos de las áreas que presentan contrastes climáticos, para esto, es muy importante tomar en cuenta la importancia de los datos observados y registrados, tanto en 1 hora como en 24 horas, ya que por este medio, se distinguen las diferencias en las precipitaciones de las distintas regiones.

Por lo anterior, se realizó un análisis de frecuencias en 60 estaciones de la República Mexicana, para que posteriormente en el capítulo siguiente, pueda determinarse la aplicabilidad de un criterio empírico que permite el cálculo de lluvias con duraciones que varían desde 5 minutos hasta 24 horas, a partir de registros de lluvias de 24 horas (pluviométricas).

Cabe hacer notar que existe gran escasez de información de precipitación, principalmente de pluviógrafos que tienen grandes periodos sin operación, el registro esta extraviado o la gráfica es defectuosa, por lo cual, no puede utilizarse. Este hecho, originó que no se pudiera efectuar una verdadera selección de las tormentas más severas que han ocurrido en cada región; sin embargo, las tormentas seleccionadas cumplen en forma general con las características requeridas para su análisis. En el caso de la información pluviométrica, aunque en menor escala, sucede lo mismo. Es por ello, que la información pluviográfica, es la que prácticamente dominó en la selección de estaciones y por ende, no se pudo disponer de otras estaciones que cuentan con bastante información pluviométrica.

### 3.1 Recopilación de la información

Como se ha mencionado anteriormente, se realizó una selección de estaciones climatológicas, a partir de las existentes en la República Mexicana, por lo que, dicha selección se llevó a cabo tomando en cuenta aquellas estaciones que tienen disponibilidad de información pluviométrica y pluviográfica, con registros en períodos comunes, iguales o mayores a 15 años consecutivos, en ambos casos; con la finalidad de tener una relación significativa entre las lluvias de 1 y 24 horas, además de tener una longitud de registros que permita aplicar a estos datos un análisis de frecuencias con diferentes distribuciones de probabilidad.

La primera información sobre las lluvias máximas con duración de una hora, se obtuvo de datos proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Mendoza, 2001). Una vez identificadas las estaciones climatológicas de control con registros iguales o mayores a 15 años consecutivos, se procedió a obtener los registros de lluvias máximas correspondientes con duraciones de 24 horas, a partir de la base de datos "ERIC" (Extractor Rápido de Información Climatológica) editado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Se corroboró la calidad de estos últimos y se tomó como registros definitivos, los datos extraídos, a través, de la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, mediante el sistema de Climatología Comparada (CLICOM) consistente en las "lluvias diarias" de las estaciones deseadas para un periodo de registro requerido, pero que a diferencia del "ERIC", presenta la opción de poder ordenar de acuerdo con su magnitud (o fecha) las lluvias que se han presentado en una determinada estación.

En la tabla 1, se muestran las estaciones pluviométricas y pluviográficas que finalmente se utilizaron, con una descripción que contempla: la clave (CLICOM) correspondiente a cada una de ellas, el estado al que pertenecen, la ubicación geográfica, los períodos de registro de lluvias máximas tanto en 1 hora como en 24 horas y el número de años que contiene el registro; este último, no necesariamente es el total de los registros en la estación, sino que, se refiere al número de datos consecutivos que se adoptaron para el presente trabajo. Es necesario aclarar, que los datos no necesariamente deben ser consecutivos, es decir, son válidos todos aquellos eventos registrados en la estación.

La información completa de los datos registrados, depurados y completados para las estaciones utilizadas, con duraciones de 1 y 24 horas, se presenta en el "apéndice A", donde se proporciona el valor de las magnitudes de las lluvias máximas anuales, año en el que se registraron, nombre de la estación y estado al que corresponden.

Como se dijo en el Capítulo 1, sólo la mitad de los estados de la República Mexicana cuentan con una red mínima aceptable, así que, de acuerdo con la información recabada en la tabla 1 para las 60 estaciones de los 16 estados incluidos en el estudio, se procedió a elaborar un análisis de frecuencias en cada una de ellas.

Tabla 1 Descripción de las estaciones pluviométricas y pluviográficas analizadas

CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	UBICACIÓN			PERIODO DE REGISTRO		AÑOS REGISTRADOS	
		ESTADO	LONGITUD	LATITUD	1 hr	24 hr	1 hr	24 hr
C01030	Aguascalientes	AGS	102° 18'	21° 53'	1968-1983	1948-1997	16	50
C03058	San Pedro	BCS	110° 15'	23° 55'	1962-1976	1948-1998	15	51
C07018	Cacahuatan	CHIS	92° 10'	14° 59'	1954-1971	1944-1982	18	39
C07077	Huixtla	CHIS	92° 28'	15° 08'	1963-1982	1955-1995	20	41
C07084	Jesús	CHIS	93° 20'	15° 46'	1965-1983	1964-1983	19	20
C07121	Nueva Esperanza	CHIS	90° 42'	16° 37'	1964-1982	1960-1993	19	34
C07129	Pijijiapan	CHIS	93° 13'	15° 41'	1964-1979	1959-1999	16	41
C07191	Presa Malpaso	CHIS	93° 35'	17° 10'	1959-1977	1961-1999	19	39
C07147	San Joaquín	CHIS	93° 03'	17° 35'	1962-1979	1962-1985	18	24
C07200	Tapachula	CHIS	92° 16'	14° 55'	1953-1982	1952-1998	30	47
C10021	El Palmito	DGO	105° 01'	25° 36'	1941-1982	1940-1997	42	58
C10047	Narciso Mendoza	DGO	103° 57'	24° 01'	1967-1982	1964-1997	16	34
C10058	Pueblo Nuevo	DGO	105° 22'	23° 23'	1967-1981	1965-1985	15	21
C12019	Ciudad Altamirano	GRO	100° 40'	18° 21'	1962-1980	1956-1998	19	43
C13006	Ciudad Sahugún	HGO	98° 34'	19° 46'	1962-1983	1961-1992	22	32
C13028	San Miguel Allende	HGO	98° 34'	20° 14'	1967-1983	1961-1986	17	26
C13033	Singuilucan	HGO	98° 31'	19° 38'	1965-1982	1961-1987	18	27
C15170	Chapingo	MEX	98° 53'	19° 30'	1959-1995	1961-1988	37	28
C15034	Ixtapan de la Sal	MEX	99° 40'	18° 50'	1968-1983	1963-1986	16	24
C15073	Presa de Guadalupe	MEX	99° 15'	19° 38'	1959-1995	1961-1988	37	28
C16024	Corrales	MICH	101° 52'	20° 12'	1965-1981	1942-1986	17	45
C16129	Tepuxtepec	MICH	100° 14'	20° 00'	1962-1980	1947-1985	19	39
C16141	Yurecuaro	MICH	102° 17'	20° 21'	1962-1981	1940-1987	20	48
C18032	San Pedro	NAY	105° 09'	21° 57'	1962-1982	1946-1990	21	45
C20042	Jacatepec	OAX	96° 12'	17° 52'	1959-1977	1953-1999	19	47
C20046	Jayacatlán	OAX	96° 50'	17° 25'	1957-1977	1955-1980	21	26
C20055	La Estrella	OAX	96° 27'	17° 58'	1957-1977	1953-1984	21	32
C20072	Monte Rosa	OAX	95° 56'	17° 48'	1956-1973	1955-1988	18	34
C20084	Papaloapan	OAX	96° 05'	18° 09'	1948-1977	1949-1979	30	31
C20124	San Pedro Nolasco	OAX	96° 25'	17° 18'	1958-1977	1961-1979	20	19
C20177	Villa Alta	OAX	96° 09'	17° 21'	1957-1977	1950-1985	21	36
C21016	Balcón del Diablo	PUE	98° 06'	18° 55'	1962-1983	1949-1996	22	48
C21019	Caltepec	PUE	97° 28'	18° 11'	1957-1977	1955-1984	21	30
C24014	Damián Carmona	SLP	99° 17'	22° 06'	1961-1979	1961-1997	19	37
C24036	Las Adjuntas	SLP	98° 33'	21° 58'	1962-1979	1961-1997	18	37
C24045	Nogal Oscuro	SLP	100° 11'	22° 02'	1968-1983	1966-1997	16	32
C24092	Tierra Blanca	SLP	98° 53'	21° 14'	1962-1979	1961-1997	18	37
C27008	Cárdenas	TAB	93° 22'	18° 01'	1959-1983	1955-1999	25	45
C27020	Jalpa de Méndez	TAB	93° 03'	18° 12'	1962-1977	1958-1999	16	42
C27037	Pueblo Nuevo	TAB	92° 54'	17° 50'	1951-1979	1948-1998	29	51
C27044	Teapa	TAB	92° 58'	17° 33'	1962-1983	1960-1997	22	38
C27054	Villahermosa	TAB	92° 57'	17° 59'	1948-1984	1948-1997	37	50
C28002	Ahualulco	TAMS	99° 07'	22° 57'	1951-1983	1961-1999	33	39
C28028	El Barretal	TAMS	99° 07'	24° 05'	1968-1983	1961-2000	16	40
C28020	La Corona	TAMS	98° 57'	23° 56'	1958-1983	1961-1997	26	37
C28050	La Soñadora II	TAMS	98° 41'	23° 57'	1962-1983	1961-1998	22	38
C28057	Magütsatzin	TAMS	98° 42'	22° 48'	1962-1983	1964-1989	22	26
C28069	Ocampo	TAMS	99° 20'	22° 51'	1961-1978	1961-1983	23	28
C28070	Padilla	TAMS	99° 46'	23° 59'	1946-1983	1961-1998	38	38
C28084	San Carlos	TAMS	98° 56'	24° 34'	1965-1983	1961-1998	19	38
C28086	San Fernando	TAMS	98° 09'	24° 51'	1939-1982	1961-1997	44	37
C28114	Tula	TAMS	99° 43'	22° 59'	1965-1983	1961-1989	19	29
C30001	Acayucan	VER	94° 54'	17° 56'	1948-1977	1961-1980	30	20
C30008	Altotonga	VER	97° 14'	19° 46'	1965-1982	1961-1991	18	31
C30035	Cuatotolapan	VER	95° 18'	18° 08'	1948-1977	1961-1997	30	37
C30056	El Tejar	VER	96° 09'	19° 04'	1962-1983	1961-1997	22	37
C30193	José Cardel	VER	96° 20'	19° 24'	1960-1983	1961-1997	24	37
C30158	Santa Rosa	VER	96° 28'	19° 28'	1959-1983	1961-1999	25	29
C30176	Tempoal	VER	98° 24'	21° 32'	1962-1979	1961-1984	18	24
C32006	Cazadero	ZAC	103° 03'	23° 41'	1963-1983	1963-1985	21	23

### 3.2 Secuencia de análisis

El análisis, se realizó de acuerdo a los pasos que se indican en el Capítulo 2, es por ello que, una vez que se obtuvo la información se procedió a verificar si resulto confiable la calidad de las muestras; para lo cual, se hizo una revisión de puntos extraños con el objeto de verificar si existen valores muy grandes en las muestras de datos, que probablemente pudieron haber sido ocasionados por un evento meteorológico o que son causa de errores accidentales que se pueden deber al observador o bien, al transcribir o copiar los registros. Para cumplir con este requisito, en los casos existentes, se revisaron estaciones cercanas que se encuentran en la misma cuenca, cuencas vecinas o en la región vecina.

De igual manera se realizaron pruebas de homogeneidad e independencia de las series; siendo las primeras para verificar si las series de datos pertenecen o no a una sola población y las segundas, con el fin de comprobar si realmente las muestras son o no variables aleatorias, ya que de no serlo, serían variables predecibles en las cuales no se aplican las teorías en las que se basan la probabilidad y estadística.

Generalmente la falta de homogeneidad de una serie hidrológica es inducida por actividades humanas como la deforestación, aperturas de nuevas áreas de cultivo, construcción de embalses, reforestación, cambios de uso de suelo, cambios en el tipo de vegetación, etc.; además, también pueden ser ocasionadas por errores accidentales del observador y al transmitir o copiar registros. Para demostrar si las modificaciones en la tendencia de la serie son significativas desde el punto de vista estadístico se realizaron cuatro diferentes pruebas. Por otra parte, el que una serie de tiempo sea independiente indica que la precipitación de un año determinado no depende de la precipitación que se presentó en años anteriores. Para analizar la independencia de los registros de las series, se realizó la prueba de Anderson o Correlograma.

Con la finalidad de hacer más fáciles, rápidos y prácticos los cálculos matemáticos que intervienen en cada una de las pruebas de homogeneidad e independencia, se elaboraron tres programas utilizando el paquete de software denominado Mathcad y se desarrollaron dos pruebas en una hoja de cálculo de Excel; de los cuales, se presenta un ejemplo a continuación, en el que se indica el nombre de la estación como título y la prueba o pruebas realizadas, para las precipitaciones con duración de 1 ó 24 horas.

## ESTACIÓN CACAHUATAN, CHIAPAS

Pruebas estadísticas de homogeneidad

No.	Año	hp (mm)	Prueba de Helmert	P. de Secuencias
1	1954	47.50	-	B
2	1955	100.35	+	C
3	1956	64.00	-	C
4	1957	68.00	-	S
5	1958	73.53	-	S
6	1959	97.38	+	C
7	1960	75.50	+	S
8	1961	72.63	-	C
9	1962	78.50	+	C
10	1963	85.00	+	S
11	1964	95.00	+	S
12	1965	70.00	-	C
13	1966	80.00	+	C
14	1967	66.25	-	C
15	1968	59.90	-	S
16	1969	80.00	+	C
17	1970	73.60	-	C
18	1971	61.18	-	S

hp de 1 hr

### Prueba estadística de Helmert

$$(n-1)^{1/2} \leq S-C \leq (n-1)^{1/2}$$

media: 74.91

n= 18      datos

S= 7

C= 10      S-C = -3

$$(n-1)^{1/2} = 4$$

Prueba de Helmert, la serie se considera homogénea

### Prueba de las secuencias

mediana= 73.57

n= 18

u= 11

De acuerdo con la tabla, el rango de "u" varía de 7 12

Como sí se encuentra dentro del rango, la serie se considera homogénea

## ESTACIÓN CACAHUATAN, CHIAPAS

### Pruebas estadísticas de homogeneidad

No.	Año	hp (mm)	Prueba de Helmert	P. de Secuencias
1	1944	200.00	+	A
2	1945	170.00	+	S
3	1946	157.00	-	C
4	1947	158.00	-	S
5	1948	122.00	-	S
6	1949	227.00	+	C
7	1950	160.00	-	C
8	1951	122.50	-	S
9	1952	165.00	+	C
10	1953	285.60	+	S
11	1954	160.80	-	C
12	1955	136.80	-	S
13	1956	123.70	-	S
14	1957	122.90	-	S
15	1958	120.90	-	S
16	1959	225.80	+	C
17	1960	149.40	-	C
18	1961	190.00	+	C
19	1962	142.50	-	C
20	1963	230.00	+	C
21	1964	265.00	+	S
22	1965	141.00	-	C
23	1966	118.00	-	S
24	1967	141.00	-	S
25	1968	138.00	-	S
26	1969	183.00	+	C
27	1970	126.00	-	C
28	1971	164.50	-	S
29	1972	160.80	-	S
30	1973	180.00	+	C
31	1974	200.00	+	S
32	1975	158.50	-	C
33	1976	157.00	-	S
34	1977	160.00	-	S
35	1978	124.00	-	S
36	1979	222.00	+	C
37	1980	84.10	-	C
38	1981	142.80	-	S
39	1982	180.40	+	C

hp de 24 hr

**Prueba estadística de Helmert**

$$(n-1)^{1/2} \leq S-C \leq (n-1)^{1/2}$$

media: 164.51

n= 39      datos

S= 20

C= 18      S-C = 2

$$(n-1)^{1/2} = 6$$

Prueba de Helmert, la serie se considera homogénea

**Prueba de las secuencias**

mediana= 158.50

n= 39

u= 21

De acuerdo con la tabla, el rango de "u" varía de 16 23

Como si se encuentra dentro del rango, la serie se considera homogénea

Prueba estadística de Cramer, para la estación Cacahuatan, Chiapas

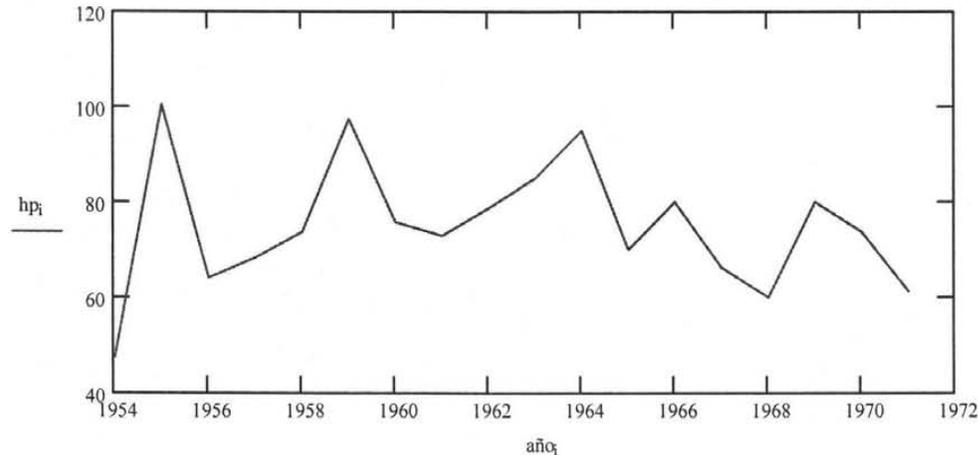
n := 18

i := 1..n

hp de 1 hr

hp<sub>i</sub> := READ(hp)

año<sub>i</sub> := 1954 + i - 1



$$n60\% := n \cdot .6$$

$$n60\% = 10.8$$

$$n30\% := n \cdot .3$$

$$n30\% = 5.4$$

$$h60 := \text{if}(n60\% = \text{trunc}(n60\%), n60\%, \text{trunc}(n60\% + 1))$$

$$h60 = 11$$

$$h30 := \text{if}(n30\% = \text{trunc}(n30\%), n30\%, \text{trunc}(n30\% + 1))$$

$$h30 = 6$$

$$n60 := n - h60 + 1$$

$$n60 = 8$$

$$n30 := n - h30 + 1$$

$$n30 = 13$$

$$m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n hp_i \quad \text{media del registro total}$$

$$m60 := \frac{1}{h60} \cdot \sum_{i=n60}^n hp_i$$

$$m30 := \frac{1}{h30} \cdot \sum_{i=n30}^n hp_i$$

$$s := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (hp_i - m)^2} \quad \text{desviación estándar del registro total}$$

$$s = 13.639$$

$$m60 = 74.733$$

$$m = 74.907$$

$$m30 = 70.155$$

$$v := h60 + h30 - 2$$

$$v = 15 \quad \text{grados de libertad}$$

$$\tau60 := \frac{(m60 - m)}{s}$$

$$\tau60 = -0.013$$

$$\tau30 := \frac{(m30 - m)}{s}$$

$$\tau30 = -0.348$$

$$t60 := \left[ \frac{n60 \cdot (n-2)}{n - n60 \cdot (1 + \tau60^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot |\tau60| \quad |t60| = 0.046$$

$$t30 := \left[ \frac{n30 \cdot (n-2)}{n - n30 \cdot (1 + \tau30^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot |\tau30| \quad |t30| = 2.716 \quad \text{con } v = 15, \text{ de tablas } tc := 2.131$$

aunque t30 es mayor que tc, t60 es menor que tc; por lo tanto la serie se considera homogénea

**Prueba estadística de Cramer, para la estación Cacahuatan, Chiapas**

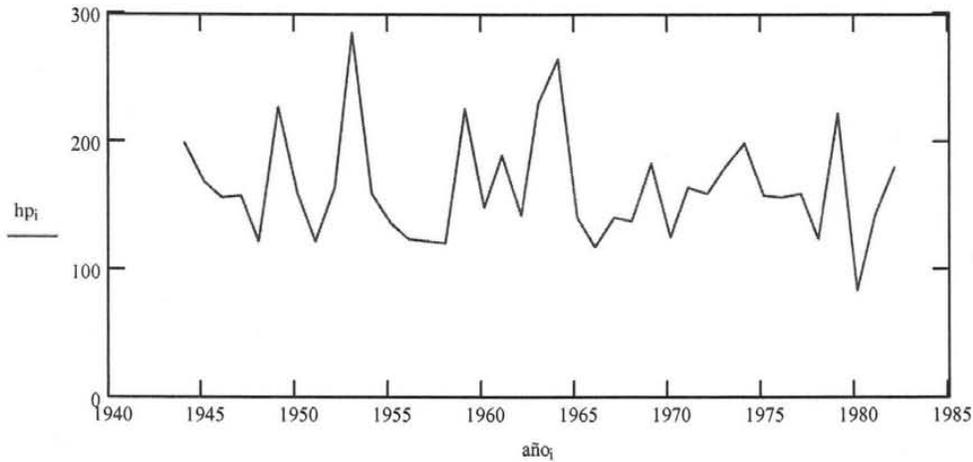
$n := 39$

$i := 1..n$

**hp de 24 hr**

$hp_i := \text{READ}(hp)$

$\text{año}_i := 1944 + i - 1$



$n60\% := n \cdot .6$

$n60\% = 23.4$

$n30\% := n \cdot .3$

$n30\% = 11.7$

$h60 := \text{if}(n60\% = \text{trunc}(n60\%), n60\%, \text{trunc}(n60\% + 1))$

$h60 = 24$

$h30 := \text{if}(n30\% = \text{trunc}(n30\%), n30\%, \text{trunc}(n30\% + 1))$

$h30 = 12$

$n60 := n - h60 + 1$

$n60 = 16$

$n30 := n - h30 + 1$

$n30 = 28$

$m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n hp_i$  media del registro total

$m60 := \frac{1}{h60} \cdot \sum_{i=n60}^n hp_i$

$m30 := \frac{1}{h30} \cdot \sum_{i=n30}^n hp_i$

$s := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (hp_i - m)^2}$  desviación estándar del registro total

$s = 42.517$

$m60 = 165.992$

$m = 164.513$

$m30 = 161.175$

$v := h60 + h30 - 2$

$v = 34$  grados de libertad

$\tau60 := \frac{(m60 - m)}{s}$

$\tau60 = 0.035$

$\tau30 := \frac{(m30 - m)}{s}$

$\tau30 = -0.079$

$t60 := \left[ \frac{n60 \cdot (n-2)}{n - n60 \cdot (1 + \tau60^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot |\tau60|$   $|t60| = 0.177$

$t30 := \left[ \frac{n30 \cdot (n-2)}{n - n30 \cdot (1 + \tau30^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot |\tau30|$   $|t30| = 0.768$  con  $v = 34$ , de tablas  $t_c := 2.031$

$t30$  y  $t60$  son menores que  $t_c$ ; por lo tanto la serie se considera homogénea

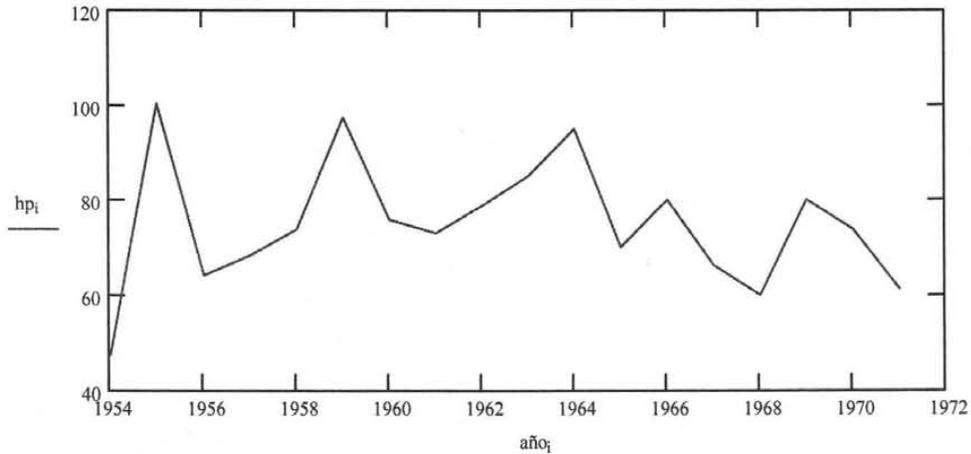
**Prueba estadística t de Student, para la estación Cacahuatan, Chiapas**

$$n := 18 \quad i := 1..n$$

**hp de 1 hr**

$$hp_i := \text{READ}(hp)$$

$$\text{año}_i := 1954 + i - 1$$



$$n1 := 1990 - 1982 + 1$$

$$n1 = 9$$

$$n2 := 1999 - 1991 + 1$$

$$n2 = 9$$

$$m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n hp_i \quad \text{media del registro total}$$

$$m2 := \frac{1}{n2} \cdot \sum_{i=n1+1}^n hp_i$$

$$m1 := \frac{1}{n1} \cdot \sum_{i=1}^{n1} hp_i$$

$$s := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (hp_i - m)^2} \quad \text{desviación estándar del registro total.}$$

$$s = 13.639$$

$$m1 = 75.266$$

$$m2 = 74.548$$

$$s1 := \sqrt{\frac{1}{n1-1} \cdot \sum_{i=1}^{n1} (hp_i - m1)^2}$$

$$s2 := \sqrt{\frac{1}{n2-1} \cdot \sum_{i=n1+1}^n (hp_i - m2)^2}$$

$$m = 74.907$$

$$s1 = 16.161$$

$$s2 = 11.569$$

$$v := n - 2 \quad \text{grados de libertad}$$

$$v = 16$$

$$td := \left[ \frac{m1 - m2}{\left[ \frac{n1 \cdot s1^2 + n2 \cdot s2^2}{n1 + n2 - 2} \cdot \left( \frac{1}{n1} + \frac{1}{n2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$|td| = 0.102 \quad \text{con } v = 16, \quad \text{de tablas } tc = 2.120$$

por lo tanto tc es mayor que td y la serie se considera homogénea

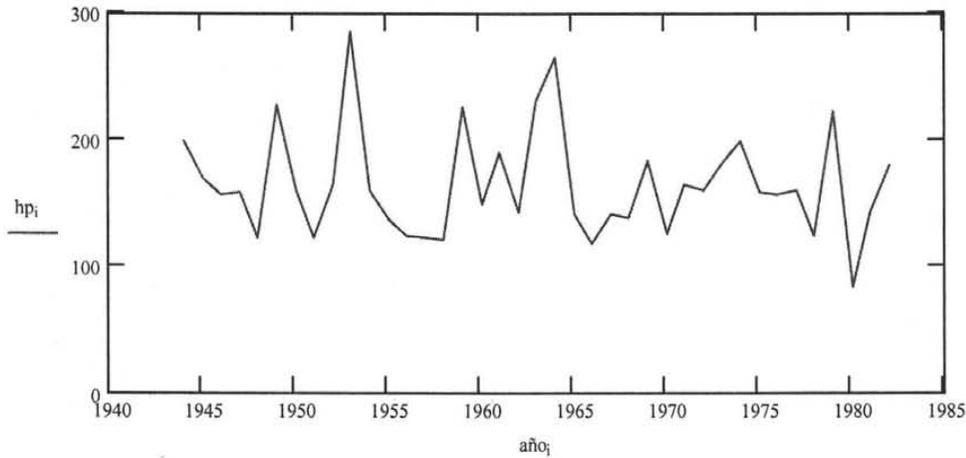
**Prueba estadística t de Student, para la estación Cacahuatan, Chiapas**

$n := 39$        $i := 1..n$

**hp de 24 hr**

$hp_i := \text{READ}(hp)$

$\text{año}_i := 1944 + i - 1$



$n1 := 1990 - 1982 + 1$        $n1 = 9$        $n2 := 1999 - 1991 + 1$        $n2 = 9$

$m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n hp_i$       media del registro total       $m2 := \frac{1}{n2} \cdot \sum_{i=n1+1}^n hp_i$        $m1 := \frac{1}{n1} \cdot \sum_{i=1}^{n1} hp_i$

$s := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (hp_i - m)^2}$       desviación estándar del registro total.       $s = 42.517$        $m1 = 164.611$   
 $m2 = 548.278$

$s1 := \sqrt{\frac{1}{n1-1} \cdot \sum_{i=1}^{n1} (hp_i - m1)^2}$        $s2 := \sqrt{\frac{1}{n2-1} \cdot \sum_{i=n1+1}^n (hp_i - m2)^2}$        $m = 164.513$   
 $s1 = 33.328$

$v := n - 2$       grados de libertad       $s2 = 748.227$   
 $v = 37$

$td := \left[ \frac{m1 - m2}{\left[ \frac{n1 \cdot s1^2 + n2 \cdot s2^2}{n1 + n2 - 2} \cdot \left( \frac{1}{n1} + \frac{1}{n2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \right]$        $|td| = 1.449$       con  $v = 37$ , de tablas  $tc = 2.025$   
 por lo tanto  $tc$  es mayor que  $td$  y la serie se considera homogénea

**Prueba de Anderson o Correlograma de la estación Cacahuatan 1hr**

$n := 18$        $i := 1..n$

año <sub>i</sub> =	hp <sub>i</sub> =
1954	47.50
1955	100.35
1956	64.00
1957	68.00
1958	73.53
1959	97.38
1960	75.50
1961	72.63
1962	78.50
1963	85.00
1964	95.00
1965	70.00
1966	80.00
1967	66.25
1968	59.90
1969	80.00
1970	73.60
1971	61.18

año<sub>i</sub> := 1954 + i - 1    hp<sub>i</sub> := READ(hp)    k := 1.. $\frac{n}{3}$

$$m := \frac{\sum_{i=1}^n hp_i}{n}$$

$m = 74.907$

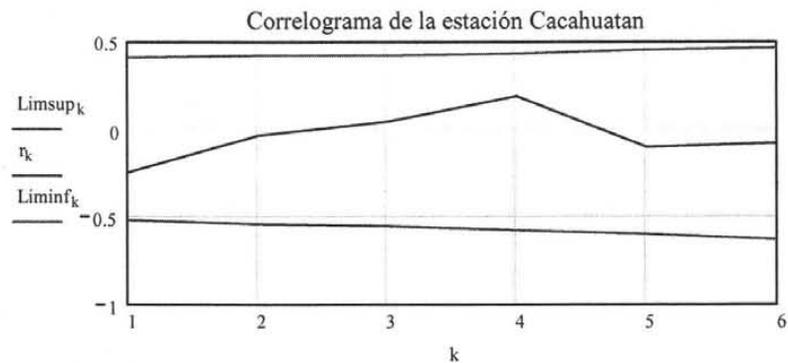
Límites de confianza

$$r_k := \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (hp_i - m) \cdot (hp_{i+k} - m)}{\sum_{i=1}^n (hp_i - m)^2}$$

$$\text{Limsup}_k := \frac{-1 + 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k}$$

$$\text{Liminf}_k := \frac{-1 - 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k}$$

k =	Limsup <sub>k</sub> =	r <sub>k</sub> =	Liminf <sub>k</sub> =
1	0.402	-0.247	-0.52
2	0.412	-0.029	-0.537
3	0.422	0.04	-0.556
4	0.433	0.184	-0.576
5	0.445	-0.102	-0.599
6	0.458	-0.082	-0.625



Los datos de la estación se consideran INDEPENDIENTES, ya que menos del 10% de los puntos se encuentran fuera de los límites de confianza.

**Prueba de Anderson o Correlograma de la estación Cacahuatan 24hr**

$n := 39$   $i := 1..n$

año <sub>i</sub> =	hp <sub>i</sub> =
1944	200.00
1945	170.00
1946	157.00
1947	158.00
1948	122.00
1949	227.00
1950	160.00
1951	122.50
1952	165.00
1953	285.60
1954	160.80
1955	136.80
1956	123.70
1957	122.90
1958	120.90
1959	225.80

año<sub>i</sub> := 1944 + i - 1    hp<sub>i</sub> := READ(hp)    k := 1.. $\frac{n}{3}$

$$m := \frac{\sum_{i=1}^n hp_i}{n}$$

m = 164.513

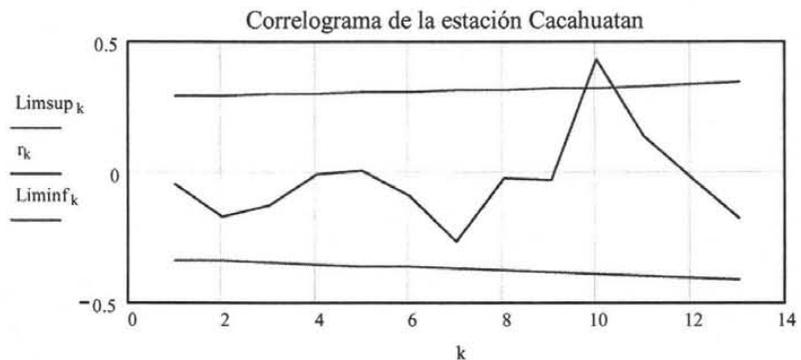
Límites de confianza

$$r_k := \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (hp_i - m) \cdot (hp_{i+k} - m)}{\sum_{i=1}^n (hp_i - m)^2}$$

$$\text{Limsup}_k := \frac{-1 + 1.96 \cdot \sqrt{n - k - 1}}{n - k}$$

$$\text{Liminf}_k := \frac{-1 - 1.96 \cdot \sqrt{n - k - 1}}{n - k}$$

k =	Limsup <sub>k</sub> =	r <sub>k</sub> =	Liminf <sub>k</sub> =
1	0.287	-0.045	-0.34
2	0.291	-0.176	-0.345
3	0.294	-0.131	-0.35
4	0.298	-0.013	-0.355
5	0.302	0.005	-0.361
6	0.306	-0.094	-0.366
7	0.31	-0.27	-0.372
8	0.314	-0.027	-0.379
9	0.318	-0.03	-0.385
10	0.323	0.427	-0.392
11	0.328	0.139	-0.399
12	0.333	-0.027	-0.407
13	0.338	-0.18	-0.415



Los datos de la estación se consideran INDEPENDIENTES, ya que menos del 10% de los puntos se encuentran fuera de los límites de confianza.

En el ejemplo anterior, se aplicaron las pruebas de homogeneidad e independencia a las series de datos de lluvias máximas anuales registradas, para las duraciones de 1 y 24 horas, en la estación Cacahuatan.

Las primeras dos pruebas que se realizaron, correspondientes a la prueba de Helmer y la prueba de las Secuencias (hoja de cálculo), muestran los años de registro con sus respectivas alturas de precipitación (en mm), y una vez aplicado el método, se indica si la serie se considera homogénea o no homogénea.

En los casos de la prueba de Cramer y la t de Student (programas en Mathcad), aunque no se muestran los datos (que son los mismos utilizados en las pruebas anteriores por pertenecer a la misma estación) el programa los adquirió de un archivo almacenado y los dibujó en una gráfica, misma que relaciona los años de registro con sus respectivas alturas de precipitación (en mm), permitiendo observar en una forma práctica la tendencia de las series de datos históricos y ver si se presentaron cambios bruscos o no, en la media; después de haber aplicado el método correspondiente, se indica si la serie se considera homogénea o no homogénea.

Por último la prueba de Anderson o Correlograma (programa elaborado en Mathcad), muestra los años de registro con sus respectivas alturas de precipitación (en mm), y una vez aplicado el método, se indica si los datos de la serie se consideran independientes o dependientes.

Como comentario adicional, puede decirse que si una serie resulta considerada no homogénea o dependiente, se le deberán realizar ajustes o correcciones para volverla homogénea o independiente, según sea el caso, de manera que las estimaciones estadísticas muestrales sean válidas estimaciones de los parámetros poblacionales (Campos, 1983).

En las tablas 2 y 3, se muestran los resultados finales obtenidos a partir de las pruebas de homogeneidad e independencia aplicadas a las 60 estaciones seleccionadas, tanto para las series de lluvias máximas en una hora como para las series de lluvias máximas en 24 horas; por lo que, en base a las consideraciones que resultan de las pruebas, se adquiere un cierto nivel de confianza en la calidad de los datos.

Por lo que se puede observar en dichas tablas, la mayoría de las series de datos registrados en las estaciones cumplen con las pruebas de homogeneidad e independencia, con la excepción de dos estaciones que se encuentran en la tabla 2 referente a las lluvias correspondientes a una hora, las cuales resultaron ser dependientes, mismas que a su vez, después de haber realizado un ajuste en los datos, cumplen con la característica de ser independientes.

Tabla 2 Pruebas de homogeneidad e independencia para cada una de las estaciones con lluvias correspondientes a 1 hr

ESTACIÓN	ESTADO	PERÍODO DE REGISTRO	AÑOS DE REGISTRO	PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE HOMOGENEIDAD						P. DE INDEPENDENCIA
				P. de Helmer	P. de secuencias	P. de Cramer	P. T de Student	P. de Anderson		
Agascalientes	AGS	1968-1983	16	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Pedro	BCS	1962-1976	15	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Cacahuatan	CHIS	1954-1971	18	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Huixtla	CHIS	1963-1982	20	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Jesús	CHIS	1965-1983	19	No homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Independientes	
Nueva Esperanza	CHIS	1964-1982	19	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Pijijiapan	CHIS	1964-1979	16	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Presa Malpaso	CHIS	1959-1977	19	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Joaquin	CHIS	1962-1979	18	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Tapachula	CHIS	1953-1982	30	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
El Palmito	DGO	1941-1982	42	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Narciso Mendoza	DGO	1967-1982	16	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Pueblo Nuevo	DGO	1967-1981	15	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Ciudad Altamirano	GRO	1962-1980	19	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Ciudad Sahugun	HGO	1962-1983	22	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Independientes	
San Miguel Allende	HGO	1967-1983	17	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Singuilucan	HGO	1965-1982	18	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Chapingo	MEX	1959-1995	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Ixtapan de la Sal	MEX	1968-1983	16	Homogénea	No homogénea	Homogénea	No homogénea	No homogénea	Independientes	
Presa de Guadalupe	MEX	1959-1995	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Corrales	MICH	1965-1981	17	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Tepuxtepec	MICH	1962-1980	19	Homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Dependientes	
Yurecuaro	MICH	1962-1981	20	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Pedro	NAY	1962-1982	21	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Jacatepec	OAX	1959-1977	19	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Jayacatlán	OAX	1957-1977	21	No homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Independientes	
La Estrella	OAX	1957-1977	21	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Monte Rosa	OAX	1956-1973	18	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Papaloapan	OAX	1948-1977	30	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Pedro Nolasco	OAX	1958-1977	20	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Villa Alta	OAX	1957-1977	21	Homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Dependientes	

ESTACIÓN	ESTADO	PERÍODO DE REGISTRO	AÑOS DE REGISTRO	PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE HOMOGENEIDAD				P. DE INDEPENDENCIA
				P. de Helmer	P. de secuencias	P. de Cramer	P. T. de Student	
Balcón del Diablo	PUE	1962-1983	22	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	P. de Anderson Independientes
Caltepec	PUE	1957-1977	21	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Damián Carmona	SLP	1961-1979	19	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Las Adjuntas	SLP	1962-1979	18	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Nogal Oscuro	SLP	1968-1983	16	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Tierra Blanca	SLP	1962-1979	18	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Cárdenas	TAB	1959-1983	25	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Jalpa de Méndez	TAB	1962-1977	16	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Pueblo Nuevo	TAB	1951-1979	29	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Teapa	TAB	1962-1983	22	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Villahermosa	TAB	1948-1984	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Ahualulco	TAMS	1951-1983	33	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
El Barretal	TAMS	1968-1983	16	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
La Corona	TAMS	1958-1983	26	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
La Soñadora II	TAMS	1962-1983	22	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Magiscatzin	TAMS	1962-1983	22	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Ocampo	TAMS	1961-1978	23	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Padilla	TAMS	1946-1983	38	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
San Carlos	TAMS	1965-1983	19	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
San Fernando	TAMS	1939-1982	44	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Tula	TAMS	1965-1983	19	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Acayucan	VER	1948-1977	30	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Altotonga	VER	1965-1982	18	No homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Independientes
Cuautotlapan	VER	1948-1977	30	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
El Tejar	VER	1962-1983	22	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
José Cardel	VER	1960-1983	24	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Santa Rosa	VER	1959-1983	25	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Tempoal	VER	1962-1979	18	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Cazadero	ZAC	1963-1983	21	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes

Tabla 3 Resumen de pruebas de homogeneidad e independencia para cada una de las estaciones con lluvias correspondientes a 24 hr

ESTACIÓN	ESTADO	PERÍODO DE REGISTRO	AÑOS DE REGISTRO	PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE HOMOGENEIDAD				P. DE INDEPENDENCIA	
				P. de Helmer	P. de secuencias	P. de Cramer	P. T. de Student	P. de Anderson	
Agascalientes	AGS	1948-1997	50	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Pedro	BCS	1948-1998	51	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Cacahuatan	CHIS	1944-1982	39	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Huixtla	CHIS	1955-1995	41	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Jesús	CHIS	1964-1983	20	No homogénea	No homogénea	Homogénea	No homogénea	Independientes	
Nueva Esperanza	CHIS	1960-1993	34	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Pijijapan	CHIS	1959-1999	41	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Presa Malpaso	CHIS	1961-1999	39	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Joaquin	CHIS	1962-1985	24	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Tapachula	CHIS	1952-1998	47	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
El Palmito	DGO	1940-1997	58	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Narciso Mendoza	DGO	1964-1997	34	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Pueblo Nuevo	DGO	1965-1985	21	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Ciudad Altamirano	GRO	1956-1998	43	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Ciudad Sahagun	HGO	1961-1992	32	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Miguel Allende	HGO	1961-1986	26	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Singuilucan	HGO	1961-1987	27	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Chapingo	MEX	1961-1988	28	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Ixtapan de la Sal	MEX	1963-1986	24	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Presa de Guadalupe	MEX	1961-1988	28	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Corrales	MICH	1942-1986	45	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Tepuxtepec	MICH	1947-1985	39	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Yurecuaro	MICH	1940-1987	48	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Pedro	NAY	1946-1990	45	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Jacatepec	OAX	1953-1999	47	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Jayacatlán	OAX	1955-1980	26	Homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Independientes	
La Estrella	OAX	1953-1984	32	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Monte Rosa	OAX	1955-1988	34	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Papaloapan	OAX	1949-1979	31	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
San Pedro Nolasco	OAX	1961-1979	19	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	
Villa Alta	OAX	1950-1985	36	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes	

ESTACIÓN	ESTADO	PERÍODO DE REGISTRO	AÑOS DE REGISTRO	PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE HOMOGENEIDAD				P. DE INDEPENDENCIA
				P. de Helmer	P. de secuencias	P. de Cramer	P. T. de Student	
Balcón del Diablo	PUE	1949-1996	48	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	P. de Anderson
Caltepec	PUE	1955-1984	30	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Damián Carmona	SLP	1961-1997	37	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Las Adjuntas	SLP	1961-1997	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Nogal Oscuro	SLP	1966-1997	32	Homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Tierra Blanca	SLP	1961-1997	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Cárdenas	TAB	1955-1999	45	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Jalpa de Méndez	TAB	1958-1999	42	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Pueblo Nuevo	TAB	1948-1998	51	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Teapa	TAB	1960-1997	38	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Villahermosa	TAB	1948-1997	50	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Ahualulco	TAMS	1961-1999	39	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
El Barretal	TAMS	1961-2000	40	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
La Corona	TAMS	1961-1997	37	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
La Soñadora II	TAMS	1961-1998	38	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Magitscatzin	TAMS	1964-1989	26	Homogénea	Homogénea	Homogénea	No homogénea	Independientes
Ocampo	TAMS	1961-1983	28	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Padilla	TAMS	1961-1998	38	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
San Carlos	TAMS	1961-1998	38	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
San Fernando	TAMS	1961-1997	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Tula	TAMS	1961-1989	29	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Acayucan	VER	1961-1980	20	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Ahlotonga	VER	1961-1991	31	No homogénea	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Cuautotolapan	VER	1961-1997	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
El Tejar	VER	1961-1997	37	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
José Cardel	VER	1961-1997	37	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Santa Rosa	VER	1961-1999	29	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Tempoal	VER	1961-1984	24	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes
Cazadero	ZAC	1963-1985	23	No homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Independientes

### 3.3 Ajuste de distribuciones de probabilidad a series anuales de lluvias máximas

Para el análisis de frecuencias de la precipitación máxima en una hora (pluviográfica) y la precipitación máxima en 24 horas (pluviométrica), se utilizó el programa conocido como AX.EXE, desarrollado en el Centro Nacional para la Prevención de Desastres "CENAPRED" (Jiménez 1997), por medio del cual, se modelaron los datos registrados, con seis funciones de distribución de probabilidad: Gumbel (G), Doble Gumbel (DG), Normal (N), Gamma (GM), Log-Normal (LN) y Exponencial (EXP); con los métodos de máxima verosimilitud y de momentos de 2 y 3 parámetros. Considerando como distribución de mejor ajuste, aquella que presentó el mínimo error estándar.

Con la finalidad de cumplir con el objetivo de este estudio, no se presentaron las ecuaciones de las funciones de distribución de probabilidad, dado que, la explicación de cada una de ellas, en su conjunto, implicaría el desarrollo de otro estudio. Sin embargo, existen muchos autores que han dedicado capítulos y libros completos al desarrollo y explicación de las mismas. Para mayor información se pueden consultar las referencias que se mencionan al final del presente trabajo, en las cuales, se proporcionan y explican las ecuaciones de dichas funciones (Campos 1983, Aparicio 2001, Escalante 2002).

En la República Mexicana existen zonas que son afectadas por ciclones, en las cuales, se observa la existencia de dos tipos de lluvia con diferentes características. El primero, es desarrollado por las precipitaciones relacionadas con los fenómenos meteorológicos normales y el segundo, con las precipitaciones debidas a los ciclones que provocan generalmente avenidas con mayor intensidad que los primeros. Es por ello que, se ha considerado modelar los datos de lluvia mediante una función de distribución de tipo espacial, llamada de dos poblaciones, mezclada o mixta (Doble Gumbel).

El ajuste de distribuciones de probabilidad antes mencionado, se realizó a las series de datos de las 60 estaciones que se muestran en el apéndice A y, en las tablas 4 y 5, se puede observar el resumen de los resultados obtenidos, tanto para las duraciones de 1 hr como para las de 24 hr, respectivamente, considerando el criterio del mínimo error estándar.

A partir de las funciones que presentaron el menor error de ajuste, se realizó la determinación de las lluvias máximas anuales para 12 períodos de retorno diferentes, entre los cuales se incluyen: 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 y 200 años. Estos resultados se dan a conocer en Capítulo 4 donde se hace una comparación de los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones de distribución de probabilidad y el método empírico propuesto. No obstante, la tabla 8 permite identificar las relaciones existentes entre algunas precipitaciones como son:  $P_1^{100}/P_1^{10}$  (precipitación de 1 hr con 100 años período de retorno entre la precipitación de 1 hr con 10 años período de retorno),  $P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$ ,  $P_1^5/P_{24}^5$  (precipitación de 1 hr con 5 años período de retorno entre la precipitación de 24 hr con 5 años período de retorno),  $P_1^{10}/P_{24}^{10}$  y

Tabla 4 Distribución de probabilidad de mejor ajuste para las lluvias de 1 hr, utilizando el criterio del mínimo error estándar

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal	
		mom 2p	mxv 2p		mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p		
Aguascalientes	AGS			X										X
San Pedro	BCS													
Cacahuatan	CHIS		X											
Huixtla	CHIS	X												
Jesús	CHIS			X										
Nueva Esperanza	CHIS													X
Pijijiapan	CHIS										X			
Presa Malpaso	CHIS	X												
San Joaquin	CHIS		X											
Tapachula	CHIS		X											
El Palmito	DGO			X										
Narciso Mendoza	DGO			X										
Pueblo Nuevo	DGO													X
Ciudad Altamirano	GRO		X											
Ciudad Sahagun	HGO			X										
San Miguel Allende	HGO			X										
Singuilucan	HGO			X										
Chapingo	MEX						X							
Ixtapan de la Sal	MEX													X
Presa de Guadalupe	MEX													X
Corrales	MICH													X
Tepuxtepec	MICH			X										
Yurecuaro	MICH	X												
San Pedro	NAY												X	
Jacatepec	OAX		X											
Jayacatlán	OAX		X											
La Estrella	OAX		X											
Monte Rosa	OAX		X											
Papaloapan	OAX													X
San Pedro Nolasco	OAX													X
Villa Alta	OAX											X		

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal
		mom 2p	mxv 2p		mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mxv 2p	mxv 3p		
Balcón del Diablo	PUE										X		X
Caltepec	PUE												
Damián Carmona	SLP		X										
Las Adjuntas	SLP		X										
Nogal Oscuro	SLP										X		
Tierra Blanca	SLP												X
Cárdenas	TAB		X										
Jajpa de Méndez	TAB			X									
Pueblo Nuevo	TAB												X
Teapa	TAB		X										
Villahermosa	TAB									X			
Ahuatlulco	TAMS		X										
El Barretal	TAMS			X									
La Corona	TAMS												
La Soñadora II	TAMS		X						X				
Magütsatzin	TAMS		X										
Ocampo	TAMS												X
Padilla	TAMS		X										
San Carlos	TAMS			X									
San Fernando	TAMS						X						
Tula	TAMS			X									
Acayucan	VER						X						
Allotonga	VER		X										
Cuautotolapan	VER						X						
El Tejar	VER			X									
José Cardel	VER												X
Santa Rosa	VER												
Tempoal	VER		X										
Cazadero	ZAC		X										

Tabla 5 Distribución de probabilidad de mejor ajuste para las lluvias de 24 hr, utilizando el criterio del mínimo error estándar

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel			Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal	
		mom 2p	mxv 2p	mom 2p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mxv 2p		
Aguascalientes	AGS															
San Pedro	BCS			X												
Cacahuatan	CHIS		X													
Huixtla	CHIS															
Jesús	CHIS															
Nueva Esperanza	CHIS		X													
Pijijiapan	CHIS			X												
Presa Malpaso	CHIS															
San Joaquín	CHIS															
Tapachula	CHIS															
El Palmito	DGO	X														
Narciso Mendoza	DGO		X													
Pueblo Nuevo	DGO															
Ciudad Altamirano	GRO								X							
Ciudad Sahagún	HGO			X												
San Miguel Allende	HGO															
Singuilucan	HGO															X
Chapingo	MEX															
Ixtapan de la Sal	MEX															
Presa de Guadalupe	MEX															
Corrales	MICH	X														
Tepuxtepec	MICH															
Yurecuaro	MICH															
San Pedro	NAY															
Jacatepec	OAX		X													
Jayacatlán	OAX															
La Estrella	OAX															
Monte Rosa	OAX	X														
Papaloapan	OAX															
San Pedro Nolasco	OAX	X														
Villa Alta	OAX															

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal	
		mom 2p	mxv 2p		mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p		
Balcón del Diablo	PUE					X								
Callepec	PUE													
Damián Carmona	SLP			X										
Las Adjuntas	SLP			X										
Nogal Oscuro	SLP													
Tierra Blanca	SLP			X										
Cárdenas	TAB													
Jalpa de Méndez	TAB			X										
Pueblo Nuevo	TAB													
Teapa	TAB			X										
Villahermosa	TAB			X										
Ahuatlulco	TAMS					X								
El Barretal	TAMS													
La Corona	TAMS			X										
La Soñadora II	TAMS			X										
Magiscatzin	TAMS													X
Ocampo	TAMS			X										
Padilla	TAMS			X										
San Carlos	TAMS			X										
San Fernando	TAMS		X											
Tula	TAMS													
Acayucan	VER			X										
Altotonga	VER													
Cuaautotolapan	VER	X											X	
El Tejar	VER		X											
José Cardel	VER		X											
Santa Rosa	VER													
Tempoal	VER			X										
Cazadero	ZAC	X												

$P_1^{100}/P_{24}^{100}$ ; mismas que, al considerar el promedio general de las 60 estaciones quedan representadas de la siguiente forma:

Factor x	$P_1^{100}/P_1^{10}$	$P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$
Valor	1.35	1.43

Factor R	$P_1^5/P_{24}^5$	$P_1^{10}/P_{24}^{10}$	$P_1^{100}/P_{24}^{100}$
Valor	0.50	0.49	0.49

Por lo cual, se puede concluir que los promedios de las relaciones que existen entre las lluvias máximas de 1 y 24 horas (factor R), son iguales, independientemente del periodo de retorno.

Puesto que el autor de la ecuación empírica que se estudiará en el siguiente capítulo, ha sugerido utilizar la ecuación de distribución de probabilidad tipo Gumbel; en las tablas 6 y 7 se muestra el resumen de los resultados obtenidos, tanto para las duraciones de 1 hr como para las de 24 hr, respectivamente, considerando únicamente las distribuciones de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel.

El procedimiento Gumbel tiene una justificación teórica para describir las frecuencias de lluvia extremas. Usa la distribución Fisher-Tippet Tipo 1 derivada originalmente para los valores máximos de muestras tomadas de una población sin tomar en cuenta el límite superior. Sin embargo, el procedimiento implica varias suposiciones estadísticas que pueden ser quebrantadas por ciertos datos hidrológicos (series de datos de dos poblaciones), por ello la verdadera distribución de frecuencia en un sitio en particular no necesita seguir la distribución Gumbel o cualquier otra ecuación matemática específica (Bell, 1969).

En vista de esto, resulta interesante observar que los datos de lluvias de las series anuales analizadas parecen encajar en las distribuciones Gumbel y Doble Gumbel, según la tabla 5. La tabla 9 permite identificar las relaciones existentes entre las precipitaciones  $P_1^{100}/P_1^{10}$ ,  $P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$ ,  $P_1^5/P_{24}^5$ ,  $P_1^{10}/P_{24}^{10}$  y  $P_1^{100}/P_{24}^{100}$ ; en las cuales, al considerar el promedio general de las 60 estaciones, quedan representadas de la siguiente manera:

Factor x	$P_1^{100}/P_1^{10}$	$P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$
Valor	1.40	1.42

Factor R	$P_1^5/P_{24}^5$	$P_1^{10}/P_{24}^{10}$	$P_1^{100}/P_{24}^{100}$
Valor	0.50	0.50	0.50

De lo anterior, se puede concluir que los promedios de los cocientes en las lluvias que corresponden a la misma duración con periodos de retorno de 100 años y 10 años, son iguales; y, como ya se mencionó, los promedios de las relaciones de lluvias máximas entre 1 y 24 horas, en general, son iguales independientemente del periodo de retorno.

Al realizar una comparación entre las tablas 8 y 9, se ha encontrado que la diferencia entre los valores promedio de las relaciones de precipitación existentes, es muy pequeña y como consecuencia de esto, se puede decir una vez más, que los datos de lluvias de las series anuales analizadas encajan en las distribuciones Gumbel y Doble Gumbel.

Tabla 6 Distribución de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel para las lluvias de 1 hr

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal	
		mom 2p	mxv 2p		mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p		
Aguascalientes	AGS			X										
San Pedro	BCS	X												
Cacahuatan	CHIS		X											
Huixtla	CHIS	X												
Jesús	CHIS			X										
Nueva Esperanza	CHIS	X												
Pijijiapan	CHIS	X												
Presa Malpaso	CHIS	X												
San Joaquin	CHIS		X											
Tapachula	CHIS		X											
El Palmito	DGO			X										
Narciso Mendoza	DGO			X										
Pueblo Nuevo	DGO	X												
Ciudad Altamirano	GRO		X											
Ciudad Sahagun	HGO			X										
San Miguel Allende	HGO			X										
Singuilucan	HGO			X										
Chapingo	MEX		X											
Ixtapan de la Sal	MEX	X												
Presa de Guadalupe	MEX	X												
Corrales	MICH		X											
Tepuxtepec	MICH			X										
Yurecuaro	MICH	X												
San Pedro	NAY	X												
Jacatepec	OAX		X											
Jayacatlán	OAX		X											
La Estrella	OAX		X											
Monte Rosa	OAX		X											
Papaloapan	OAX	X												
San Pedro Nolasco	OAX	X												
Villa Alta	OAX		X											

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal
		mom 2p	mxv 2p		mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mxv 2p	mxv 3p		
Balcón del Diablo	PUE	X											
Caltepec	PUE	X											
Damián Carmona	SLP		X										
Las Adjuntas	SLP		X										
Nogal Oscuro	SLP	X											
Tierra Blanca	SLP	X											
Cárdenas	TAB		X										
Jalpa de Méndez	TAB			X									
Pueblo Nuevo	TAB	X											
Teapa	TAB		X										
Villahermosa	TAB		X										
Ahuatlulco	TAMS		X										
El Barretal	TAMS			X									
La Corona	TAMS		X										
La Soñadora II	TAMS		X										
Magiscatzin	TAMS		X										
Ocampo	TAMS	X											
Padilla	TAMS		X										
San Carlos	TAMS			X									
San Fernando	TAMS	X											
Tula	TAMS			X									
Acayucan	VER		X										
Altotonga	VER		X										
Cuautotolapan	VER		X										
El Tejar	VER			X									
José Cardel	VER	X											
Santa Rosa	VER		X										
Tempoal	VER	X											
Cazadero	ZAC		X										

Tabla 7 Distribución de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel para las lluvias de 24 hr

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal	
		mom 2p	mxv 2p		mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p		
Aguascalientes	AGS		X											
San Pedro	BCS			X										
Cacahuatan	CHIS		X											
Huixtla	CHIS	X												
Jesús	CHIS	X												
Nueva Esperanza	CHIS		X											
Pijijiapan	CHIS			X										
Presa Malpaso	CHIS	X												
San Joaquin	CHIS		X											
Tapachula	CHIS	X												
El Palmito	DGO	X												
Narciso Mendoza	DGO		X											
Pueblo Nuevo	DGO													
Ciudad Altamirano	GRO	X												
Ciudad Sahugun	HGO			X										
San Miguel Allende	HGO	X												
Singuilucan	HGO													
Chapingo	MEX			X										
Ixtapan de la Sal	MEX		X											
Presa de Guadalupe	MEX			X										
Corrales	MICH	X												
Tepuxtepec	MICH		X											
Yurecuaro	MICH			X										
San Pedro	NAY			X										
Jacatepec	OAX		X											
Jayacatlán	OAX			X										
La Estrella	OAX			X										
Monte Rosa	OAX	X												
Papaloapan	OAX		X											
San Pedro Nolasco	OAX	X												
Villa Alta	OAX			X										

ESTACIÓN	ESTADO	Gumbel		Doble Gumbel	Lognormal			Gamma			Exponencial		Normal
		mom 2p	mxv 2p		mom 2p	mom 3p	mxv 2p	mxv 3p	mom 2p	mxv 2p	mom 2p	mxv 2p	
Balcón del Diablo	PUE		X										
Caltepec	PUE	X											
Damián Carmona	SLP			X									
Las Adjuntas	SLP			X									
Nogal Oscuro	SLP	X											
Tierra Blanca	SLP			X									
Cárdenas	TAB	X											
Jalpa de Méndez	TAB			X									
Pueblo Nuevo	TAB	X											
Teapa	TAB			X									
Villahermosa	TAB			X									
Ahuahulco	TAMS	X											
El Barretal	TAMS		X										
La Corona	TAMS			X									
La Soñadora II	TAMS			X									
Magiscatzin	TAMS	X											
Ocampo	TAMS			X									
Padilla	TAMS			X									
San Carlos	TAMS			X									
San Fernando	TAMS		X										
Tula	TAMS		X										
Acayucan	VER			X									
Altotonga	VER	X											
Cuautotolapan	VER	X											
El Tejar	VER		X										
José Cardel	VER		X										
Santa Rosa	VER		X										
Tempoal	VER			X									
Cazadero	ZAC	X											

Tabla 8 Resumen de valores del coeficiente x y relaciones de hp entre 1hr y 24 hr

ESTACIÓN	ESTADO	$X_{1hr}$	$X_{24hr}$	R =5 años	R =10 años	R =100 años	Distribución para hp <sub>1hr</sub>	Distribución para hp <sub>24hr</sub>
		$P_1^{100}/P_1^{10}$	$P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$	$P_1^5/P_{24}^5$	$P_1^{10}/P_{24}^{10}$	$P_1^{100}/P_{24}^{100}$		
Agascalientes	AGS	1.28	1.93	0.34	0.30	0.20	DG	LN
San Pedro	BCS	1.29	1.62	0.56	0.44	0.35	N	DG
Cacahuatan	CHIS	1.31	1.36	0.45	0.44	0.42	G	G
Huixtla	CHIS	1.25	1.22	0.55	0.55	0.56	G	GM
Jesús	CHIS	1.41	1.34	0.63	0.68	0.72	DG	GM
Nueva Esperanza	CHIS	1.24	1.46	0.60	0.57	0.48	N	G
Pijijiapan	CHIS	1.26	1.29	0.47	0.43	0.42	GM	DG
Presa Malpaso	CHIS	1.40	1.31	0.39	0.40	0.43	G	GM
San Joaquín	CHIS	1.34	1.30	0.40	0.40	0.41	G	GM
Tapachula	CHIS	1.35	1.33	0.60	0.59	0.60	G	GM
El Palmito	DGO	1.34	1.41	0.69	0.73	0.70	DG	G
Narciso Mendoza	DGO	1.40	1.39	0.68	0.75	0.76	DG	G
Pueblo Nuevo	DGO	1.27	1.74	0.32	0.28	0.21	N	EXP
Ciudad Altamirano	GRO	1.42	1.25	0.80	0.85	0.96	G	LG
Ciudad Sahugun	HGO	1.85	1.76	0.72	0.76	0.80	DG	DG
San Miguel Allende	HGO	1.20	1.17	0.66	0.68	0.70	DG	N
Singuilucan	HGO	1.55	1.72	0.53	0.54	0.49	DG	DG
Chapingo	MEX	1.26	1.20	0.80	0.82	0.86	LG	DG
Ixtapan de la Sal	MEX	1.27	1.32	0.60	0.58	0.56	N	G
Presa de Guadalupe	MEX	1.26	1.19	0.62	0.63	0.67	N	DG
Corrales	MICH	1.27	2.34	0.26	0.21	0.12	N	G
Tepuxtepec	MICH	1.21	1.30	0.75	0.72	0.67	DG	GM
Yurecuaro	MICH	1.40	1.37	0.65	0.62	0.63	G	DG
San Pedro	NAY	1.21	1.44	0.59	0.56	0.47	GM	DG
Jacatepec	OAX	1.28	1.36	0.38	0.37	0.34	G	G
Jayacatlán	OAX	1.53	1.33	0.51	0.52	0.60	G	DG
La Estrella	OAX	1.39	1.23	0.33	0.32	0.36	G	DG
Monte Rosa	OAX	1.48	1.36	0.49	0.51	0.56	G	G
Papaloapan	OAX	1.26	1.23	0.49	0.51	0.51	N	GM
San Pedro Nolasco	OAX	1.58	1.58	0.29	0.26	0.26	N	G
Villa Alta	OAX	1.30	1.69	0.32	0.26	0.20	GM	DG
Balcón del Diablo	PUE	1.18	1.35	0.68	0.66	0.57	N	LG
Caltepec	PUE	1.46	1.33	0.54	0.56	0.62	GM	GM
Damián Carmona	SLP	1.30	1.51	0.42	0.35	0.30	G	DG
Las Adjuntas	SLP	1.39	1.53	0.53	0.47	0.43	G	DG
Nogal Oscuro	SLP	1.43	1.43	0.53	0.53	0.53	GM	GM
Tierra Blanca	SLP	1.21	1.53	0.43	0.36	0.29	N	DG
Cárdenas	TAB	1.40	1.79	0.27	0.25	0.19	G	LN
Jalpa de Méndez	TAB	1.43	1.55	0.39	0.38	0.35	DG	DG
Pueblo Nuevo	TAB	1.26	1.58	0.54	0.50	0.40	N	GM
Teapa	TAB	1.28	1.23	0.33	0.32	0.33	G	DG
Villahermosa	TAB	1.30	1.44	0.42	0.38	0.34	GM	DG
Ahualulco	TAMS	1.36	1.27	0.42	0.43	0.46	G	LN
El Barretal	TAMS	1.27	1.32	0.72	0.74	0.71	DG	LN
La Corona	TAMS	1.85	1.06	0.85	1.05	1.83	LN	DG
La Soñadora II	TAMS	1.48	1.44	0.50	0.47	0.48	G	DG
Magitscatzín	TAMS	1.38	1.25	0.54	0.55	0.61	G	N
Ocampo	TAMS	1.22	1.41	0.41	0.36	0.31	N	DG
Padilla	TAMS	1.50	1.24	0.52	0.55	0.66	G	DG
San Carlos	TAMS	1.16	1.44	0.48	0.40	0.32	DG	DG
San Fernando	TAMS	1.20	1.90	0.29	0.25	0.15	LN	G
Tula	TAMS	1.15	1.51	0.59	0.51	0.38	DG	GM
Acayucan	VER	1.25	1.11	0.29	0.31	0.34	LN	DG
Altotonga	VER	1.38	1.66	0.33	0.30	0.25	G	EXP
Cuatotolapan	VER	1.39	3.44	0.25	0.33	0.13	LN	G
El Tejar	VER	1.36	1.38	0.43	0.44	0.43	DG	G
José Cardel	VER	1.26	1.44	0.40	0.38	0.34	N	G
Santa Rosa	VER	1.39	1.42	0.29	0.29	0.28	LN	GM
Tempoal	VER	1.43	1.46	0.43	0.40	0.39	G	DG
Cazadero	ZAC	1.50	1.46	0.70	0.71	0.72	G	G
Suma total		81.00	88.02	29.98	29.49	29.20		
Promedio		1.35	1.47	0.50	0.49	0.49		

\* Obtenidos a través de un análisis de frecuencias con las distribuciones de mejor ajuste

Tabla 9 Resumen de valores del coeficiente x y relaciones de hp entre 1hr y 24 hr

ESTACIÓN	ESTADO	$X_{1hr}$	$X_{24hr}$	R=5 años	R=10 años	R=100 años	Distribución para hp <sub>1hr</sub>	Distribución para hp <sub>24hr</sub>
		$P_1^{100}/P_1^{10}$	$P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$	$P_1^5/P_{24}^5$	$P_1^{10}/P_{24}^{10}$	$P_1^{100}/P_{24}^{100}$		
Aguascalientes	AGS	1.28	1.46	0.53	0.51	0.45	DG	G
San Pedro	BCS	1.51	1.62	0.54	0.44	0.41	G	DG
Cacahuatan	CHIS	1.31	1.36	0.45	0.44	0.42	G	G
Huixtla	CHIS	1.25	1.29	0.55	0.54	0.53	G	G
Jesús	CHIS	1.41	1.38	0.63	0.69	0.71	DG	G
Nueva Esperanza	CHIS	1.41	1.46	0.58	0.57	0.55	G	G
Pijijiapan	CHIS	1.33	1.29	0.47	0.43	0.45	G	DG
Presa Malpaso	CHIS	1.40	1.36	0.40	0.40	0.41	G	G
San Joaquín	CHIS	1.34	1.41	0.40	0.39	0.37	G	G
Tapachula	CHIS	1.35	1.37	0.60	0.60	0.59	G	G
El Palmito	DGO	1.34	1.41	0.69	0.73	0.70	DG	G
Narciso Mendoza	DGO	1.40	1.39	0.68	0.75	0.76	DG	G
Pueblo Nuevo	DGO	1.46	1.59	0.30	0.28	0.26	G	G
Ciudad Altamirano	GRO	1.42	1.39	0.77	0.77	0.79	G	G
Ciudad Sahugun	HGO	1.85	1.76	0.72	0.76	0.80	DG	DG
San Miguel Allende	HGO	1.20	1.30	0.67	0.68	0.63	DG	G
Singuilucan	HGO	1.55	1.72	0.53	0.54	0.49	DG	DG
Chapingo	MEX	1.47	1.20	0.89	0.97	1.20	G	DG
Ixtapan de la Sal	MEX	1.47	1.32	0.58	0.59	0.66	G	G
Presa de Guadalupe	MEX	1.46	1.19	0.60	0.63	0.77	G	DG
Corrales	MICH	1.49	1.80	0.33	0.29	0.24	G	G
Tepuxtepec	MICH	1.21	1.32	0.75	0.70	0.64	DG	G
Yurecuaro	MICH	1.40	1.37	0.65	0.62	0.63	G	DG
San Pedro	NAY	1.36	1.44	0.57	0.56	0.53	G	DG
Jacatepec	OAX	1.28	1.36	0.38	0.37	0.34	G	G
Jayacatlán	OAX	1.53	1.33	0.51	0.52	0.60	G	DG
La Estrella	OAX	1.39	1.23	0.33	0.32	0.36	G	DG
Monte Rosa	OAX	1.48	1.36	0.49	0.51	0.56	G	G
Papaloapan	OAX	1.44	1.30	0.48	0.51	0.57	G	G
San Pedro Nolasco	OAX	1.58	1.58	0.29	0.26	0.26	G	G
Villa Alta	OAX	1.42	1.69	0.32	0.26	0.22	G	DG
Balcón del Diablo	PUE	1.31	1.35	0.67	0.66	0.64	G	G
Caltepec	PUE	1.49	1.38	0.54	0.56	0.60	G	G
Damián Carmona	SLP	1.30	1.51	0.42	0.35	0.30	G	DG
Las Adjuntas	SLP	1.39	1.53	0.53	0.47	0.43	G	DG
Nogal Oscuro	SLP	1.46	1.47	0.53	0.53	0.53	G	G
Tierra Blanca	SLP	1.36	1.53	0.42	0.37	0.33	G	DG
Cárdenas	TAB	1.40	1.49	0.37	0.35	0.33	G	G
Jalpa de Méndez	TAB	1.43	1.55	0.39	0.38	0.35	DG	DG
Pueblo Nuevo	TAB	1.45	1.58	0.52	0.51	0.46	G	G
Teapa	TAB	1.28	1.23	0.33	0.32	0.33	G	DG
Villahermosa	TAB	1.41	1.44	0.42	0.38	0.38	G	DG
Ahualulco	TAMS	1.36	1.46	0.39	0.37	0.35	G	G
El Barretal	TAMS	1.27	1.39	0.71	0.72	0.66	DG	G
La Corona	TAMS	1.41	1.06	0.53	0.59	0.78	G	DG
La Soñadora II	TAMS	1.48	1.44	0.50	0.47	0.48	G	DG
Magiscatzin	TAMS	1.38	1.43	0.56	0.55	0.53	G	G
Ocampo	TAMS	1.38	1.41	0.40	0.36	0.35	G	DG
Padilla	TAMS	1.50	1.24	0.52	0.55	0.66	G	DG
San Carlos	TAMS	1.16	1.44	0.48	0.40	0.32	DG	DG
San Fernando	TAMS	1.40	1.46	0.49	0.48	0.46	G	G
Tula	TAMS	1.15	1.52	0.60	0.52	0.39	DG	G
Acayucan	VER	1.48	1.11	0.32	0.37	0.49	G	DG
Altotonga	VER	1.38	1.52	0.31	0.30	0.27	G	G
Cuautotolapan	VER	1.53	1.59	0.43	0.42	0.41	G	G
El Tejar	VER	1.36	1.38	0.43	0.44	0.43	DG	G
José Cardel	VER	1.45	1.44	0.38	0.39	0.39	G	G
Santa Rosa	VER	1.54	1.46	0.29	0.28	0.30	G	G
Tempoal	VER	1.43	1.46	0.43	0.40	0.39	G	DG
Cazadero	ZAC	1.50	1.46	0.70	0.71	0.72	G	G
Suma total		84.24	85.38	30.27	29.84	29.96		
Promedio		1.40	1.42	0.50	0.50	0.50		

\* Obtenidos a través de un análisis de frecuencias con las distribuciones Gumbel y Doble Gumbel

#### 4 METODO EMPÍRICO DE CHEN LUNG CHEN

La lluvia se define mediante tres variables: magnitud o lámina, duración y frecuencia. La magnitud de lluvia es la precipitación total ocurrida (en milímetros) en la duración de la tormenta; la frecuencia se expresa por el período de retorno de la lluvia o su intervalo de recurrencia. Las curvas precipitación-duración-período de retorno forman una gráfica en la que concentran las características de las tormentas de la zona o región, con respecto a las variables mencionadas.

Las lluvias de varias frecuencias y duraciones, se usan en el diseño de estructuras que controlan el escurrimiento ocasionado por las tormentas extremas. Normalmente, un modelo de precipitación o diseño de tormenta se crea aplicando las relaciones entre la intensidad, la duración y la frecuencia apropiada para el proyecto, tomando en cuenta su ubicación geográfica (Chow et al. 1988). Al utilizar registros de lluvia, se pueden elaborar gráficas de intensidad-duración-período de retorno para algunos sitios en las inmediaciones de la República Mexicana, y se pueden desarrollar ecuaciones de intensidad-duración de lluvia para varias frecuencias en algunas ciudades. Sin embargo, en muchas localidades las relaciones de intensidad-duración de lluvia, no estarán disponibles y podría ser necesario crearlas usando mapas de isoyetas que han sido elaborados para una región geográficamente grande.

Chen (1983), desarrolló un método simple para derivar una ecuación generalizada de precipitación-duración-período de retorno, que puede ser utilizado en cualquier localidad en los Estados Unidos y, hasta ahora, tiene un gran potencial en la aplicación de los desagües urbanos.

El método utiliza tres alturas de lluvia: precipitación de 1 hr con período de retorno de 10 años ( $P_1^{10}$ ); precipitación de 24 hr con período de retorno de 10 años ( $P_{24}^{10}$ ); y, precipitación de 1 hr con período de retorno de 100 años ( $P_1^{100}$ ); las cuales, fueron obtenidas por el autor, de tres mapas de isoyetas del United States Weather Bureau Technical Paper No. 40 (TP No. 40).

Chen mencionó que pueden usarse esas tres alturas de lluvia para describir el modelo, a través de las siguientes relaciones: el cociente de altura de lluvia-duración ( $P_1^{Tr}/P_{24}^{Tr}$ ) para cualquier período de retorno "Tr" y el cociente de altura de lluvia-frecuencia ( $P_1^{100}/P_1^{10}$ ) para cualquier duración "t".

Chen (1983), encontró que el cociente de altura de lluvia-duración, aunque probablemente puede ser independiente del período de retorno, varía aproximadamente del 10% al 60% (con un valor medio de 40%) dependiendo de la ubicación geográfica; mientras el cociente de altura de lluvia-período de retorno, si bien, probablemente puede ser independiente de la duración, varía aproximadamente de 1.33 a 1.63 (con un valor medio de 1.43) dependiendo también de la ubicación geográfica. Estos cocientes, son relaciones importantes utilizadas en la construcción de la ecuación de Chen para el cálculo de las curvas intensidad-duración-período de retorno.

#### 4.1 Ecuación generalizada de hp-d-Tr, propuesta por Chen

Al utilizar datos de distintas regiones (TP No. 40) e involucrar las lluvias de 24 hr, Chen (1983), propone la siguiente ecuación para calcular la precipitación (hp) con cualquier duración y período de retorno,

$$P_t^{Tr} = \frac{aP_1^{10} \log(10^{2-x} Tr^{x-1})}{(t+b)^c} (t/60)$$

donde: a, b, y c son los parámetros de la tormenta, en función del cociente R; Tr es el período de retorno, en años;  $P_1^{10}$  es la precipitación con duración de 1 hr y período de retorno de 10 años, en milímetros; "t" es la duración, en minutos; y,  $x = P_1^{100}/P_1^{10}$ .

El parámetro "a" varía con el período de retorno y la ubicación geográfica, mientras que "b" y "c" varían únicamente con la ubicación geográfica.

La ecuación generalizada supone rangos de validez de  $Tr > 1$  año; y, 5 minutos  $< t < 24$  horas. Es necesario especificar los límites de validez de la ecuación anterior, debido a que su naturaleza es muy empírica y ecuaciones como ésta no deben utilizarse más allá de los límites para los cuales fueron derivadas, aunque en algunas circunstancias esto puede ser inevitable (Chen, 1983).

Además, la ecuación de Chen toma en cuenta la geografía del lugar con la relación  $R = P_1^{Tr}/P_{24}^{Tr}$ ; donde R es la proporción de la lluvia máxima registrada en una hora con respecto a

la lluvia máxima total registrada en 24 horas; que para este caso, el criterio es aplicado a las series de lluvias máximas anuales.

Un valor de  $R = 1.0$ , me indicará que toda la lluvia registrada en 24 horas ocurrió en una sola hora, éste es el límite superior de la lluvia durante un día. Si la lluvia se presentara completamente uniforme durante todo el día, tendría un valor de 0.04167 del diario total para todas las horas, que es el valor del límite inferior de  $R$ . Si el factor  $R$  simplemente es un poco menor que 1.0, es muy probable que el resto de lluvia haya ocurrido en una o dos de las otras horas, mientras que las 21 o 22 horas restantes, tendrán lluvia cero. Si el factor  $R$  es un poco más grande que 0.04167; entonces, los otros 23 valores serán ligeramente menores que ese valor  $R$ , pero cercanos a 0.04167. La importancia de estos comentarios es que, el factor  $R$  calculado con la lluvia máxima tiene una gran influencia en los valores de las otras 23 horas (Boughton, 2000).

Por otra parte, la ecuación generalizada de  $hp-d-Tr$  propuesta por Chen, también se puede trabajar como una ecuación generalizada de  $i-d-Tr$ , si en lugar de trabajar con las precipitaciones trabajamos con las intensidades, para lo cual, la ecuación de  $i-d-Tr$  propuesta por Chen, es de la siguiente forma:

$$i_t^{Tr} = \frac{ai_1^{10} \log(10^{2-x} Tr^{x-1})}{(t+b)^c}$$

donde:  $a$ ,  $b$ , y  $c$  son los parámetros de la tormenta, en función del cociente  $R$ ;  $Tr$  es el período de retorno, en años;  $i_1^{10}$  es la intensidad con duración de 1 hr de lluvia y período de retorno de 10 años, en mm/hora; " $t$ " es la duración, en minutos;  $y$ ,  $x = P_t^{100}/P_t^{10}$ .

#### 4.2 Ecuación de Sherman

Chen (1983), utilizó la siguiente ecuación empírica de intensidad-duración, propuesta por Sherman (1980),

$$r = \frac{a}{(t+b)^c}$$

en la cual,  $r$  es la lluvia de intensidad media, en pulgadas por hora;  $t$  el tiempo de duración, en minutos;  $a$ ,  $b$ , y  $c$  los parámetros estándar de la tormenta.

La solución a la ecuación anterior, se llevó a cabo a través de un método de minimización, y así se formuló la siguiente ecuación para encontrar los valores  $a$ ,  $b$  y  $c$ ; la cual, es de la siguiente forma:

$$F(a, b, c) = \sum_{i=1}^n [\log r_i - \log a + c \log(t_i + b)]^2$$

Al aplicar técnicas de minimización a los juegos de intensidades de lluvia ( $P_1^{Tr}/P_1^{Tr}$ ) para los cocientes de ( $P_1^{Tr}/P_{24}^{Tr}$ ) iguales a 10, 15, 20, 40, y 60%, se obtuvieron algunos valores de los parámetros  $a$ ,  $b$ , y  $c$ ; con los cuales, a su vez se elaboró la Figura 4.1 (Chen, 1983).

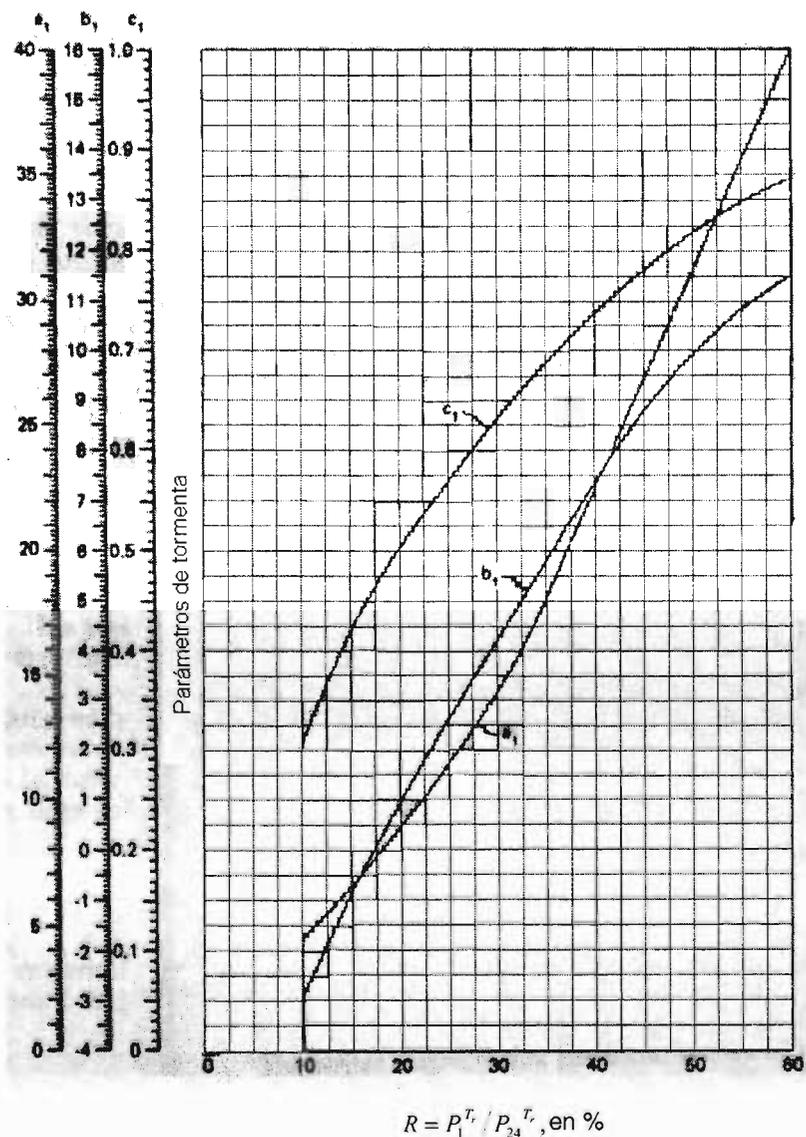


Figura 4.1 Relación entre los parámetros estándar de tormenta y la relación altura de lluvia - duración ( $R$ , en %), (Chen, 1983)

#### **4.3 Comparación de resultados obtenidos, a través, del análisis de frecuencias realizado a 60 estaciones de la República Mexicana, con los resultados obtenidos al utilizar el método empírico propuesto por Chen Lung Chen**

Puesto que la información de la lluvia de corta duración es insuficiente en muchas partes del mundo, se tiene la necesidad de utilizar relaciones promedio, encontradas en aquellos países donde se dispone de un mayor número de datos y una calidad aceptable de los registros.

A tal respecto, se ha demostrado por varios investigadores (inclusive de diferentes países), que el método empírico propuesto por Chen Lung Chen (1983), para cualquier localidad en los Estados Unidos donde se considera la relación de altura de lluvia-duración, puede aplicarse a otras partes del mundo.

Aunque, puede esperarse que los cocientes de precipitación-duración y los cocientes de altura de lluvia-frecuencia, sean aproximadamente constantes dentro de grandes regiones climáticas, de acuerdo a las investigaciones realizadas por diferentes autores, es notable apreciar que los valores parecen ser similares en diversos territorios, como son: Alaska, Australia, Hawaii, Puerto Rico, sur y norte de África, Estados Unidos y México.

Existen indudablemente algunas variaciones sistemáticamente geográficas en dichos cocientes, pero hasta ahora en los datos que han sido examinados por varios analistas, las desviaciones son pequeñas comparadas con los errores de muestreo y otras fuentes de incertidumbre. Debe haber una explicación física para este fenómeno, la cual, probablemente podría encontrarse en las dimensiones y propiedades comunes de los mecanismos responsables de la lluvia convectiva de alta intensidad y la lluvia de corta duración en muchas partes del mundo.

Las consistencias en dichas proporciones, pueden ser expresadas matemáticamente por funciones generalizadas de precipitación-duración-período de retorno, que tienen lluvias de duración de 1 hr con 10 años período de retorno o lluvias de duración de 1 hr con 2 años período de retorno, como valor base (Bell, 1969).

Si se considera el hecho de que, en México hay mucho más información de registros de lluvias pluviométricas que pluviográficas, entonces, se encontrará de manera más fácil, la relación del cociente de altura de lluvia-frecuencia ( $P_1^{100}/P_1^{10}$ ) con registros de lluvias de 24 hr de duración, y de esta forma utilizar la altura de lluvia de  $P_{24}^{100}$  (precipitación de 24 horas con 100 años período de retorno) en lugar de la de  $P_1^{100}$  (precipitación de 1 hora con 100 años período de retorno) como lo hace el autor de la ecuación. Cabe aclarar que, si se tienen datos de registros pluviográficos en la zona de interés, es recomendable utilizarlos, puesto que como se verá más adelante, el coeficiente  $x (P_1^{100}/P_1^{10})$  proporciona mejores resultados en la ecuación propuesta

por Chen, cuando los cocientes de altura de lluvia-frecuencia son calculados a partir de los datos de lluvias con duración de 1 hr.

En las tablas 8 y 9 del capítulo 3, se puede observar el resumen de valores de los coeficientes  $x (P_i^{100}/P_i^{10})$ , tanto para las duraciones de precipitación de 1 hr como para las de 24 hr. Aunque, por razones particulares del estudio, se dio prioridad a la tabla 9, dado que el autor del método empírico recomienda el uso de la distribución de tipo Gumbel.

La ecuación matemática propuesta por Chen, ha sido sugerida en otras partes del mundo, como una simplificación práctica de la ecuación Gumbel, con la excepción de que generalmente se usan las series anuales en lugar de las parciales.

Con base en lo anterior, a partir de los valores obtenidos por Chen (1983) para los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $c$ ; y, con ayuda de un programa matemático que lleva por nombre Tcwin2 (que contiene programadas alrededor de 200 ecuaciones de funciones), se realizó un ajuste de los valores dados, utilizando todas las funciones proporcionadas por dicho programa, con la finalidad de obtener las tres mejores ecuaciones que representan los valores de los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $c$ ; para que, sin necesidad de consultar la Figura 4.1 se puedan obtener los valores de los mismos. De esta forma, se establecieron las ecuaciones que mejor se ajustaron a los programas (elaborados en Mathcad) que se muestran a continuación y, con ellos, es posible calcular el valor correspondiente de estos parámetros, en cada sitio o estación en particular.

Dichos programas se incorporaron, sólo para la estación Aguascalientes, como un ejemplo de la forma en que se obtuvieron los resultados, a partir, de la ecuación de Chen (1983); en donde, las variables que se indican representan lo siguiente:

$i$ : número o valor que simboliza un cierto período de retorno

$Tr_i$ : período de retorno correspondiente a un valor  $i$ , en años

$p_{1h}$ : precipitación de 1 hora correspondiente a un cierto período de retorno  $Tr_i$ ; calculada, a través, del análisis de frecuencias, utilizando la distribución Gumbel o Doble Gumbel, según sea el caso; en mm

$p_{24h}$ : precipitación de 24 horas correspondiente a un cierto período de retorno  $Tr_i$ ; calculada, a través, del análisis de frecuencias, utilizando la distribución Gumbel o Doble Gumbel, según sea el caso; en mm

$x$ : cociente de altura de lluvia-frecuencia, adimensional

$R_i$ : cociente que depende de la precipitación de 1 hora entre la precipitación de 24 horas, por lo que, varía de acuerdo al período de retorno y al sitio en particular, en %

$a$ ,  $b$ ,  $c$ : ecuaciones que dependen del factor  $R_i$ , para representar a los parámetros de la tormenta  $a$ ,  $b$  y  $c$ , de acuerdo al valor  $R$  calculado, adimensionales

$p_{i,1}$ : precipitación de 1 hora correspondiente a un cierto período de retorno  $Tr_i$ ; calculada al utilizar el método propuesto por Chen (1983); en mm

$p_{i,24}$ : precipitación de 24 horas correspondiente a un cierto período de retorno  $Tr_i$ ; calculada al utilizar el método propuesto por Chen (1983); en mm

$e_1$ : error calculado al realizar una comparación entre la precipitación de 1 hora ( $p_{1h_i}$ ) que se obtuvo, a través, del análisis de frecuencias y la precipitación de 1 hora ( $p_{i,1}$ ) obtenida al utilizar el método empírico propuesto por Chen (1983), en %

$e_2$ : error calculado al realizar una comparación entre la precipitación de 24 horas ( $p_{24h_i}$ ) que se obtuvo, a través, del análisis de frecuencias y la precipitación de 24 horas ( $p_{i,24}$ ) obtenida al utilizar el método empírico propuesto por Chen (1983), en %

Como se ha mencionado antes, el factor  $x$  (cociente de altura de lluvia-frecuencia  $P_t^{100}/P_t^{10}$ ) puede ser calculado, a partir de las lluvias de cualquier duración " $t$ "; para esto, se presentan dos programas, cuya diferencia radica solamente en que dicho cociente se obtiene a partir de la relación existente entre las lluvias máximas con duración 1 hora; y, de la relación que existe entre las lluvias máximas de 24 horas.

Lluvias estimadas con la fórmula de Chen (1983), para la estación Aguascalientes, utilizando la relación que existe entre las lluvias máximas de 1 hora,  $x = P_1^{100}/P_1^{10}$

i =	$T_{r_i} =$	$p1h_i =$	$p24h_i =$	$x := \frac{p1h_9}{p1h_3}$	$x = 1.28$	$t_j := j \cdot 60$	$R_i =$
1	2	20.19	44.33				45.54
2	5	31.52	59.83				52.68
3	10	35.95	70.09				51.29
4	15	37.94	75.88	$R_i := \frac{p1h_i}{p24h_i} \cdot 100$			50.00
5	20	39.25	79.93	$a_i := e^{(1.28 + 0.046 \cdot R_i)}$			49.11
6	30	41.04	85.60	$b_i := -5.418 + 0.321 \cdot R_i$			47.94
7	50	43.21	92.67	$c_i := -0.06 + 0.126 \cdot (R_i)^{0.5}$			46.63
8	75	44.91	98.26				45.71
9	100	46.10	102.22				45.10
10	125	47.02	105.29				44.66
11	150	47.77	107.79				44.32
12	200	48.95	111.73				43.81

Formula de Chen

$$P_{i,j} := (a_i \cdot p1h_i) \cdot \frac{\log[10^{2-x} \cdot (T_{r_i})^{x-1}]}{60(t_j + b_i)^{c_i}} \cdot t_j$$

$$e1_i := \left( \frac{p1h_i - P_{i,1}}{p1h_i} \right) \cdot 100$$

errores porcentuales

$$e2_i := \left( \frac{p24h_i - P_{i,24}}{p24h_i} \right) \cdot 100$$

$T_{r_i} =$	$p1h_i =$	$P_{i,1} =$	$e1_i =$	$p24h_i =$	$P_{i,24} =$	$e2_i =$
2	20.19	29.63	-46.74	44.33	64.25	-44.93
5	31.52	34.75	-10.24	59.83	63.65	-6.38
10	35.95	37.72	-4.92	70.09	71.31	-1.73
15	37.94	39.36	-3.76	75.88	76.67	-1.05
20	39.25	40.54	-3.28	79.93	80.63	-0.88
30	41.04	42.21	-2.84	85.60	86.31	-0.83
50	43.21	44.34	-2.61	92.67	93.61	-1.02
75	44.91	46.05	-2.54	98.26	99.47	-1.23
100	46.10	47.28	-2.55	102.22	103.67	-1.42
125	47.02	48.23	-2.57	105.29	106.94	-1.57
150	47.77	49.01	-2.60	107.79	109.62	-1.70
200	48.95	50.26	-2.67	111.73	113.86	-1.90

Lluvias estimadas con la fórmula de Chen (1983), para la estación Aguascalientes, utilizando la relación que existe entre las lluvias máximas de 24 horas,  $x = P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$

i =	$T_{r_i} =$	$p1h_i =$	$p24h_i =$	$x := \frac{p24h_i}{p1h_i}$	$x = 1.46$	$t_j := j \cdot 60$	$R_i =$
1	2	20.19	44.33				45.54
2	5	31.52	59.83				52.68
3	10	35.95	70.09				51.29
4	15	37.94	75.88				50.00
5	20	39.25	79.93				49.11
6	30	41.04	85.60				47.94
7	50	43.21	92.67				46.63
8	75	44.91	98.26				45.71
9	100	46.10	102.22				45.10
10	125	47.02	105.29				44.66
11	150	47.77	107.79				44.32
12	200	48.95	111.73				43.81

**Formula de Chen**

$$P_{i,j} := (a_i \cdot p1h_i) \cdot \frac{\log[10^{2-x} \cdot (T_{r_i})^{x-1}]}{60(t_j + b_i)^{c_i}} \cdot t_j$$

errores porcentuales

$$e1_i := \left( \frac{p1h_i - P_{i,1}}{p1h_i} \right) \cdot 100$$

$$e2_i := \left( \frac{p24h_i - P_{i,24}}{p24h_i} \right) \cdot 100$$

$T_{r_i} =$	$p1h_i =$	$P_{i,1} =$	$e1_i =$	$p24h_i =$	$P_{i,24} =$	$e2_i =$
2	20.19	25.08	-24.24	44.33	54.40	-22.71
5	31.52	32.74	-3.86	59.83	59.96	-0.22
10	35.95	37.72	-4.92	70.09	71.31	-1.73
15	37.94	40.53	-6.82	75.88	78.94	-4.03
20	39.25	42.52	-8.32	79.93	84.57	-5.81
30	41.04	45.33	-10.46	85.60	92.70	-8.30
50	43.21	48.90	-13.16	92.67	103.23	-11.40
75	44.91	51.74	-15.21	98.26	111.76	-13.74
100	46.10	53.77	-16.63	102.22	117.90	-15.34
125	47.02	55.34	-17.70	105.29	122.71	-16.55
150	47.77	56.63	-18.55	107.79	126.66	-17.51
200	48.95	58.67	-19.87	111.73	132.93	-18.98

Con el propósito de realizar un análisis de manera más rápida y fácil, que proporcione una mayor idea de la diferencia que existe entre las dos metodologías utilizadas, se crearon tres tablas y dos dibujos, para cada una de las 60 estaciones empleadas. La primera tabla contiene un resumen de los resultados obtenidos, a través, del análisis de frecuencias realizado con ayuda del programa Ax, y en ella, se muestra el período de retorno con su correspondiente altura máxima de precipitación, tanto para 1 hora, como para 24 horas de duración.

La segunda y tercera tabla contienen un resumen de los resultados obtenidos al utilizar el método empírico propuesto por Chen, pero, manipulando por un lado, el coeficiente  $x$  que se obtuvo de la relación del cociente de las lluvias máximas de 1 hora, y por otro, el coeficiente  $x$  calculado de la relación del cociente de las lluvias máximas de 24 horas; y, muestran las alturas de precipitación, tanto para 1 hora, como para 24 horas, acompañadas de su correspondiente porcentaje de error que resulta de la comparación entre estas, y los valores de lluvia que se presentan en la primer tabla.

De igual forma, en los dibujos, no sólo se puede observar la diferencia que existe entre los resultados proporcionados por el análisis de frecuencias y el método empírico, sino que también, se presentan dos dibujos por separado, para cada una de las estaciones; en los cuales, el primero de ellos representa la precipitación máxima en 1 hora (en mm) contra el período de retorno correspondiente (en años) y el segundo la precipitación máxima en 24 horas (en mm) contra su correspondiente período de retorno (en años), ambas precipitaciones, calculadas a partir del análisis de frecuencias realizado con ayuda del programa Ax; y, las mismas precipitaciones de 1 y 24 horas, que se calcularon al utilizar el método propuesto por Chen, pero tomando en cuenta, por un lado el coeficiente  $x$  que se obtuvo de la relación del cociente de las lluvias máximas de 1 hora, y por otro, el coeficiente  $x$  que se obtuvo de la relación del cociente de las lluvias máximas de 24 horas.

Cabe aclarar, que dichas tablas y dibujos, se crearon a partir de los resultados que fueron arrojados por medio de los programas realizados en Mathcad que se presentaron en las dos páginas anteriores; en los cuales, se analizaron las 60 estaciones incluidas en presente trabajo, y, que para fines del mismo, se consideró pertinente mostrar a continuación, el análisis elaborado para la mitad de las estaciones, con el objeto de proporcionar una idea más completa de lo que se puede obtener con el método propuesto.

## Estación Aguascalientes

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	DG	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	20.19	44.33
5	31.52	59.83
10	35.95	70.09
15	37.94	75.88
20	39.25	79.93
30	41.04	85.60
50	43.21	92.67
75	44.91	98.26
100	46.10	102.22
125	47.02	105.29
150	47.77	107.79
200	48.95	111.73

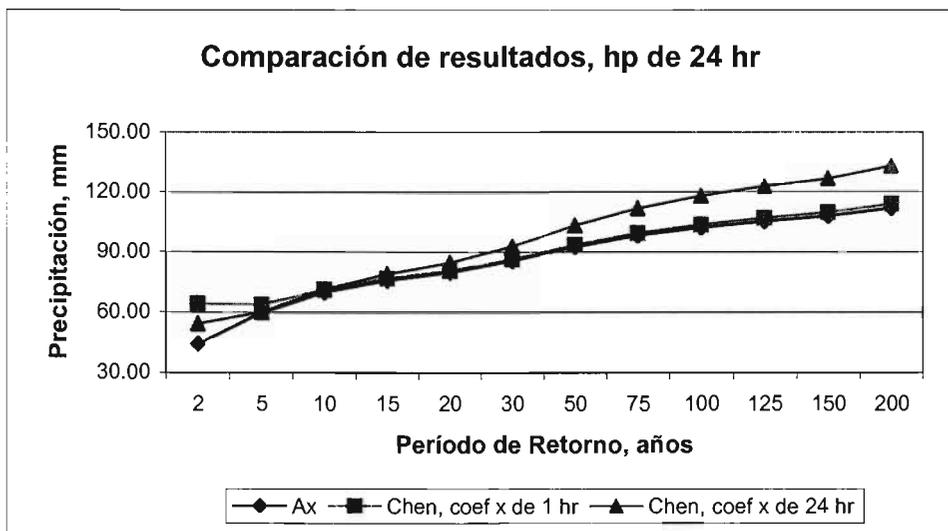
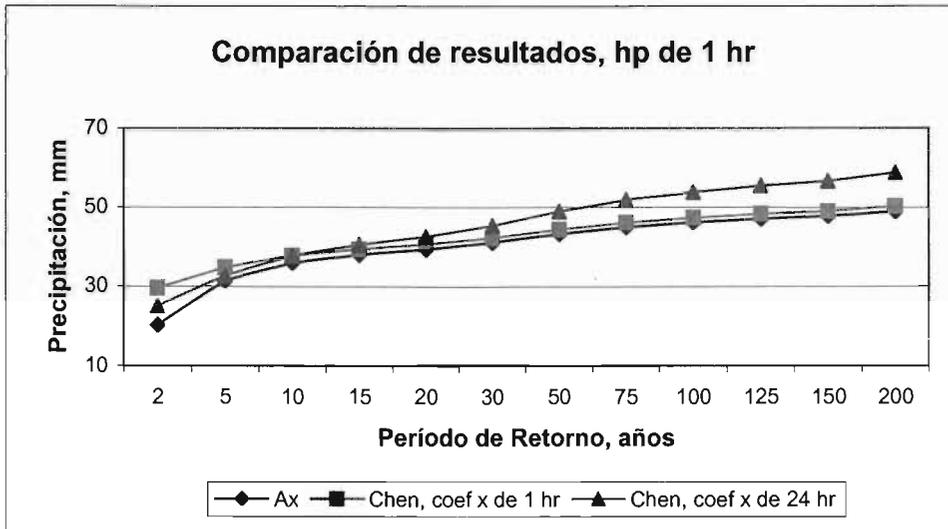
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
29.63	46.76	64.25	44.94
34.75	10.25	63.65	6.38
37.72	4.92	71.30	1.73
39.36	3.74	76.67	1.04
40.54	3.29	80.63	0.88
42.20	2.83	86.31	0.83
44.34	2.62	93.61	1.01
46.05	2.54	99.47	1.23
47.28	2.56	103.67	1.42
48.23	2.57	106.94	1.57
49.01	2.60	109.62	1.70
50.26	2.68	113.86	1.91

Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
25.08	24.22	54.39	22.69
32.74	3.87	59.96	0.22
37.72	4.92	71.31	1.74
40.53	6.83	78.94	4.03
42.52	8.33	84.57	5.81
45.33	10.45	92.70	8.29
48.90	13.17	103.23	11.40
51.74	15.21	111.76	13.74
53.77	16.64	117.90	15.34
55.34	17.69	122.71	16.54
56.63	18.55	126.66	17.51
58.68	19.88	132.93	18.97



## Estación San Pedro, BCS

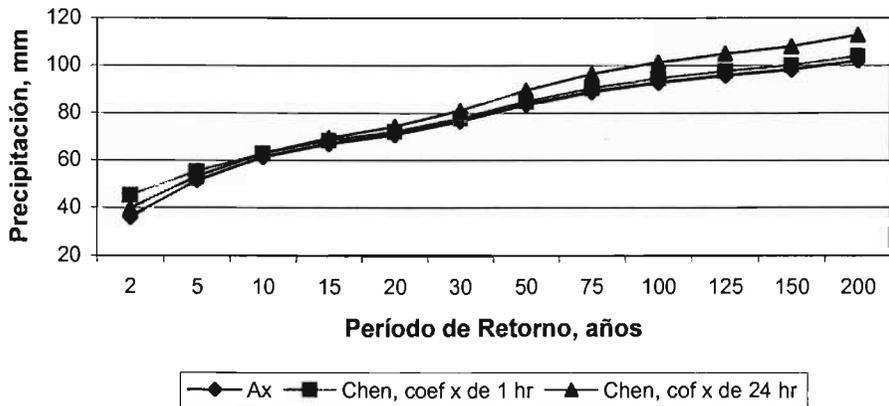
### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	36.27	56.22
5	51.40	95.22
10	61.42	138.96
15	67.07	156.60
20	71.02	167.95
30	76.55	183.06
50	83.46	201.23
75	88.92	215.26
100	92.78	225.09
125	95.77	232.68
150	98.22	238.83
200	102.07	248.51

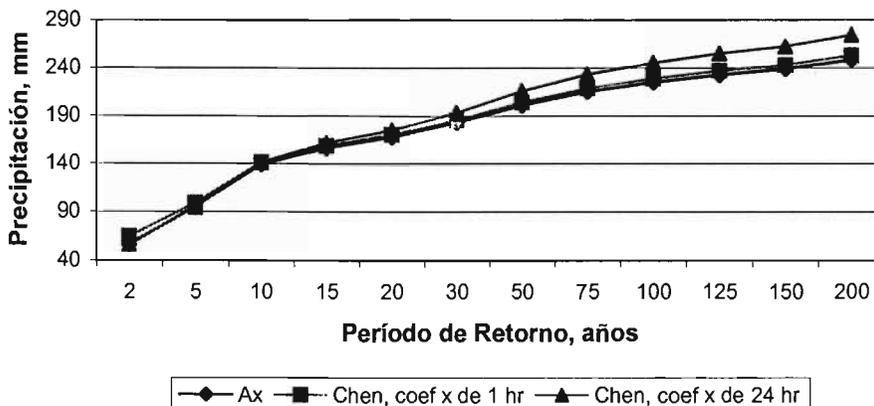
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
45.14	24.46	64.61	14.92	39.78	9.68	56.94	1.28
55.29	7.57	98.38	3.32	53.14	3.39	94.56	-0.69
62.85	2.33	140.98	1.45	62.85	2.33	140.98	1.45
68.31	1.85	158.73	1.36	69.52	3.65	161.53	3.15
72.24	1.72	170.26	1.38	74.30	4.62	175.11	4.26
77.82	1.66	185.69	1.44	81.08	5.92	193.47	5.69
84.87	1.69	204.35	1.55	89.65	7.42	215.85	7.27
90.48	1.75	218.82	1.65	96.46	8.48	233.28	8.37
94.46	1.81	228.99	1.73	101.29	9.17	245.55	9.09
97.55	1.86	236.85	1.79	105.04	9.68	255.04	9.61
100.07	1.88	243.20	1.83	108.11	10.07	262.72	10.00
104.06	1.95	253.24	1.90	112.94	10.65	274.86	10.60

**Comparación de resultados, hp de 1 hr**



**Comparación de resultados, hp de 24 hr**



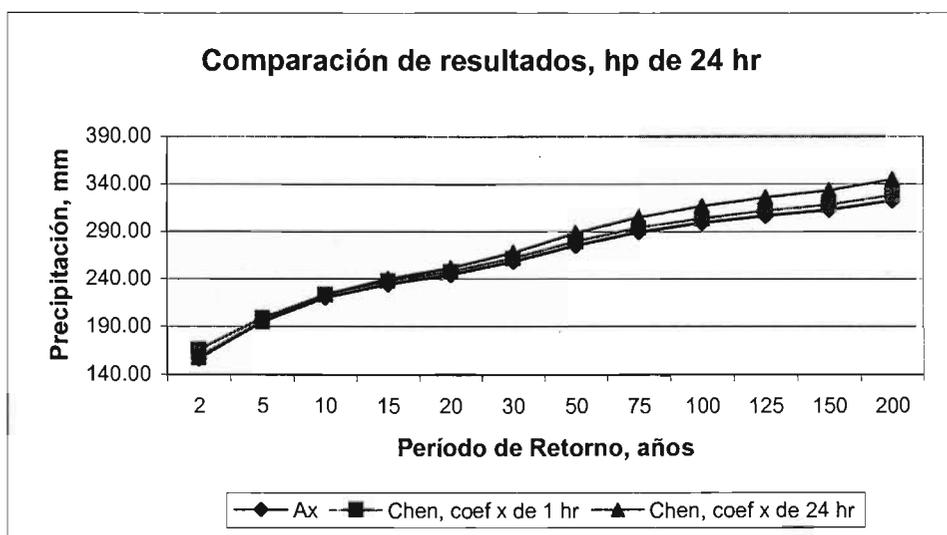
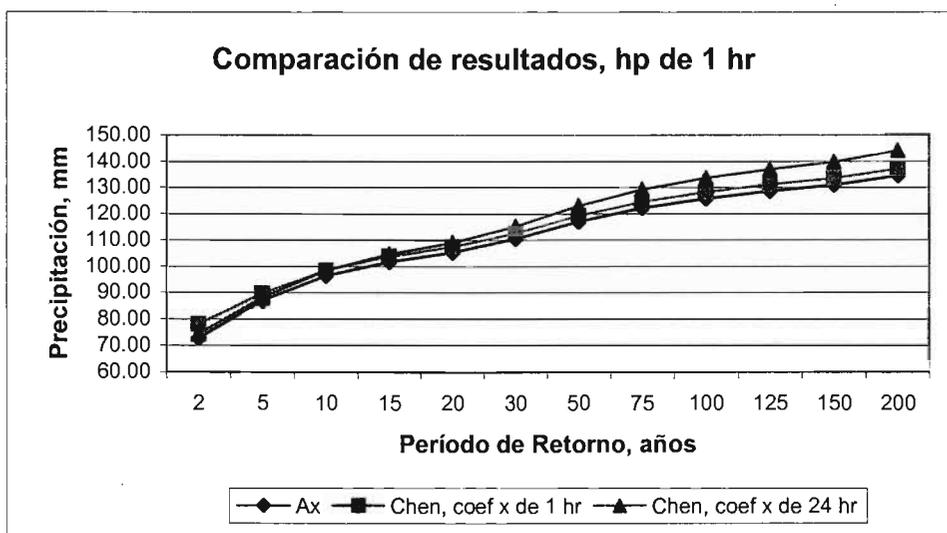
## Estación Cacahuatan

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	72.81	156.64
5	86.99	194.78
10	96.38	220.03
15	101.67	234.28
20	105.38	244.26
30	110.56	258.19
50	117.04	275.61
75	122.16	289.36
100	125.78	299.10
125	128.58	306.64
150	130.87	312.80
200	134.48	322.51

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
78.07	7.22	165.43	5.61	74.31	2.06	157.44	0.51
89.66	3.07	198.80	2.06	88.05	1.22	195.22	0.22
98.54	2.24	223.28	1.48	98.54	2.24	223.28	1.48
103.74	2.04	237.54	1.39	104.68	2.96	239.70	2.31
107.44	1.95	247.63	1.38	109.05	3.48	251.34	2.90
112.66	1.90	261.84	1.41	115.21	4.21	267.76	3.71
119.25	1.89	279.72	1.49	122.98	5.08	288.47	4.67
124.48	1.90	293.90	1.57	129.15	5.72	304.92	5.38
128.19	1.92	303.98	1.63	133.53	6.16	316.63	5.86
131.07	1.94	311.80	1.68	136.93	6.49	325.72	6.22
133.43	1.96	318.19	1.72	139.70	6.75	333.15	6.51
137.15	1.99	328.27	1.79	144.09	7.15	344.87	6.93



## Estación Huixtla

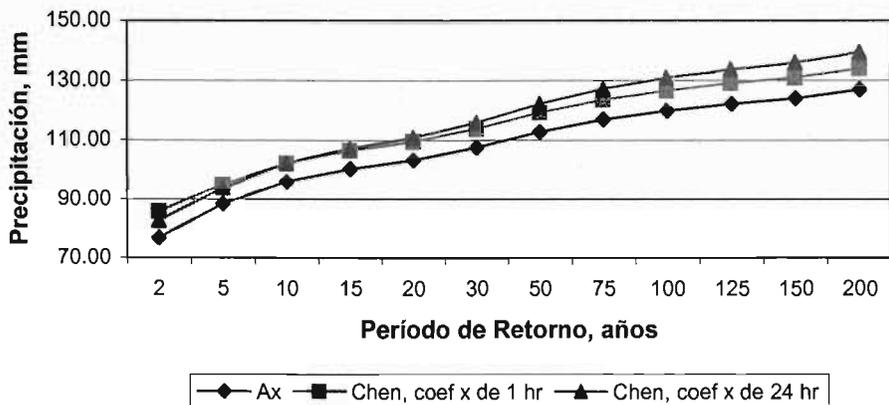
### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	76.78	135.09
5	88.30	159.75
10	95.92	176.07
15	100.22	185.28
20	103.23	191.73
30	107.44	200.74
50	112.70	212.00
75	116.85	220.90
100	119.79	227.19
125	122.07	232.07
150	123.93	236.05
200	126.86	242.33

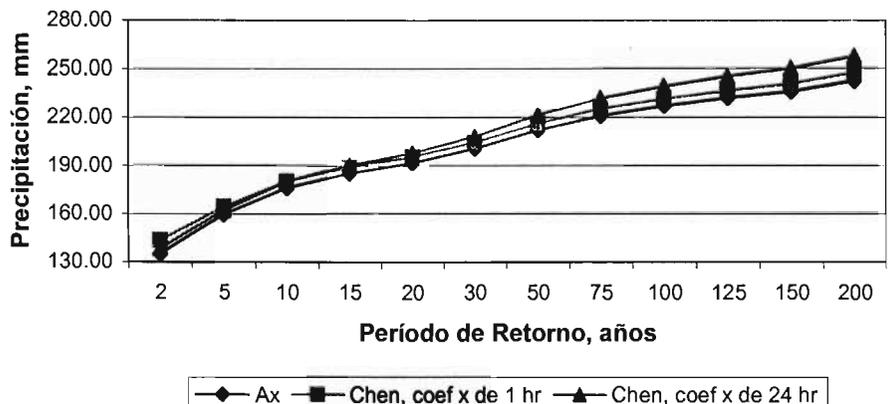
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
85.70	11.62	143.35	6.11	82.69	7.70	138.31	2.38
95.08	7.68	164.46	2.95	93.79	6.22	162.24	1.56
102.31	6.66	180.07	2.27	102.31	6.66	180.07	2.27
106.56	6.33	189.16	2.09	107.31	7.07	190.48	2.81
109.59	6.16	195.60	2.02	110.86	7.39	197.88	3.21
113.86	5.98	204.67	1.96	115.87	7.85	208.29	3.76
119.25	5.81	216.10	1.93	122.19	8.42	221.44	4.45
123.53	5.72	225.18	1.94	127.21	8.87	231.89	4.98
126.57	5.66	231.61	1.95	130.78	9.17	239.30	5.33
128.93	5.62	236.60	1.95	133.54	9.40	245.06	5.60
130.86	5.59	240.68	1.96	135.80	9.58	249.76	5.81
133.91	5.56	247.12	1.98	139.37	9.86	257.20	6.14

**Comparación de resultados, hp de 1 hr**



**Comparación de resultados, hp de 24 hr**



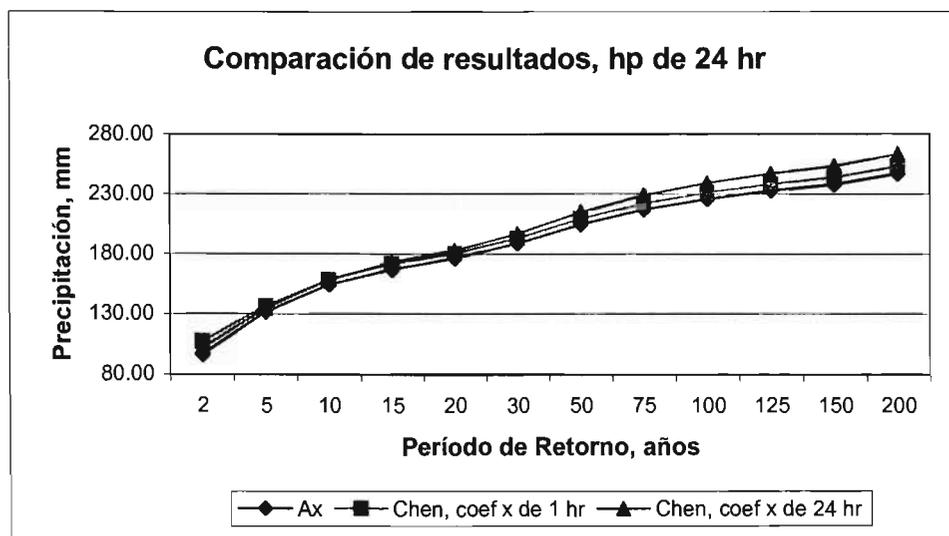
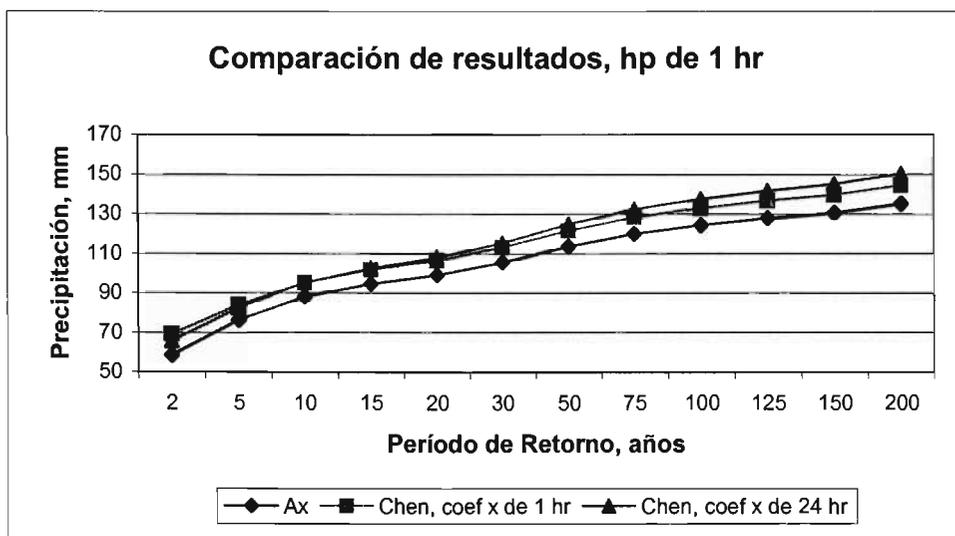
## Estación Nueva Esperanza

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	58.74	97.12
5	76.29	131.56
10	87.91	154.36
15	94.47	167.23
20	99.06	176.24
30	105.48	188.82
50	113.49	204.55
75	119.83	216.97
100	124.31	225.77
125	127.78	232.58
150	130.61	238.14
200	135.08	246.90

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
69.24	17.88	107.35	10.53	65.93	12.24	102.22	5.25
83.85	9.91	136.87	4.04	82.45	8.07	134.59	2.30
95.15	8.24	158.77	2.86	95.15	8.24	158.77	2.86
101.8	7.76	171.53	2.57	102.61	8.62	172.90	3.39
106.52	7.53	180.58	2.46	107.91	8.93	182.93	3.80
113.19	7.31	193.32	2.38	115.38	9.39	197.06	4.36
121.6	7.15	209.39	2.37	124.80	9.97	214.90	5.06
128.29	7.06	222.12	2.37	132.29	10.40	229.05	5.57
133.03	7.01	231.18	2.40	137.60	10.69	239.12	5.91
136.71	6.99	238.20	2.42	141.72	10.91	246.92	6.17
139.72	6.97	243.94	2.44	145.08	11.08	253.30	6.37
144.46	6.94	252.98	2.46	150.40	11.34	263.36	6.67



## Estación Pijjiapan

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	67.72	109.40
5	82.13	176.15
10	91.68	211.56
15	97.07	224.11
20	100.84	232.20
30	106.10	242.97
50	112.69	255.94
75	117.89	265.95
100	121.57	272.98
125	124.42	278.40
150	126.75	282.79
200	130.42	289.70

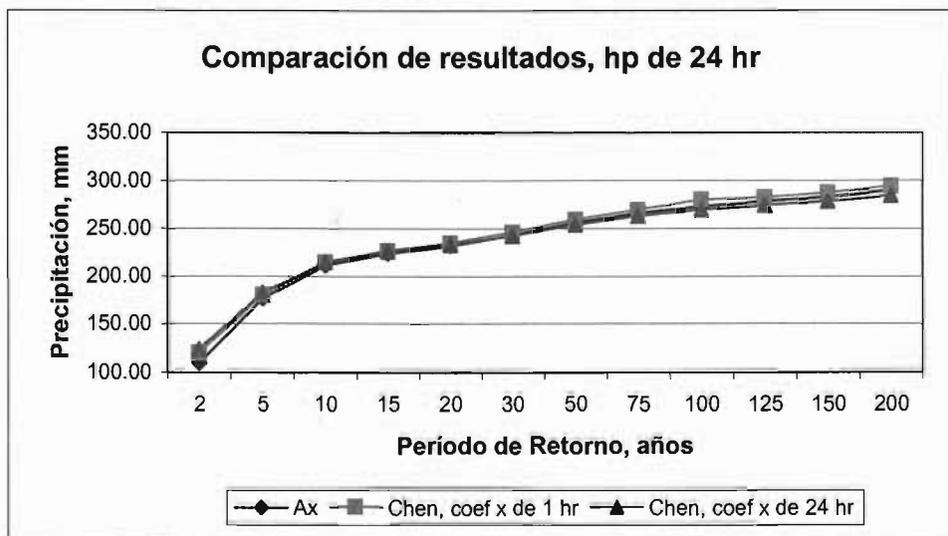
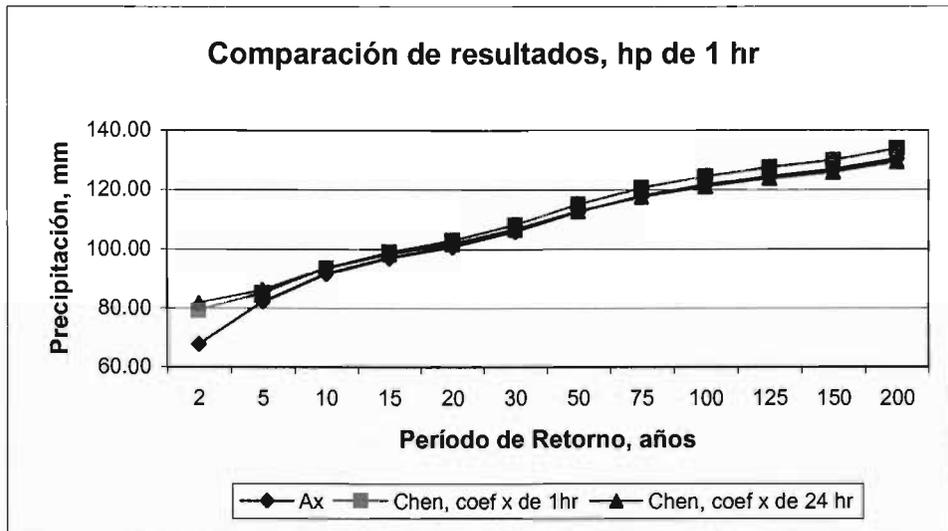
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
79.28	17.07	119.45	9.19
85.17	3.70	179.83	2.09
93.64	2.14	214.75	1.51
99.01	2.00	227.10	1.33
102.84	1.98	235.21	1.30
108.28	2.05	246.21	1.33
115.15	2.18	259.41	1.36
120.61	2.31	269.68	1.40
124.49	2.40	279.91	2.54
127.51	2.48	282.49	1.47
129.98	2.55	287.01	1.49
133.87	2.65	294.15	1.54

Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
81.84	20.85	123.31	12.71
86.18	4.93	181.97	3.30
93.64	2.14	214.75	1.51
98.42	1.39	225.85	0.78
101.84	0.99	233.01	0.35
106.68	0.55	242.58	-0.16
112.81	0.11	254.14	-0.70
117.68	-0.18	263.12	-1.06
121.14	-0.35	269.45	-1.29
123.83	-0.47	274.34	-1.46
126.03	-0.57	278.30	-1.59
129.50	-0.71	284.55	-1.78



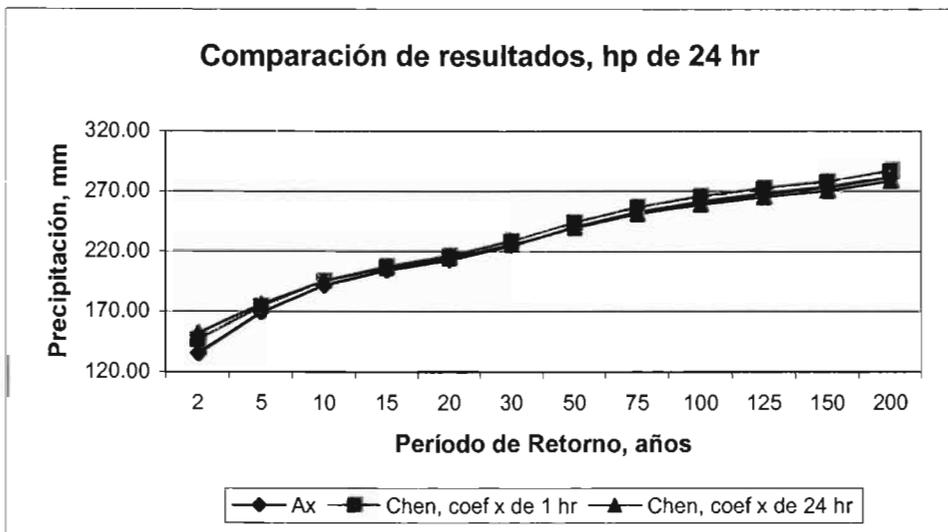
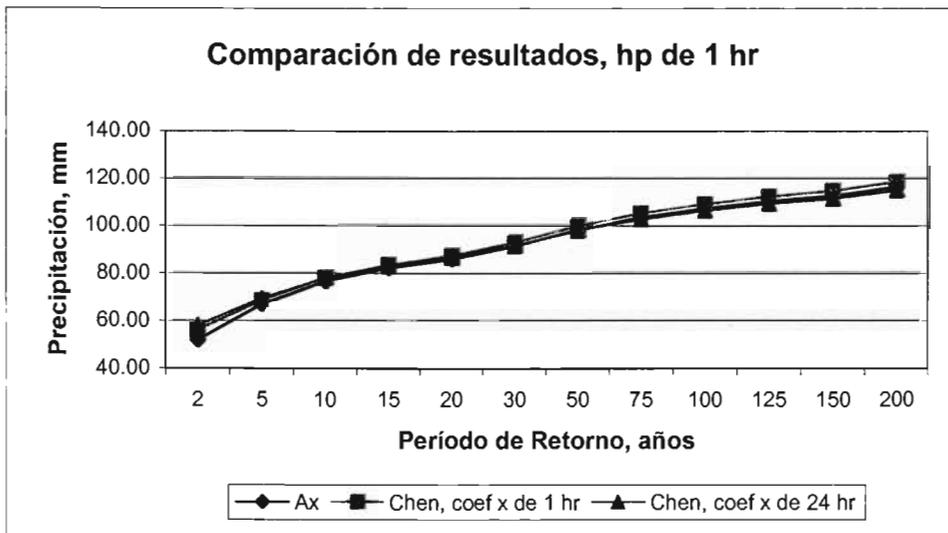
## Estación Presa Malpaso

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	52.06	135.46
5	66.81	169.09
10	76.58	191.35
15	82.09	203.92
20	85.95	212.71
30	91.34	225.00
50	98.07	240.36
75	103.39	252.49
100	107.16	261.07
125	110.08	267.71
150	112.46	273.15
200	116.21	281.71

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
56.13	7.82	146.83	8.39	58.04	11.49	151.81	12.07
68.51	2.54	173.93	2.86	69.33	3.77	176.02	4.10
77.89	1.71	195.01	1.91	77.89	1.71	195.01	1.91
83.38	1.57	207.43	1.72	82.90	0.99	206.23	1.13
87.28	1.55	216.23	1.65	86.46	0.59	214.20	0.70
92.77	1.57	228.67	1.63	91.47	0.14	225.47	0.21
99.69	1.65	244.38	1.67	97.78	-0.30	239.71	-0.27
105.18	1.73	256.83	1.72	102.80	-0.57	251.01	-0.59
109.08	1.79	265.65	1.75	106.36	-0.75	259.01	-0.79
112.11	1.84	272.50	1.79	109.12	-0.87	265.24	-0.92
114.58	1.89	278.11	1.82	111.37	-0.97	270.33	-1.03
118.48	1.95	286.96	1.86	114.93	-1.10	278.37	-1.19



## Estación San Joaquín

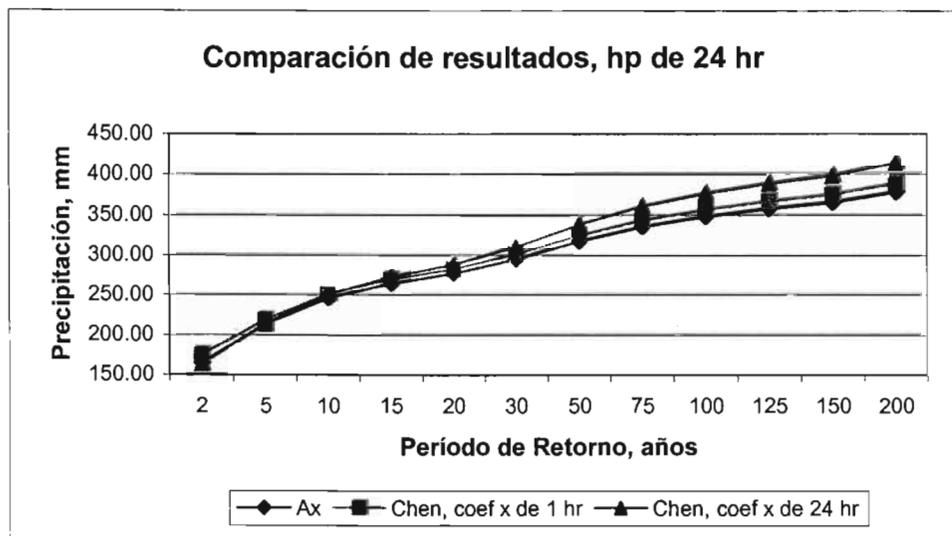
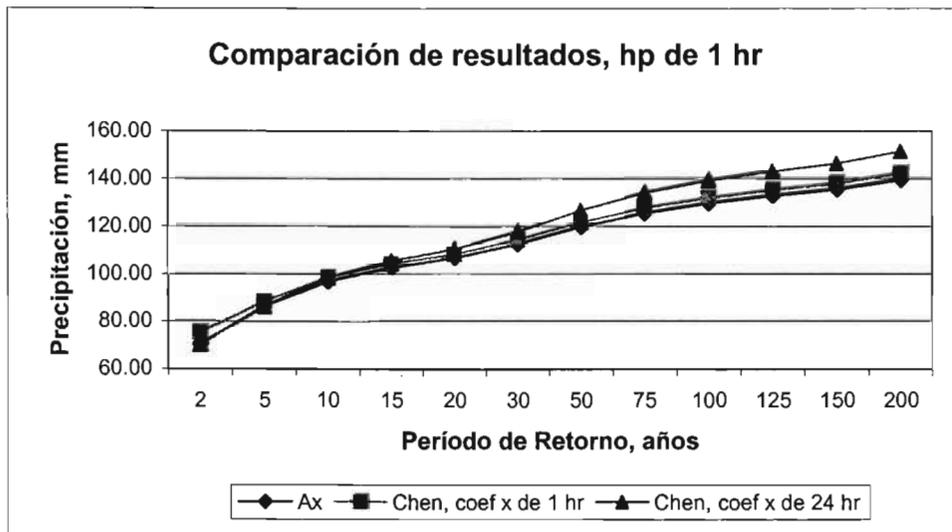
### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	70.41	164.50
5	86.28	213.59
10	96.79	246.08
15	102.72	264.42
20	106.87	277.26
30	112.67	295.19
50	119.92	317.61
75	125.65	335.31
100	129.70	347.84
125	132.84	357.55
150	135.40	365.47
200	139.44	377.97

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
75.29	6.93	175.07	6.43
88.39	2.45	219.07	2.57
98.42	1.68	251.09	2.04
104.31	1.55	269.70	2.00
108.49	1.52	282.88	2.03
114.39	1.53	301.43	2.11
121.83	1.59	324.79	2.26
127.75	1.67	343.31	2.39
131.95	1.73	356.47	2.48
135.21	1.78	366.68	2.55
137.87	1.82	375.02	2.61
142.07	1.89	388.19	2.70

Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
70.22	-0.27	163.27	-0.75
86.21	-0.08	213.67	0.04
98.42	1.68	251.09	2.04
105.58	2.78	272.99	3.24
110.67	3.56	288.56	4.08
117.84	4.59	310.52	5.19
126.89	5.81	338.27	6.50
134.08	6.71	360.33	7.46
139.19	7.32	376.03	8.10
143.15	7.76	388.21	8.58
146.38	8.11	398.18	8.95
151.49	8.64	413.93	9.51



## Estación Tapachula

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	66.18	107.62
5	81.45	135.07
10	91.55	153.25
15	97.25	163.50
20	101.25	170.68
30	106.82	180.71
50	113.79	193.25
75	119.30	203.15
100	123.20	210.16
125	126.21	215.59
150	128.68	220.02
200	132.56	227.01

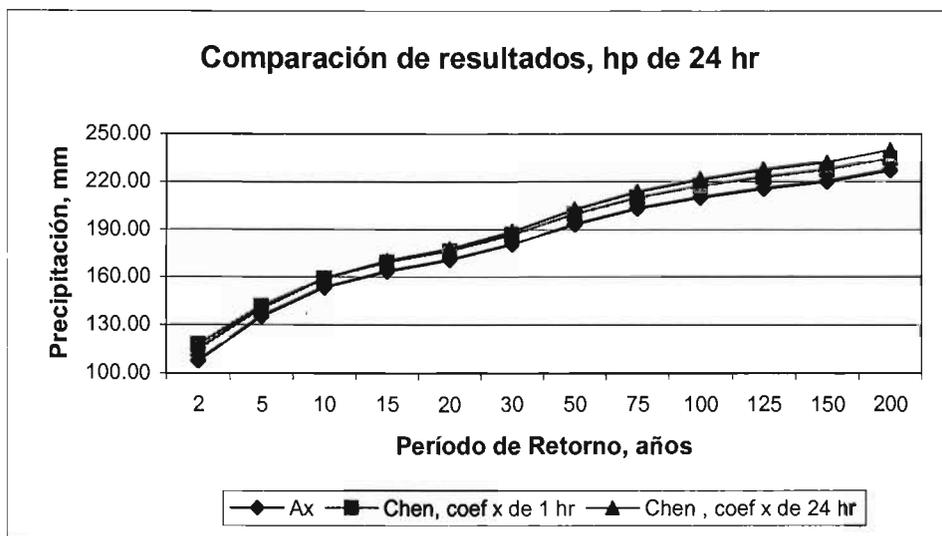
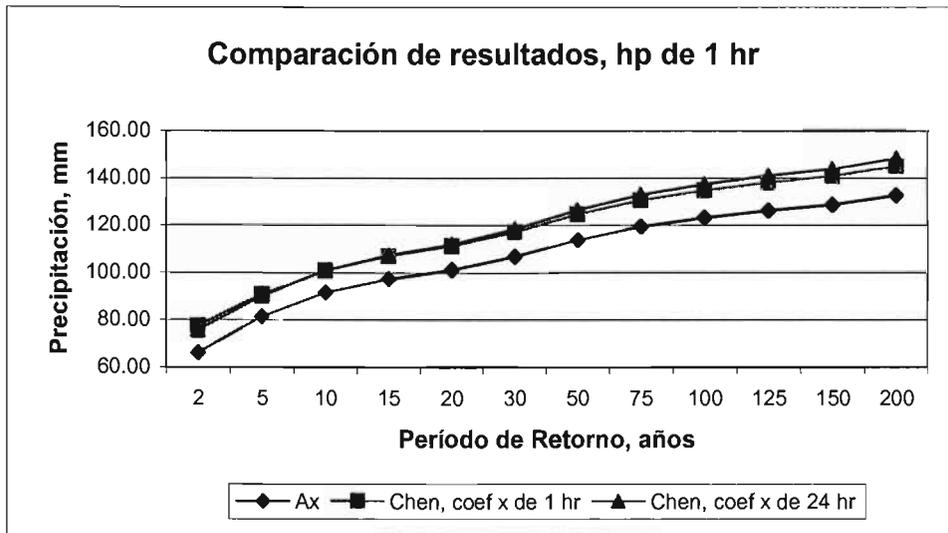
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente  $x=p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
77.52	17.14	117.75	9.41
90.79	11.47	141.29	4.61
100.94	10.26	158.90	3.69
106.89	9.91	169.16	3.46
111.12	9.75	176.43	3.37
117.08	9.60	186.70	3.31
124.60	9.50	199.63	3.30
130.57	9.45	209.88	3.31
134.80	9.42	217.16	3.33
138.09	9.41	222.82	3.35
140.77	9.40	227.42	3.36
145.01	9.39	234.71	3.39

Coeficiente  $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
75.69	14.37	114.97	6.83
90.01	10.51	140.07	3.70
100.94	10.26	158.90	3.69
107.35	10.39	169.88	3.90
111.90	10.52	177.67	4.10
118.31	10.76	188.67	4.40
126.40	11.08	202.51	4.79
132.82	11.33	213.50	5.09
137.37	11.50	221.29	5.30
140.90	11.64	227.36	5.46
143.79	11.74	232.29	5.58
148.35	11.91	240.11	5.77



## Estación Pueblo Nuevo, Dgo

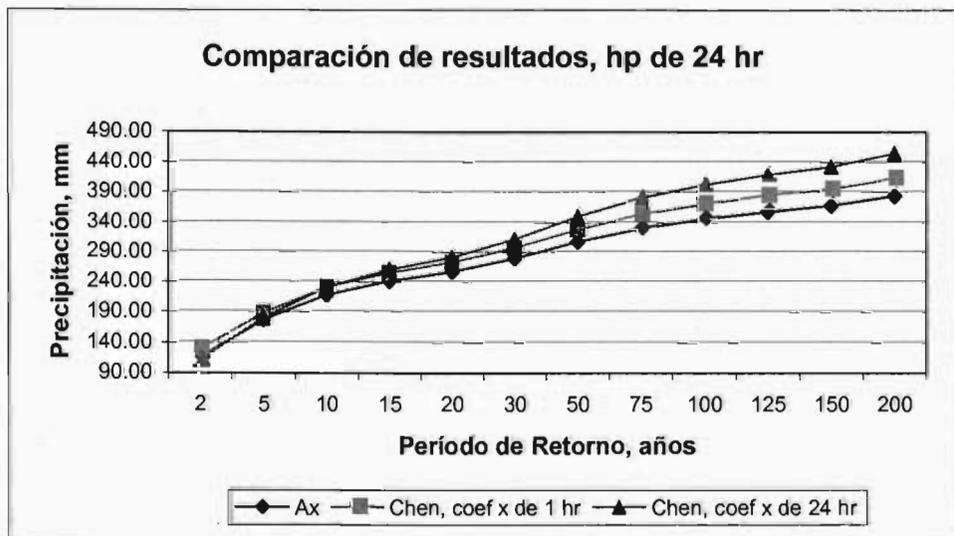
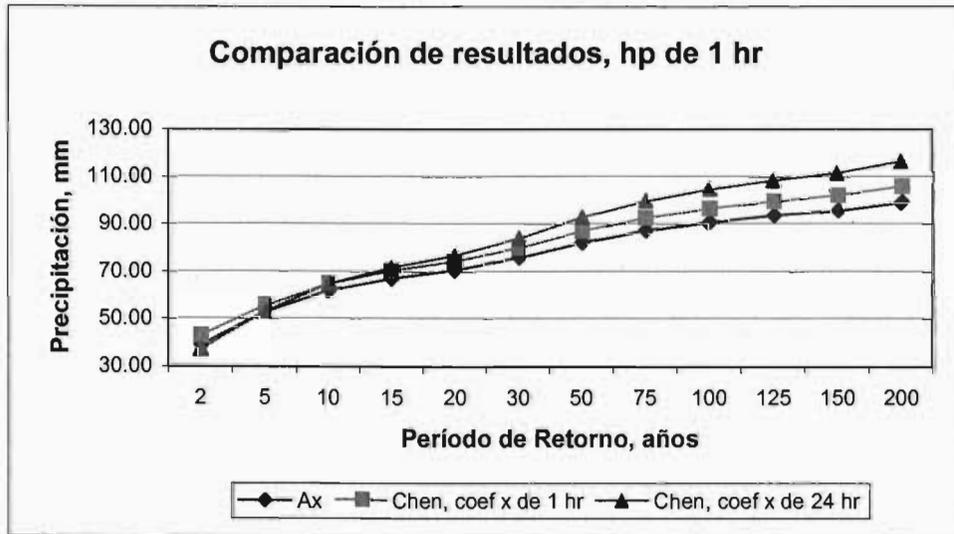
### Ajuste de lluvias con el Ax

Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	39.00	115.13
5	52.79	176.80
10	61.93	217.62
15	67.08	240.66
20	70.69	256.79
30	75.73	279.31
50	82.03	307.48
75	87.01	329.72
100	90.53	345.46
125	93.26	357.66
150	95.49	367.61
200	99.00	383.31

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
42.90	10.00	128.14	11.30
55.39	4.93	187.79	6.22
64.84	4.70	230.37	5.86
70.37	4.90	255.07	5.99
74.30	5.11	272.53	6.13
79.84	5.43	297.10	6.37
86.82	5.84	328.05	6.69
92.36	6.15	352.58	6.93
96.30	6.37	370.01	7.11
99.35	6.53	383.53	7.23
101.84	6.65	394.55	7.33
105.78	6.85	411.99	7.48

Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
37.34	-4.26	111.53	-3.13
52.95	0.30	179.54	1.55
64.84	4.70	230.37	5.86
71.81	7.05	260.29	8.16
76.77	8.60	281.58	9.65
83.76	10.60	311.69	11.59
92.58	12.86	349.83	13.77
99.59	14.46	380.19	15.31
104.57	15.51	401.81	16.31
108.42	16.26	418.61	17.04
111.59	16.86	432.33	17.61
116.58	17.76	454.06	18.46



### Estación Singuilucan

#### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	DG	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	18.26	35.75
5	26.55	50.51
10	35.45	65.98
15	39.44	75.10
20	42.02	81.29
30	45.46	89.69
50	49.61	99.90
75	52.82	107.81
100	55.06	113.35
125	56.79	117.62
150	58.19	121.09
200	60.41	126.56

#### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

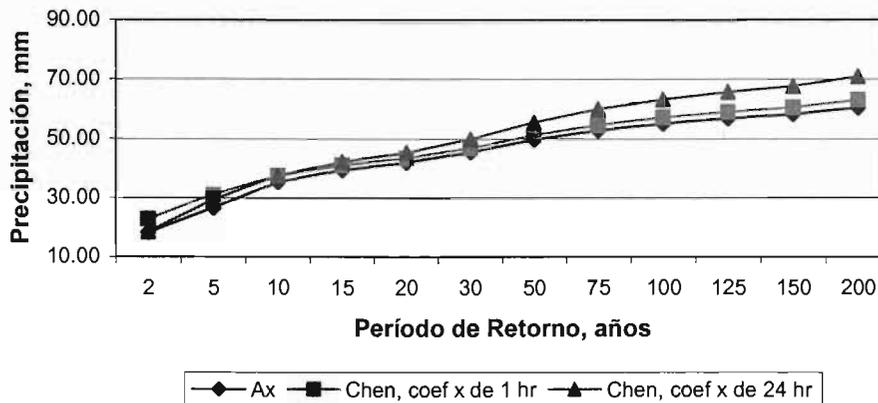
Coeficiente  $x = p_1^{100} / p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
22.79	24.81	43.30	21.12
31.19	17.48	57.29	13.42
37.66	6.23	67.38	2.12
41.06	4.11	75.29	0.25
43.47	3.45	81.43	0.17
46.88	3.12	89.87	0.20
51.20	3.20	100.53	0.63
54.65	3.46	109.00	1.10
57.10	3.71	115.02	1.47
59.01	3.91	119.69	1.76
60.57	4.09	123.53	2.02
63.03	4.34	129.55	2.36

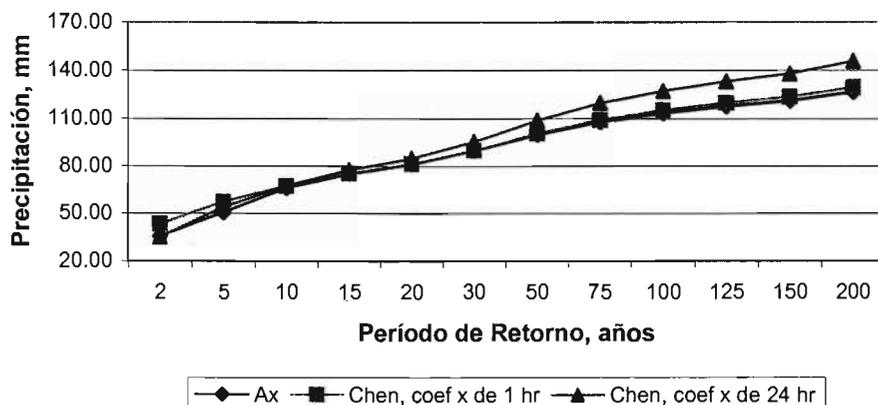
Coeficiente  $x = p_{24}^{100} / p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
18.51	1.37	35.17	-1.62
29.34	10.51	53.88	6.67
37.66	6.23	67.38	2.12
42.15	6.87	77.49	3.18
45.32	7.85	84.89	4.43
49.80	9.55	95.46	6.43
55.46	11.79	108.88	8.99
59.96	13.52	119.59	10.93
63.16	14.71	127.23	12.25
65.65	15.60	133.16	13.21
67.68	16.31	138.03	13.99
70.89	17.35	145.70	15.12

#### Comparación de resultados, hp de 1 hr



#### Comparación de resultados, hp de 24 hr



## Estación Ixtapan de la Sal

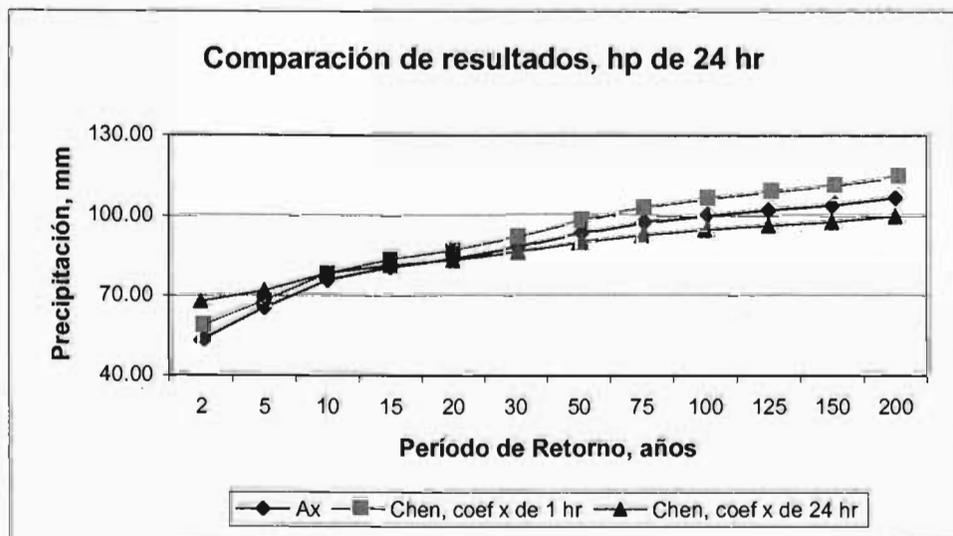
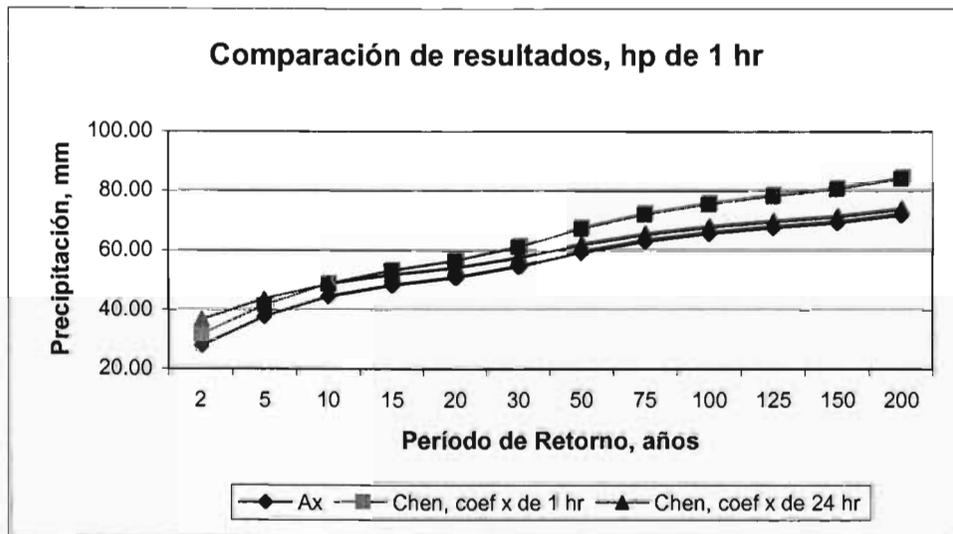
### Ajuste de lluvias con el Ax

Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	27.69	53.24
5	37.83	65.52
10	44.55	75.92
15	48.34	80.75
20	50.99	83.92
30	54.70	88.15
50	59.33	93.27
75	62.99	97.25
100	65.58	100.02
125	67.59	102.17
150	69.22	103.91
200	71.81	106.66

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
31.43	13.51	58.45	9.79
41.58	9.91	68.23	4.14
48.77	9.47	78.46	3.35
53.25	10.16	83.61	3.54
56.51	10.83	87.11	3.80
61.20	11.88	91.93	4.29
67.23	13.32	97.93	5.00
72.10	14.46	102.67	5.57
75.60	15.28	106.02	6.00
78.33	15.89	108.62	6.31
80.57	16.40	110.76	6.59
84.13	17.16	114.12	6.99

Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
36.50	31.82	67.87	27.48
43.83	15.86	71.93	9.78
48.77	9.47	78.46	3.35
51.91	7.39	81.51	0.94
54.21	6.31	83.56	-0.43
57.51	5.14	86.39	-2.00
61.77	4.11	89.97	-3.54
65.19	3.49	92.84	-4.53
67.66	3.17	94.88	-5.14
69.58	2.94	96.49	-5.56
71.15	2.79	97.81	-5.87
73.65	2.56	99.90	-6.34



### Estación San Pedro, Nay

#### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	70.18	115.44
5	87.49	152.65
10	98.95	177.29
15	105.41	191.19
20	109.94	200.92
30	116.26	214.52
50	124.16	231.51
75	130.41	244.93
100	134.83	254.43
125	138.25	261.79
150	141.04	267.80
200	145.45	277.27

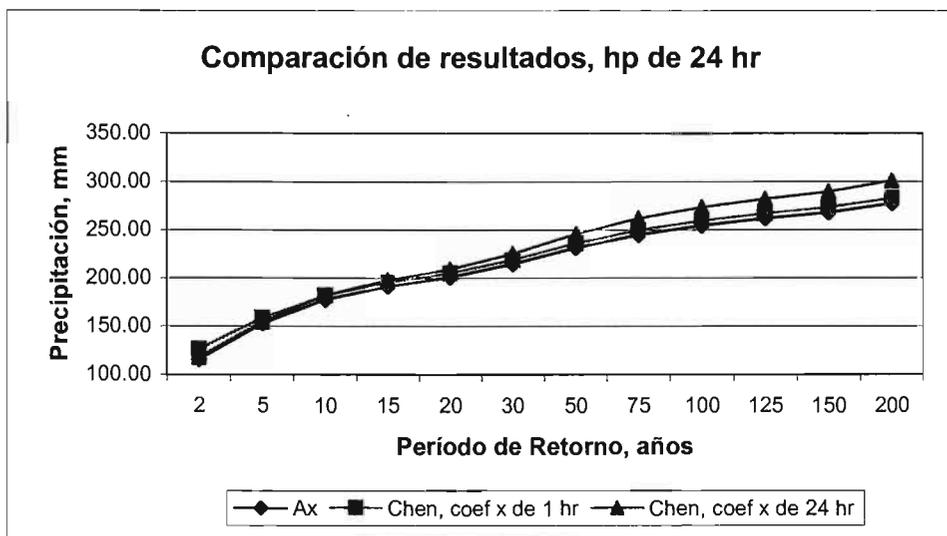
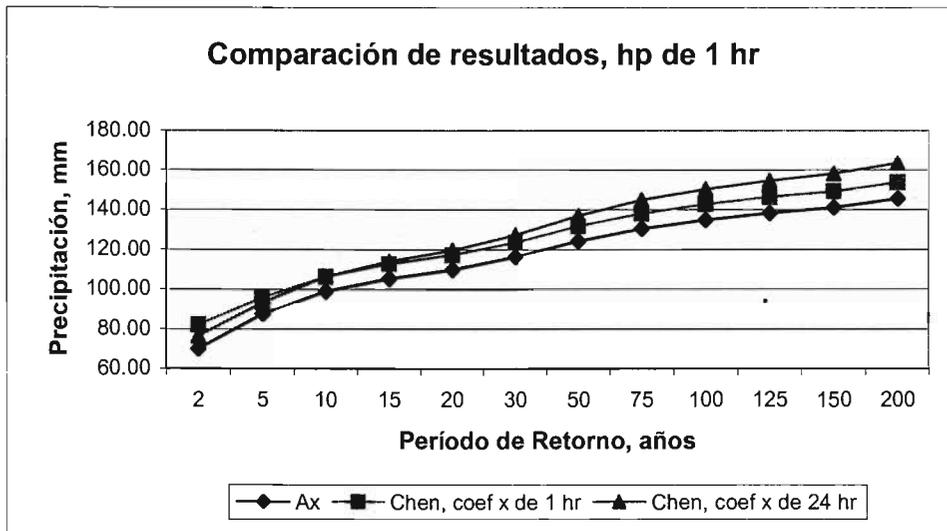
#### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente  $x=p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
82.06	16.93	126.43	9.52
95.63	9.30	158.34	3.73
106.36	7.49	181.84	2.57
112.70	6.92	195.54	2.28
117.22	6.62	205.23	2.15
123.60	6.31	218.91	2.05
131.67	6.05	236.13	2.00
138.10	5.90	249.79	1.98
142.66	5.81	259.49	1.99
146.20	5.75	267.03	2.00
149.09	5.71	273.19	2.01
153.67	5.65	282.90	2.03

Coeficiente  $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
76.49	8.99	117.84	2.08
93.29	6.63	154.46	1.19
106.36	7.49	181.84	2.57
114.05	8.20	197.88	3.50
119.53	8.72	209.27	4.16
127.25	9.45	225.36	5.05
137.00	10.34	245.68	6.12
144.75	11.00	261.82	6.90
150.25	11.44	273.30	7.42
154.52	11.77	282.22	7.80
158.01	12.03	289.52	8.11
163.51	12.42	301.03	8.57



## Estación Jacatepec

### Ajuste de lluvias con el Ax

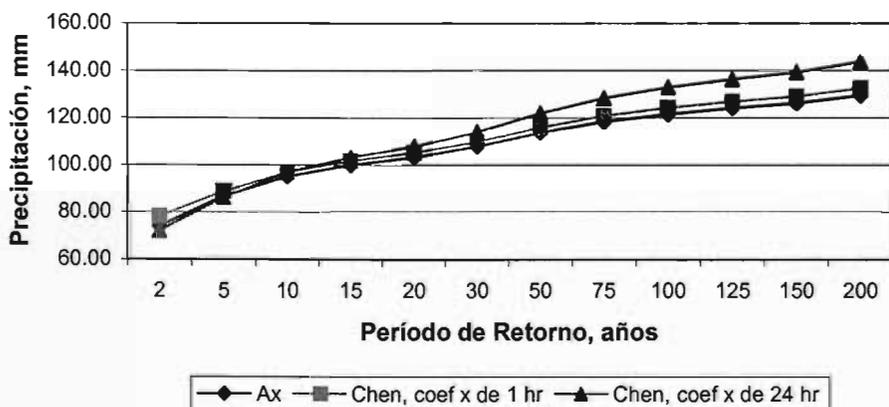
Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	74.08	183.43
5	86.80	229.07
10	95.22	259.29
15	99.97	276.34
20	103.30	288.28
30	107.94	304.96
50	113.75	325.80
75	118.34	342.27
100	121.58	353.92
125	124.10	362.95
150	126.15	370.32
200	129.39	381.94

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

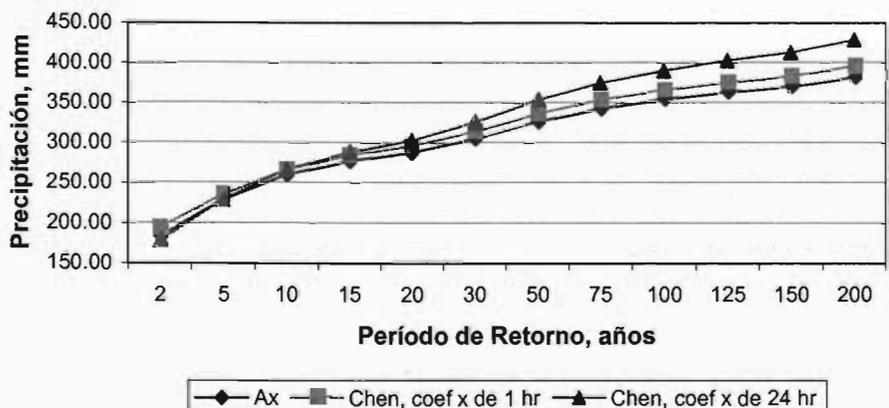
Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
78.13	5.47	193.68	5.59
88.77	2.27	235.73	2.91
96.92	1.79	266.10	2.63
101.71	1.74	283.70	2.66
105.11	1.75	296.15	2.73
109.92	1.83	313.70	2.87
115.98	1.96	335.76	3.06
120.81	2.09	353.28	3.22
124.23	2.18	365.73	3.34
126.89	2.25	375.36	3.42
129.06	2.31	383.26	3.49
132.49	2.40	395.69	3.60

Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
72.16	-2.59	178.89	-2.48
86.20	-0.69	228.91	-0.07
96.92	1.79	266.10	2.63
103.21	3.24	287.90	4.18
107.69	4.25	303.40	5.24
114.00	5.61	325.35	6.69
121.97	7.23	353.09	8.38
128.31	8.42	375.21	9.62
132.81	9.24	390.97	10.47
136.30	9.83	403.20	11.09
139.15	10.31	413.22	11.58
143.66	11.03	429.05	12.33

### Comparación de resultados, hp de 1 hr



### Comparación de resultados, hp de 24 hr



## Estación La Estrella

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	73.13	204.73
5	92.79	285.45
10	105.80	327.13
15	113.15	342.40
20	118.29	352.26
30	125.47	365.40
50	134.45	381.24
75	141.54	393.47
100	146.56	402.06
125	150.44	408.66
150	153.62	414.04
200	158.61	422.50

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

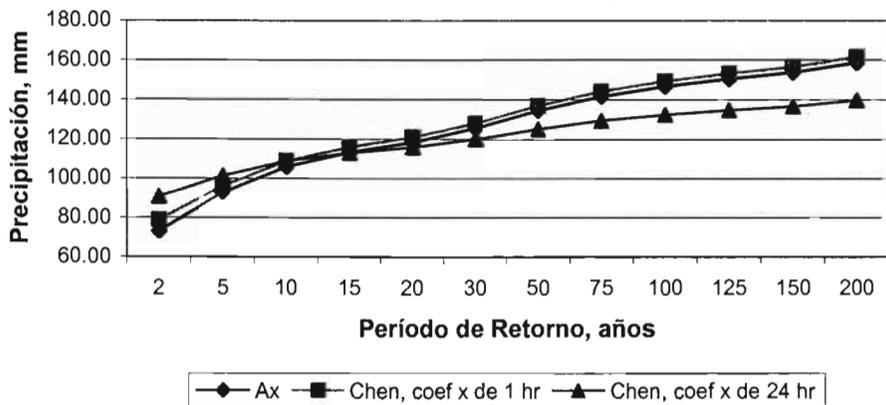
Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
78.79	7.74	222.72	8.79
96.07	3.53	299.26	4.84
108.73	2.77	340.46	4.07
115.84	2.38	354.88	3.64
120.88	2.19	364.28	3.41
127.98	2.00	376.94	3.16
136.96	1.87	392.37	2.92
144.12	1.82	404.41	2.78
149.22	1.81	412.91	2.70
153.18	1.82	419.49	2.65
156.42	1.82	424.83	2.61
161.56	1.86	433.29	2.55

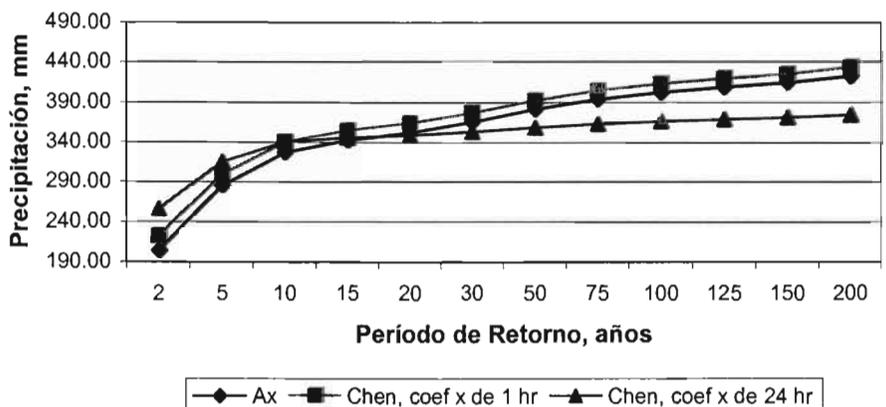
Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
90.56	23.83	256.00	25.04
101.18	9.04	315.18	10.42
108.73	2.77	340.46	4.07
112.86	-0.26	345.74	0.98
115.79	-2.11	348.93	-0.95
119.93	-4.42	353.21	-3.34
125.18	-6.89	358.62	-5.93
129.39	-8.58	363.07	-7.73
132.39	-9.67	366.35	-8.88
134.73	-10.44	368.96	-9.71
136.65	-11.05	371.12	-10.37
139.69	-11.93	374.64	-11.33

### Comparación de resultados, hp de 1 hr



### Comparación de resultados, hp de 24 hr



## Estación Monte Rosa

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	56.34	127.89
5	77.50	158.54
10	91.51	178.83
15	99.41	190.28
20	104.94	198.30
30	112.68	209.50
50	122.34	223.50
75	129.97	234.55
100	135.37	242.38
125	139.56	248.44
150	142.97	253.39
200	148.36	261.19

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

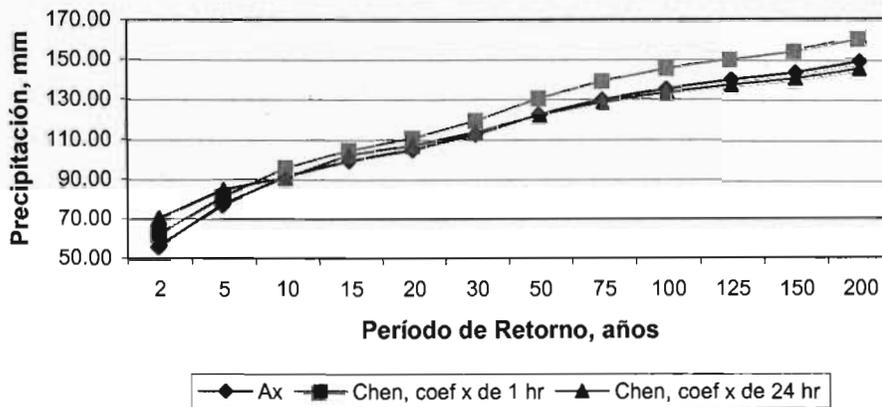
Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
62.25	10.49	140.16	9.59
81.31	4.92	162.59	2.55
95.96	4.86	181.91	1.72
104.60	5.22	193.49	1.69
110.75	5.54	201.79	1.76
119.47	6.03	213.51	1.91
130.49	6.66	228.37	2.18
139.29	7.17	240.20	2.41
145.54	7.51	248.62	2.57
150.40	7.77	255.15	2.70
154.38	7.98	260.50	2.81
160.66	8.29	268.93	2.96

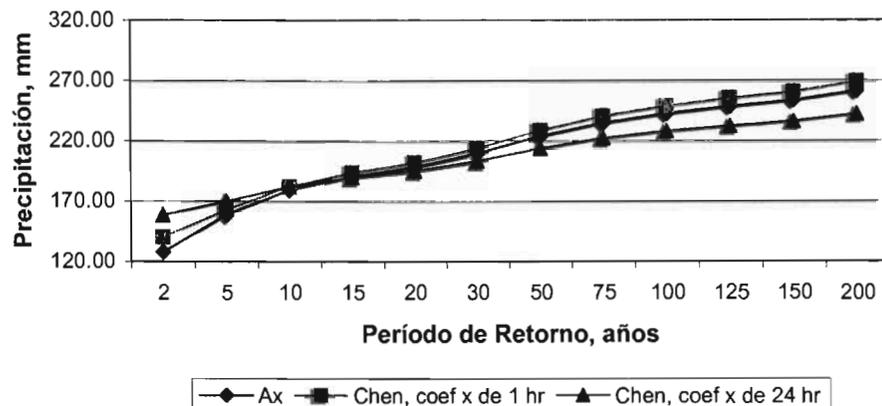
Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
70.36	24.88	158.41	23.86
84.86	9.50	169.68	7.03
90.96	-0.60	181.91	1.72
102.49	3.10	189.60	-0.36
107.14	2.10	195.21	-1.56
113.72	0.92	203.23	-2.99
122.03	-0.25	213.56	-4.45
128.64	-1.02	221.85	-5.41
133.35	-1.49	227.80	-6.02
137.00	-1.83	232.15	-6.56
139.99	-2.08	236.22	-6.78
144.71	-2.46	242.22	-7.26

### Comparación de resultados, hp de 1 hr



### Comparación de resultados, hp de 24 hr



## Estación Papaloapan

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	54.55	126.60
5	72.72	150.70
10	84.75	166.66
15	91.54	175.66
20	96.29	181.96
30	102.93	190.76
50	111.23	201.77
75	117.78	210.46
100	122.42	216.61
125	126.02	221.38
150	128.95	225.27
200	133.57	231.40

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

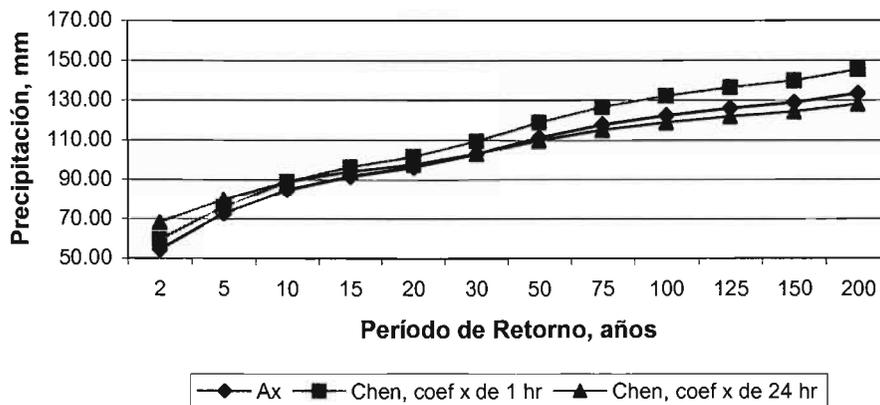
Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
59.64	9.33	137.66	8.74
76.04	4.57	154.35	2.42
88.74	4.71	169.46	1.68
96.26	5.16	178.60	1.67
101.63	5.55	185.17	1.76
109.25	6.14	194.50	1.96
118.92	6.91	206.35	2.27
126.64	7.52	215.82	2.55
132.15	7.95	222.55	2.74
136.44	8.27	227.77	2.89
139.94	8.52	232.06	3.01
145.49	8.92	238.83	3.21

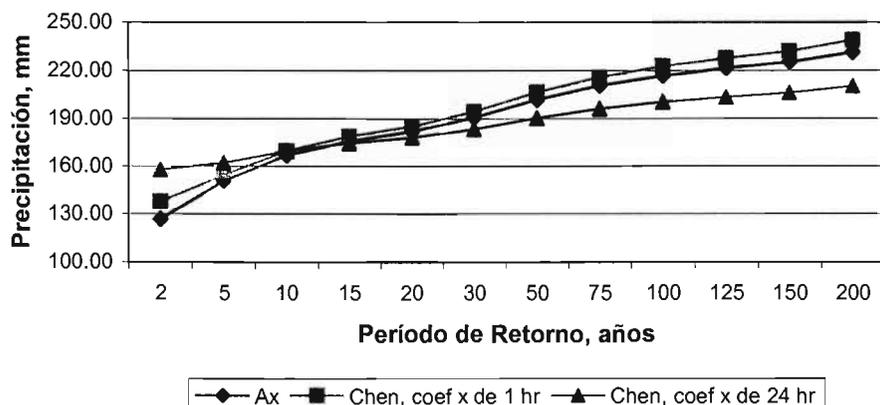
Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
68.39	25.37	157.86	24.69
79.87	9.83	162.11	7.57
88.74	4.71	169.46	1.68
93.98	2.67	174.38	-0.73
97.72	1.49	178.06	-2.14
103.02	0.09	183.42	-3.85
109.74	-1.34	190.42	-5.63
115.09	-2.28	196.13	-6.81
118.90	-2.88	200.24	-7.56
121.87	-3.29	203.46	-8.09
124.30	-3.61	206.11	-8.51
128.13	-4.07	210.33	-9.11

#### Comparación de resultados, hp de 1 hr



#### Comparación de resultados, hp de 24 hr



## Estación San Pedro Nolasco

### Ajuste de lluvias con el Ax

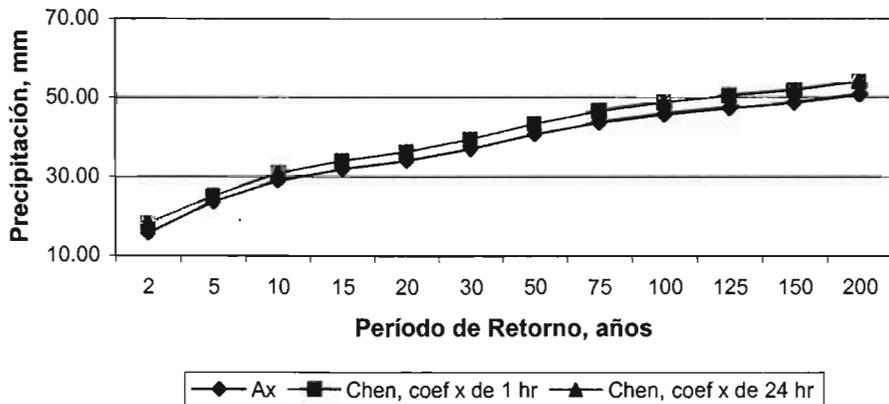
Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	15.62	55.42
5	23.68	82.51
10	29.03	111.94
15	32.04	125.06
20	34.15	133.55
30	37.10	144.87
50	40.78	158.51
75	43.69	169.05
100	45.75	176.43
125	47.35	182.12
150	48.65	186.73
200	50.71	194.01

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

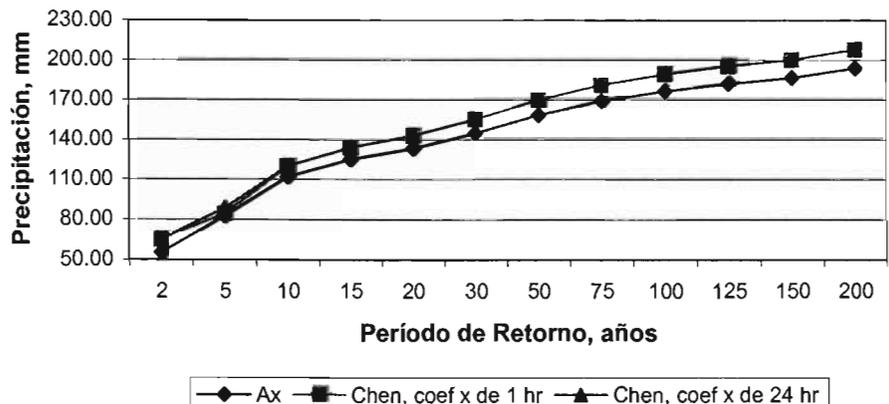
Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
18.19	16.45	65.23	17.70
25.09	5.95	84.41	2.30
30.95	6.61	120.08	7.27
34.18	6.68	134.11	7.24
36.42	6.65	143.18	7.21
39.56	6.63	155.29	7.19
43.48	6.62	169.96	7.22
46.58	6.61	181.31	7.25
48.77	6.60	189.26	7.27
50.47	6.59	195.37	7.28
51.86	6.60	200.35	7.29
54.05	6.59	208.18	7.30

Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
18.19	16.45	65.22	17.68
25.09	5.95	88.40	7.14
30.95	6.61	120.08	7.27
34.18	6.68	134.11	7.24
36.42	6.65	143.19	7.22
39.56	6.63	155.30	7.20
43.48	6.62	169.97	7.23
46.58	6.61	181.32	7.26
48.77	6.60	189.28	7.28
50.48	6.61	195.39	7.29
51.86	6.60	200.37	7.30
54.05	6.59	208.20	7.31

#### Comparación de resultados, hp de 1 hr



#### Comparación de resultados, hp de 24 hr



### Estación Damián Carmona

#### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	56.86	114.69
5	67.74	162.10
10	74.94	214.25
15	79.00	236.61
20	81.84	251.06
30	85.81	270.29
50	90.78	293.45
75	94.70	311.35
100	97.48	323.86
125	99.63	333.51
150	101.38	341.39
200	104.15	353.72

#### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

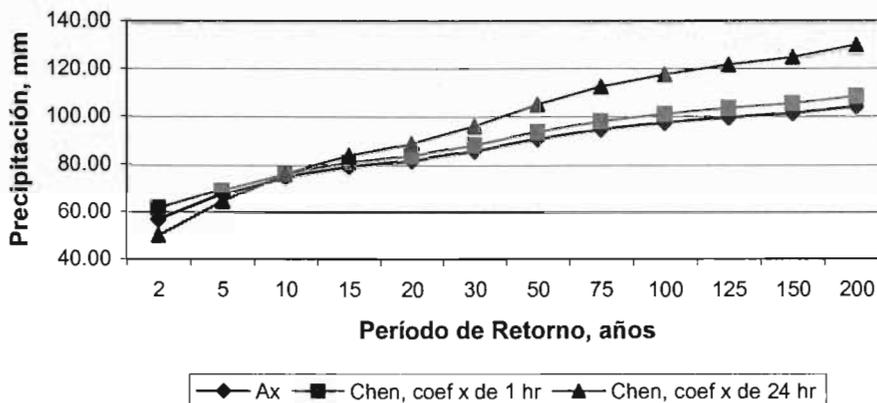
Coeficiente  $x = p_1^{100} / p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
61.63	8.39	112.23	-2.14
69.44	2.51	165.80	2.28
76.47	2.04	220.96	3.13
80.83	2.32	245.02	3.55
83.92	2.54	260.67	3.83
88.26	2.86	281.58	4.18
93.73	3.25	306.85	4.57
98.06	3.55	326.48	4.86
101.13	3.74	340.21	5.05
103.52	3.90	350.82	5.19
105.47	4.03	359.52	5.31
108.54	4.22	373.09	5.48

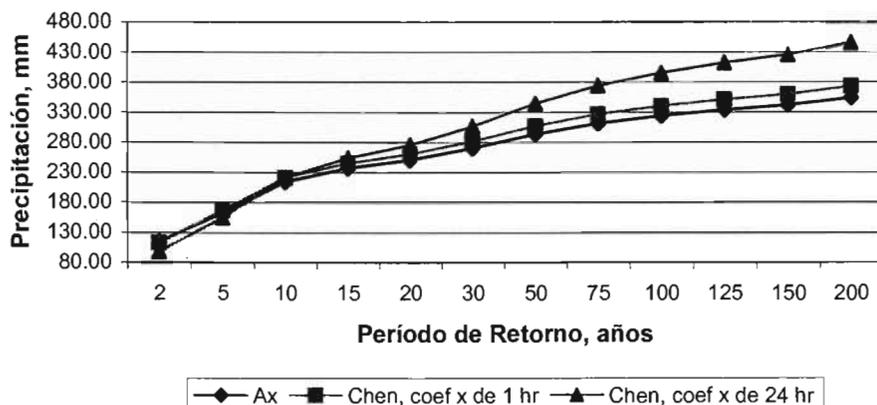
Coeficiente  $x = p_{24}^{100} / p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
50.13	-11.84	98.61	-14.02
64.59	-4.65	154.23	-4.86
76.47	2.04	220.96	3.13
83.68	5.92	253.66	7.21
88.80	8.50	275.84	9.87
96.08	11.97	306.35	13.34
105.14	15.82	344.22	17.30
112.38	18.67	374.16	20.17
117.52	20.56	395.34	22.07
121.52	21.97	411.82	23.48
124.78	23.08	425.37	24.60
129.94	24.76	446.65	26.27

Comparación de resultados, hp de 1 hr



Comparación de resultados, hp de 24 hr



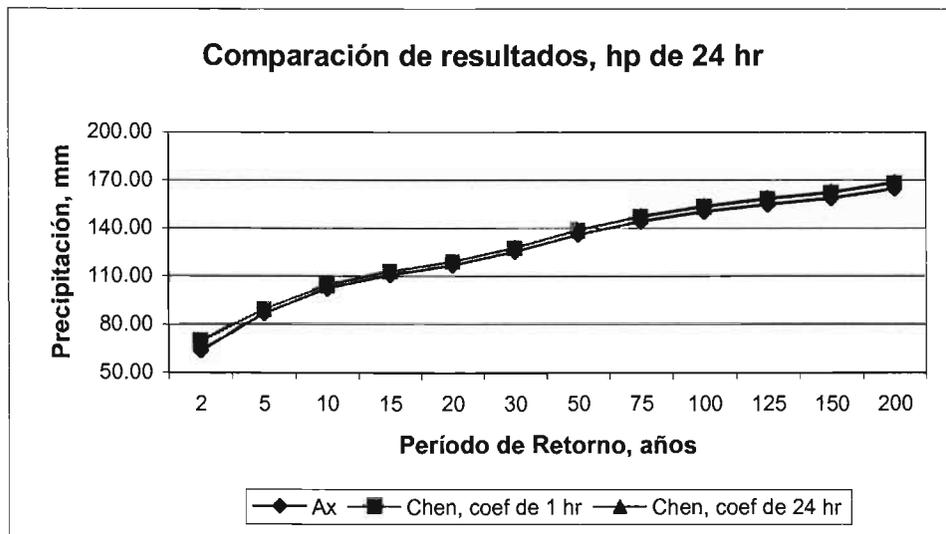
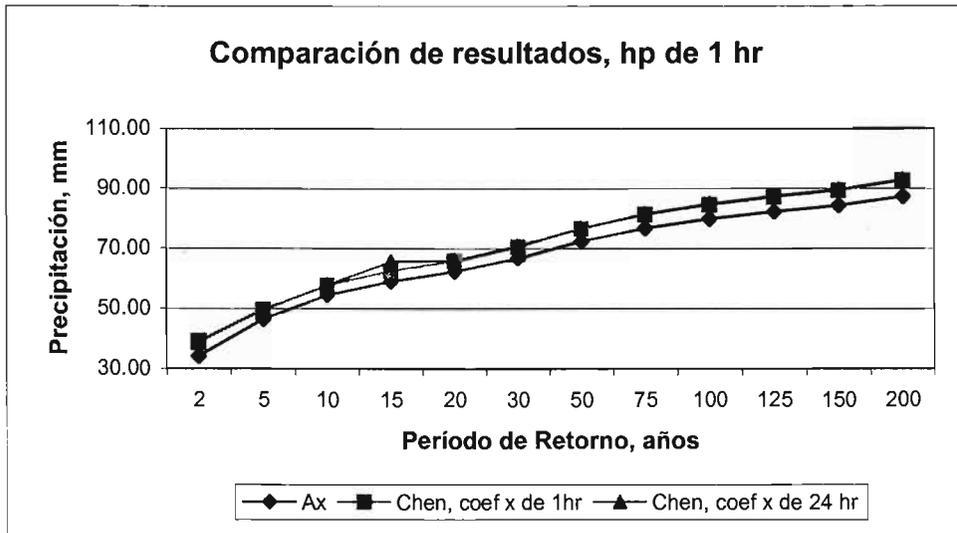
## Estación Nogal Oscuro

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	34.20	63.79
5	46.41	86.93
10	54.50	102.26
15	59.06	110.91
20	62.25	116.96
30	66.71	125.42
50	72.29	135.99
75	76.70	144.34
100	79.81	150.25
125	82.23	154.82
150	84.20	158.56
200	87.31	164.45

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
39.07	14.24	70.10	9.89	38.88	13.68	69.74	9.33
49.71	7.11	89.62	3.09	49.62	6.92	89.47	2.92
57.76	5.98	104.35	2.04	57.76	5.98	104.35	2.04
62.46	5.76	112.97	1.86	65.51	10.92	113.06	1.94
65.81	5.72	119.08	1.81	65.89	5.85	119.24	1.95
70.51	5.70	127.70	1.82	70.65	5.91	127.95	2.02
76.45	5.75	138.55	1.88	76.65	6.03	138.90	2.14
81.16	5.81	147.15	1.95	81.41	6.14	147.60	2.26
84.50	5.88	153.27	2.01	84.78	6.23	153.78	2.35
87.09	5.91	158.00	2.05	87.40	6.29	158.56	2.42
89.21	5.95	161.87	2.09	89.54	6.34	162.48	2.47
92.55	6.00	167.98	2.15	92.92	6.43	168.65	2.55



### Estación Cárdenas

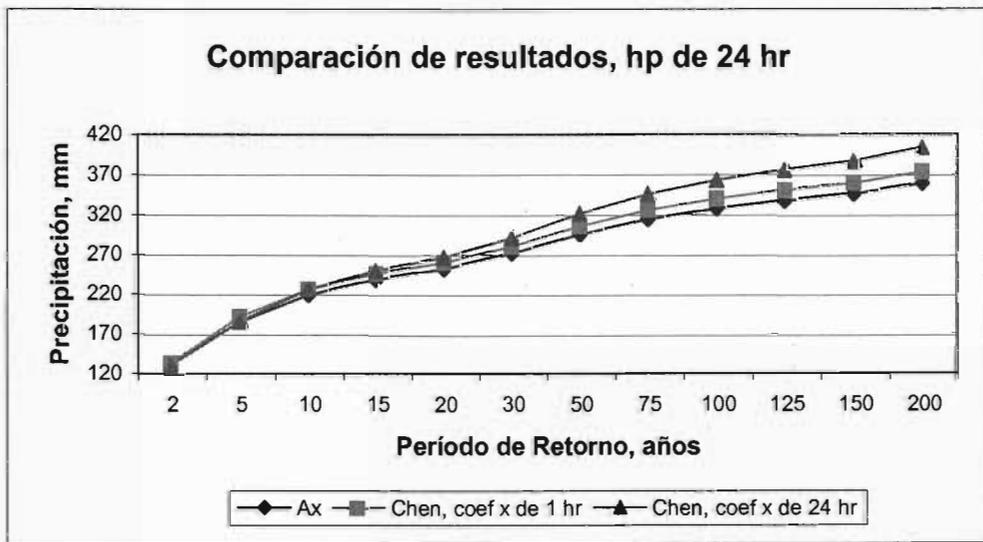
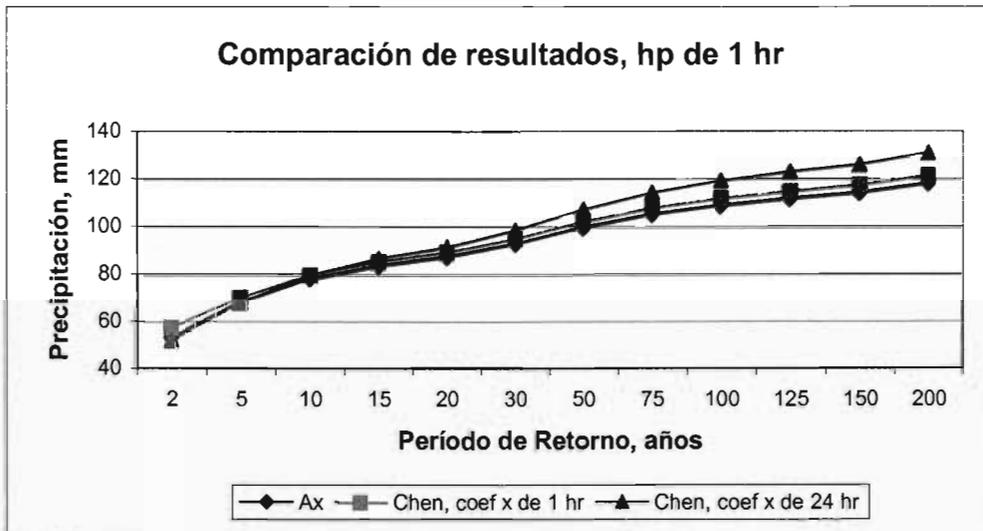
#### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	53.33	134.21
5	68.23	186.16
10	78.10	220.16
15	83.66	239.96
20	87.56	253.55
30	93.01	272.53
50	99.81	296.25
75	105.19	314.99
100	108.99	328.25
125	111.90	338.53
150	114.34	346.92
200	118.14	360.14

#### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
57.47	7.76	134.21	0.00
70.03	2.64	192.68	3.50
79.63	1.96	227.16	3.18
85.27	1.92	247.21	3.02
89.27	1.95	261.38	3.09
94.91	2.04	281.31	3.22
102.03	2.22	306.45	3.44
107.69	2.38	326.38	3.62
111.70	2.49	340.54	3.74
114.82	2.61	351.51	3.83
117.36	2.64	360.51	3.92
121.38	2.74	374.37	3.95

Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
52.32	-1.89	132.00	-1.65
67.81	-0.62	186.57	0.22
79.63	1.96	227.16	3.18
86.57	3.48	250.98	4.59
91.50	4.50	267.90	5.66
98.45	5.85	291.79	7.07
107.22	7.42	322.02	8.70
114.18	8.55	346.07	9.87
119.13	9.30	363.18	10.64
122.97	9.89	376.47	11.21
126.11	10.29	387.36	11.66
131.06	10.94	404.50	12.32



## Estación Teapa

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	60.76	167.93
5	71.50	219.55
10	78.61	246.00
15	82.62	257.48
20	85.42	265.00
30	89.35	275.10
50	94.25	287.33
75	98.12	296.81
100	100.86	303.46
125	102.99	308.59
150	104.72	312.76
200	107.45	319.31

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

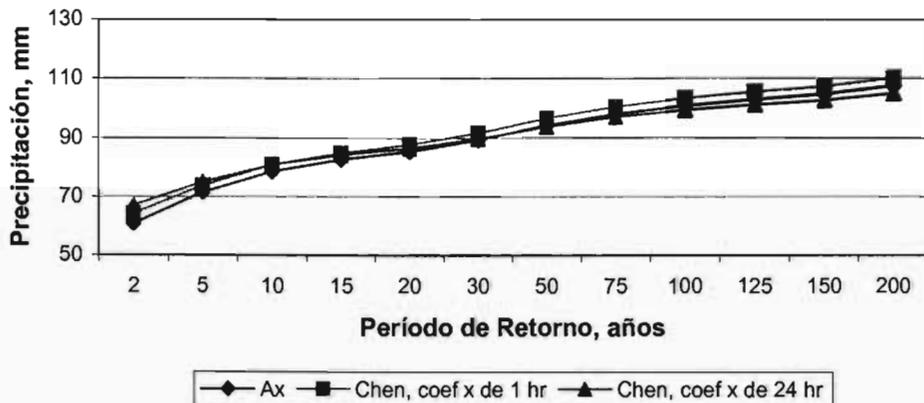
Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
64.22	5.69	179.11	6.66
73.85	3.29	229.62	4.59
80.92	2.94	256.41	4.23
84.89	2.75	267.94	4.06
87.71	2.68	275.55	3.98
91.66	2.59	285.76	3.87
96.63	2.53	298.24	3.80
100.57	2.50	307.96	3.76
103.36	2.48	314.78	3.73
105.53	2.47	320.03	3.71
107.30	2.46	324.33	3.70
110.10	2.47	331.07	3.68

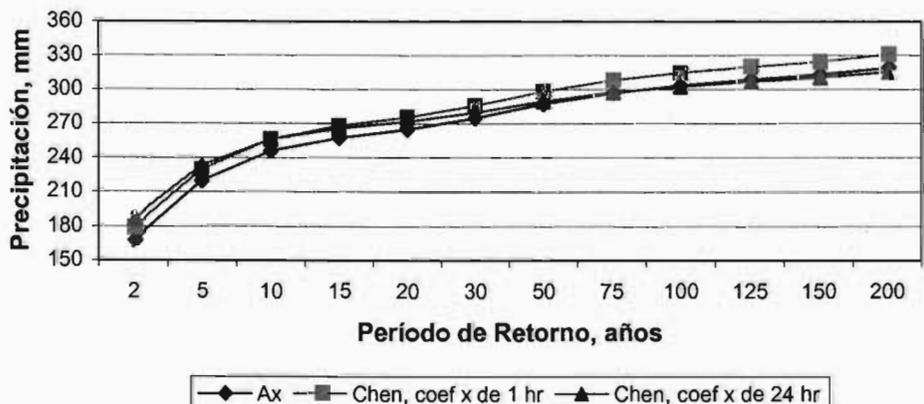
Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
66.99	10.25	186.83	11.25
75.05	4.97	233.36	6.29
80.92	2.94	256.41	4.23
84.19	1.90	265.71	3.20
86.50	1.26	271.77	2.55
89.75	0.45	279.82	1.72
93.84	-0.44	289.63	0.80
97.08	-1.06	297.27	0.15
99.38	-1.47	302.65	-0.27
101.16	-1.78	306.78	-0.59
102.62	-2.01	310.17	-0.83
104.92	-2.35	315.50	-1.19

### Comparación de resultados, hp de 1 hr



### Comparación de resultados, hp de 24 hr



### Estación Villahermosa

#### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	56.69	115.87
5	73.43	176.92
10	84.51	220.08
15	90.77	239.58
20	95.14	252.37
30	101.26	269.55
50	108.90	290.36
75	114.94	306.47
100	119.22	317.78
125	122.53	326.51
150	125.23	333.61
200	129.49	344.75

#### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

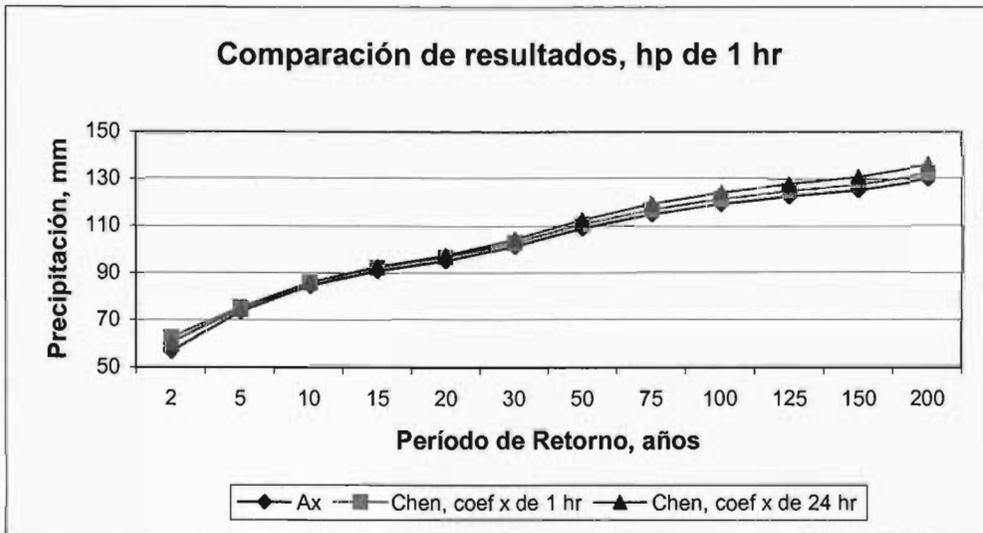
Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
62.57	10.37	124.99	7.87
75.43	2.72	181.47	2.57
85.93	1.68	224.97	2.22
92.16	1.53	244.78	2.17
96.58	1.51	257.89	2.19
102.8	1.52	275.54	2.22
110.64	1.60	297.06	2.31
116.86	1.67	313.76	2.38
121.27	1.72	325.49	2.43
124.69	1.76	334.57	2.47
127.48	1.80	341.96	2.50
131.89	1.85	353.56	2.56

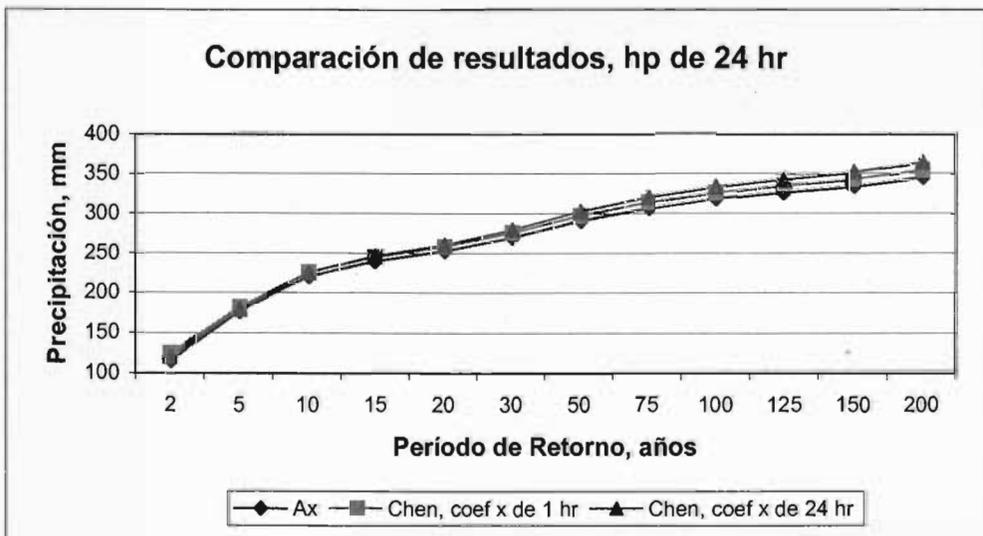
Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
60.53	6.77	120.92	4.36
74.57	1.55	179.39	1.40
85.93	1.68	224.97	2.22
92.66	2.08	246.12	2.73
97.44	2.42	260.18	3.09
104.17	2.87	279.19	3.58
112.64	3.43	302.42	4.15
119.36	3.85	320.46	4.56
124.12	4.11	333.15	4.84
127.82	4.32	342.97	5.04
130.84	4.48	350.97	5.20
135.61	4.73	363.52	5.44

**Comparación de resultados, hp de 1 hr**



**Comparación de resultados, hp de 24 hr**



## Estación Ahualulco

### Ajuste de lluvias con el Ax

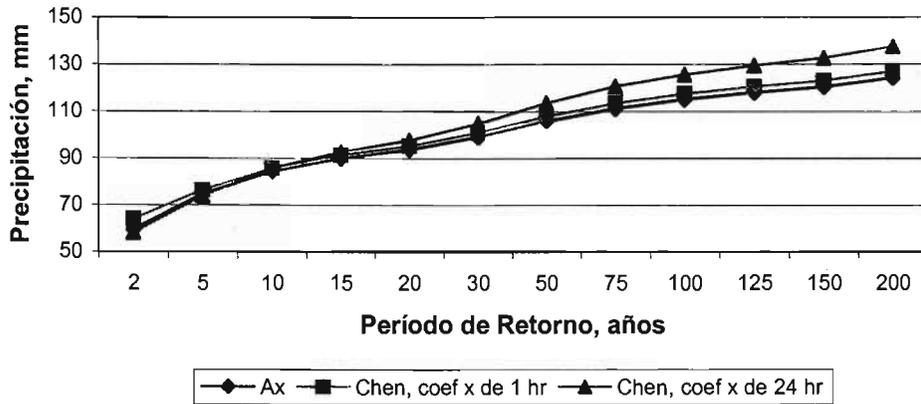
Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	59.72	143.40
5	74.53	193.49
10	84.34	226.65
15	89.87	245.36
20	93.75	258.46
30	99.16	276.76
50	105.92	299.63
75	111.27	317.70
100	115.05	330.49
125	117.98	340.39
150	120.37	348.48
200	124.14	361.23

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

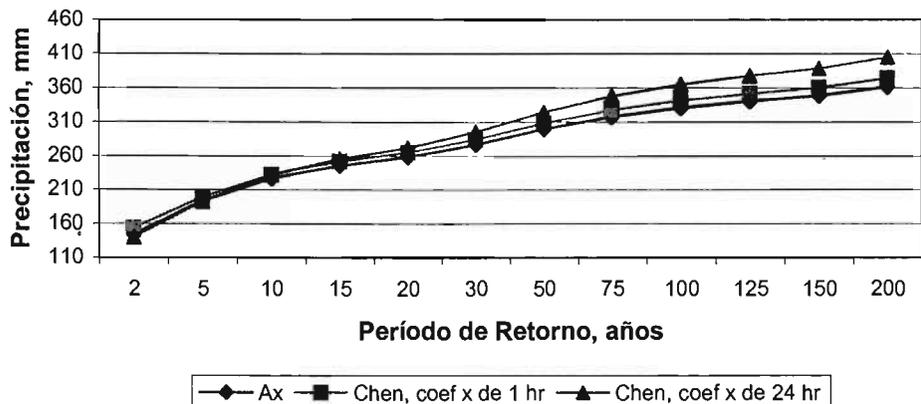
Coeficiente $x = p_1^{100}/p_1^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
64.05	7.25	153.51	7.05
76.37	2.47	199.24	2.97
85.81	1.74	232.32	2.50
91.36	1.66	251.52	2.51
95.30	1.65	265.09	2.57
100.87	1.72	284.23	2.70
107.90	1.87	308.33	2.90
113.48	1.99	327.44	3.07
117.44	2.08	341.02	3.19
120.52	2.15	351.54	3.28
123.03	2.21	360.15	3.35
127.00	2.30	373.73	3.46

Coeficiente $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
58.40	-2.21	139.97	-2.39
73.93	-0.81	192.91	-0.30
85.81	1.74	232.32	2.50
92.78	3.24	255.44	4.11
97.73	4.25	271.86	5.18
104.73	5.62	295.10	6.63
113.55	7.20	324.49	8.30
120.56	8.35	347.87	9.50
125.54	9.12	364.53	10.30
129.40	9.68	377.45	10.89
132.56	10.13	388.04	11.35
137.54	10.79	404.76	12.05

### Comparación de resultados, hp de 1 hr



### Comparación de resultados, hp de 24 hr



## Estación Ocampo

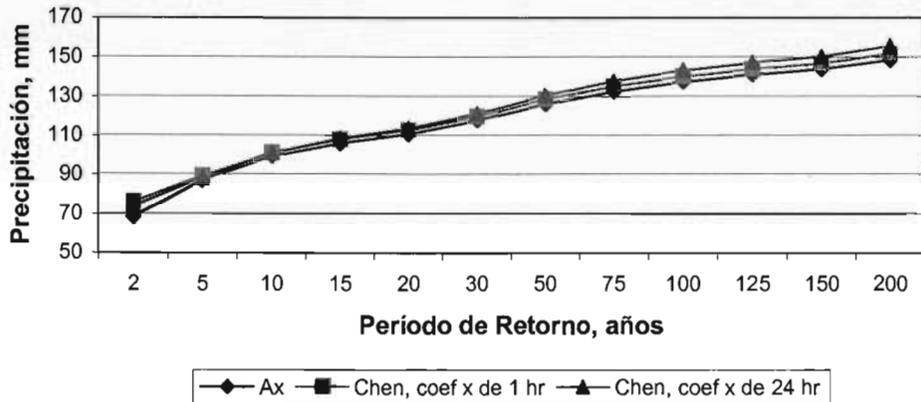
### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	68.57	132.69
5	86.94	215.82
10	99.09	275.34
15	105.95	298.56
20	110.76	313.56
30	117.47	333.58
50	125.86	357.70
75	132.48	376.36
100	137.17	389.43
125	140.8	399.49
150	143.77	407.70
200	148.44	420.53

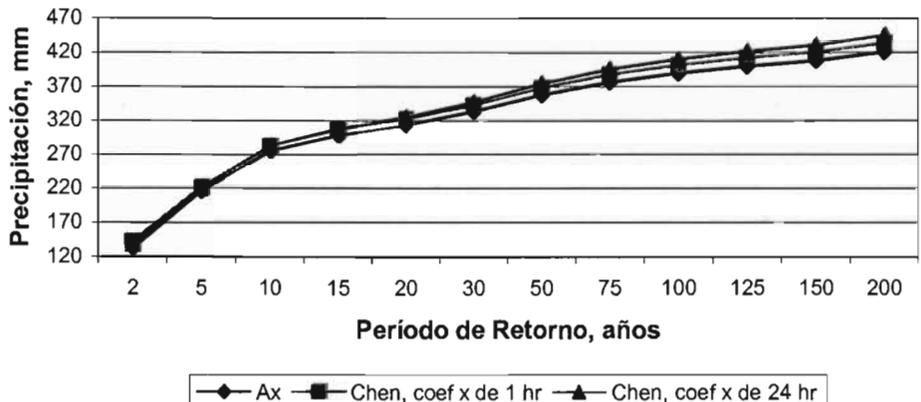
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
76.18	11.10	142.75	7.58	73.99	7.90	138.65	4.49
89.14	2.53	221.59	2.67	88.23	1.48	219.33	1.63
100.95	1.88	283.13	2.83	100.95	1.88	283.13	2.83
107.86	1.80	306.99	2.82	108.40	2.31	308.52	3.34
112.74	1.79	322.44	2.83	113.66	2.62	325.06	3.67
119.6	1.81	343.16	2.87	121.05	3.05	347.32	4.12
128.23	1.88	368.22	2.94	130.35	3.57	374.32	4.65
135.06	1.95	387.69	3.01	137.72	3.96	395.32	5.04
139.91	2.00	401.33	3.06	142.95	4.21	410.05	5.29
143.67	2.04	411.85	3.09	147.00	4.40	421.40	5.48
146.74	2.07	420.42	3.12	150.31	4.55	430.65	5.63
151.58	2.12	433.85	3.17	155.54	4.78	445.16	5.86

### Comparación de resultados, hp de 1 hr



### Comparación de resultados, hp de 24 hr



## Estación San Fernando

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	41.82	81.45
5	53.69	109.93
10	61.55	128.79
15	65.99	139.43
20	69.10	146.88
30	73.43	157.29
50	78.86	170.30
75	83.14	180.57
100	86.17	187.84
125	88.52	193.48
150	90.44	198.08
200	93.46	205.33

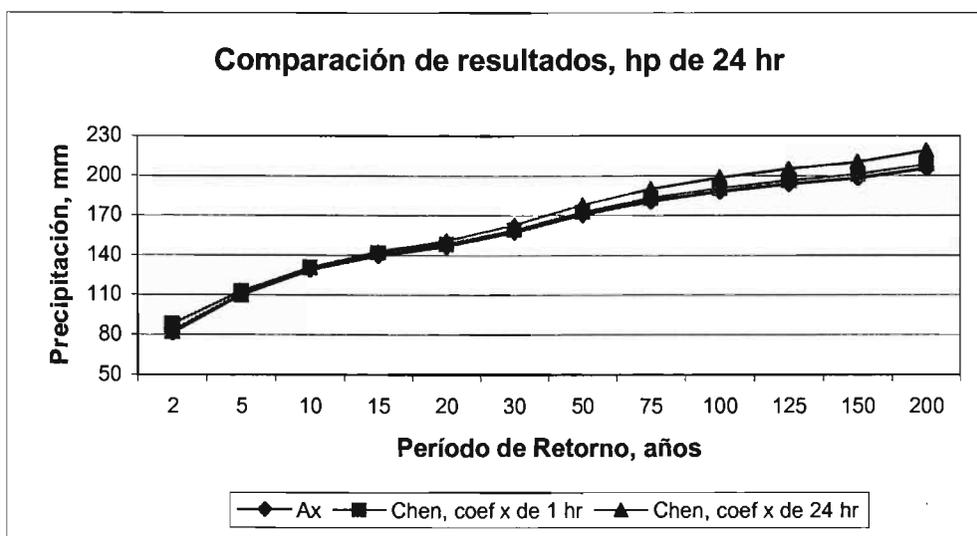
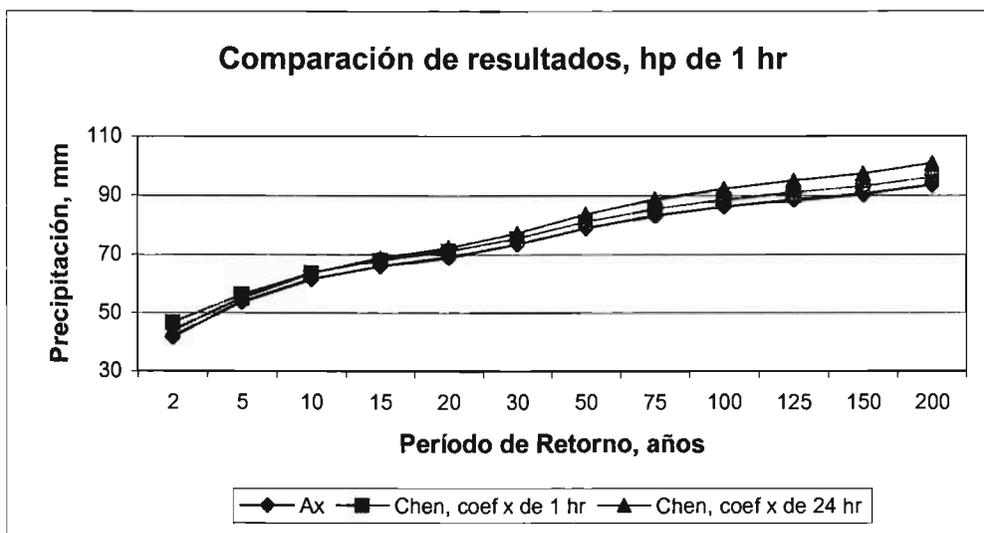
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente  $x = p_1^{100}/p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
46.53	11.26	87.87	7.88
56.21	4.69	112.50	2.34
63.65	3.41	130.64	1.44
68.02	3.08	141.84	1.73
71.13	2.94	148.65	1.21
75.51	2.83	159.21	1.22
81.05	2.78	172.47	1.27
85.44	2.77	183.00	1.35
88.56	2.77	190.48	1.41
90.98	2.78	196.28	1.45
92.96	2.79	201.01	1.48
96.08	2.80	208.49	1.54

Coeficiente  $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
43.89	4.95	82.88	1.76
55.08	2.59	110.25	0.29
63.65	3.41	130.64	1.44
68.68	4.08	142.54	2.23
72.25	4.56	150.99	2.80
77.28	5.24	162.94	3.59
83.63	6.05	177.98	4.51
88.68	6.66	189.94	5.19
92.26	7.07	198.44	5.64
95.04	7.37	205.03	5.97
97.30	7.59	210.42	6.23
100.89	7.95	218.93	6.62



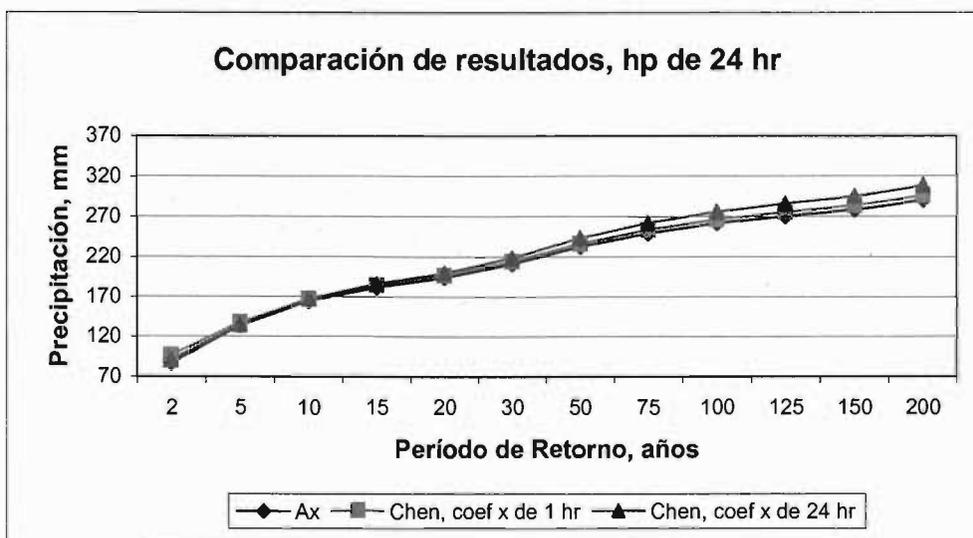
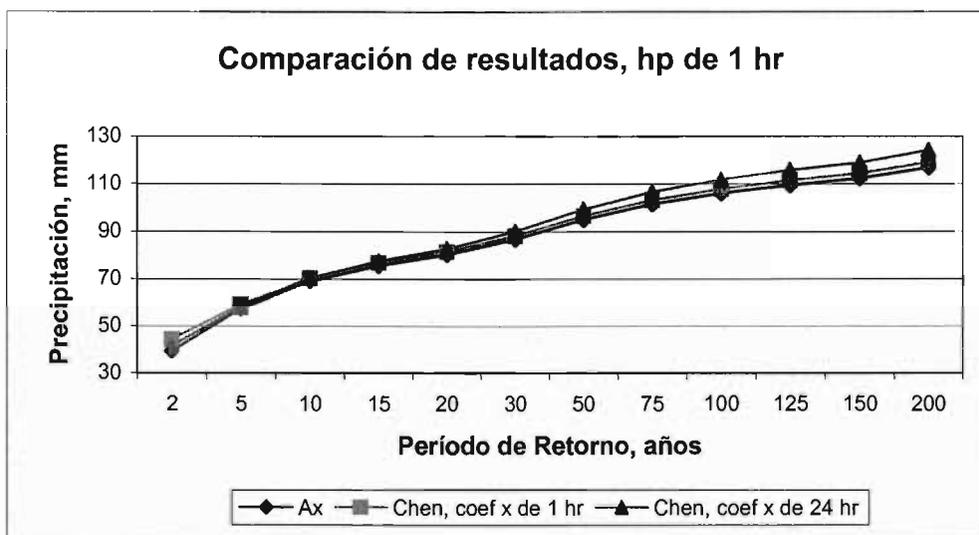
## Estación Cuautotolapan

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	39.43	86.60
5	57.25	133.40
10	69.05	164.39
15	75.70	181.87
20	80.36	194.11
30	86.87	211.21
50	95.01	232.58
75	101.43	249.47
100	105.98	261.42
125	109.51	270.67
150	112.38	278.23
200	116.92	290.14

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x = p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
44.39	12.58	96.30	11.20	41.65	5.63	90.34	4.32
59.13	3.28	137.08	2.76	57.95	1.22	134.35	0.71
70.37	1.91	167.08	1.64	70.37	1.91	167.08	1.64
76.96	1.66	184.57	1.48	77.64	2.56	186.21	2.39
81.64	1.59	196.95	1.46	82.81	3.05	199.78	2.92
88.23	1.57	214.40	1.51	90.09	3.71	218.92	3.65
96.55	1.62	236.36	1.63	99.27	4.48	243.03	4.49
103.15	1.70	253.83	1.75	106.55	5.05	262.21	5.11
107.83	1.75	266.20	1.83	111.73	5.43	275.82	5.51
111.47	1.79	275.78	1.89	115.74	5.69	286.35	5.79
114.44	1.83	283.65	1.95	119.01	5.90	294.99	6.02
119.12	1.88	296.01	2.02	124.19	6.22	308.59	6.36



## Estación El Tejar

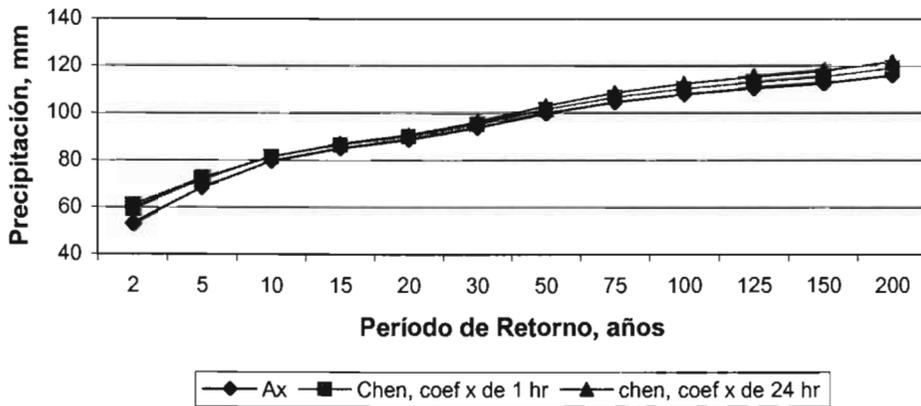
### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	DG	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	53.08	124.51
5	68.42	157.74
10	79.62	179.74
15	85.17	192.15
20	88.87	200.84
30	93.87	212.98
50	99.96	228.16
75	104.70	240.15
100	108.02	248.63
125	110.59	255.20
150	112.67	260.57
200	115.96	269.02

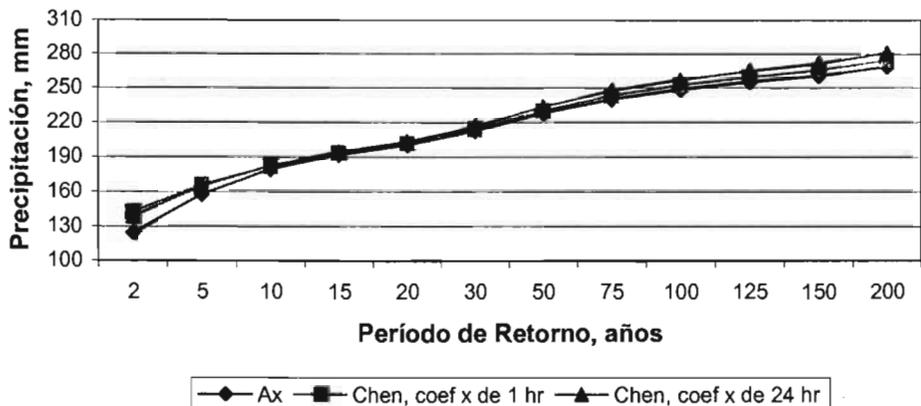
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x = p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x = p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
60.97	14.86	142.40	14.37	59.46	12.02	138.88	11.54
72.60	6.11	166.32	5.44	71.95	5.16	164.83	4.49
81.49	2.35	182.35	1.45	81.49	2.35	182.35	1.45
86.61	1.69	193.68	0.80	87.00	2.15	194.53	1.24
90.23	1.53	202.15	0.65	90.88	2.26	203.61	1.38
95.31	1.53	214.48	0.70	96.34	2.63	216.81	1.80
101.70	1.74	230.40	0.98	103.21	3.25	233.82	2.48
106.76	1.97	243.20	1.27	108.65	3.77	247.51	3.06
110.35	2.16	252.36	1.50	112.52	4.17	257.31	3.49
113.14	2.31	259.48	1.68	115.51	4.45	264.92	3.81
115.41	2.43	265.35	1.83	117.96	4.70	271.19	4.08
119.01	2.63	274.57	2.06	121.82	5.05	281.05	4.47

**Comparación de resultados, hp de 1 hr**



**Comparación de resultados, hp de 24 hr**



## Estación José Cardel

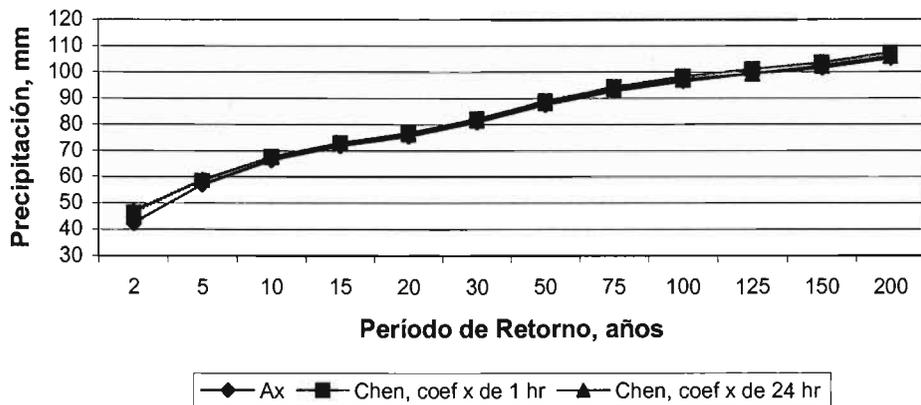
### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	G
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	42.47	111.99
5	56.93	148.15
10	66.50	172.09
15	71.91	185.60
20	75.69	195.06
30	80.97	208.27
50	87.57	224.78
75	92.79	237.82
100	96.48	247.06
125	99.34	254.21
150	101.67	260.04
200	105.36	269.25

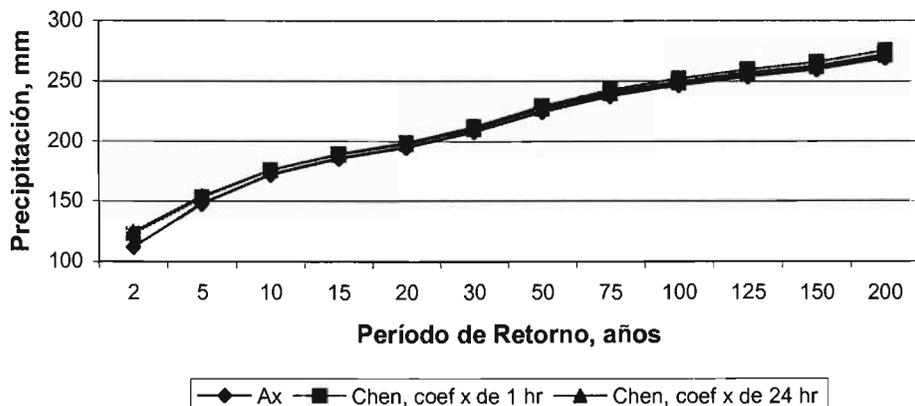
### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

Coeficiente $x=p_1^{100}/p_1^{10}$				Coeficiente $x=p_{24}^{100}/p_{24}^{10}$			
hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %	hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
46.32	9.07	122.90	9.74	47.04	10.76	124.80	11.44
58.44	2.65	152.89	3.20	58.75	3.20	153.69	3.74
67.62	1.68	175.83	2.17	67.62	1.68	175.83	2.17
72.98	1.49	189.25	1.97	72.80	1.24	188.78	1.71
76.79	1.45	198.80	1.92	76.48	1.04	198.00	1.51
82.16	1.47	212.26	1.92	81.67	0.86	210.99	1.31
88.92	1.54	229.22	1.98	88.21	0.73	227.37	1.15
94.29	1.62	242.66	2.04	93.39	0.65	240.35	1.06
98.10	1.68	252.22	2.09	97.07	0.61	249.58	1.02
101.05	1.72	259.63	2.13	99.23	-0.11	256.74	1.00
103.47	1.77	265.68	2.17	102.26	0.58	262.58	0.98
107.28	1.82	275.21	2.21	105.94	0.55	271.78	0.94

**Comparación de resultados, hp de 1 hr**



**Comparación de resultados, hp de 24 hr**



## Estación Temporal

### Ajuste de lluvias con el Ax

Distribución	G	DG
Tr	hp <sub>1hr</sub>	hp <sub>24hr</sub>
2	48.62	95.11
5	63.91	147.39
10	74.04	183.88
15	79.75	200.61
20	83.75	211.61
30	89.34	226.40
50	96.32	244.31
75	101.84	258.21
100	105.74	267.96
125	108.76	275.49
150	111.23	281.61
200	115.13	291.23

### Lluvias estimadas con la Ecuación de Chen

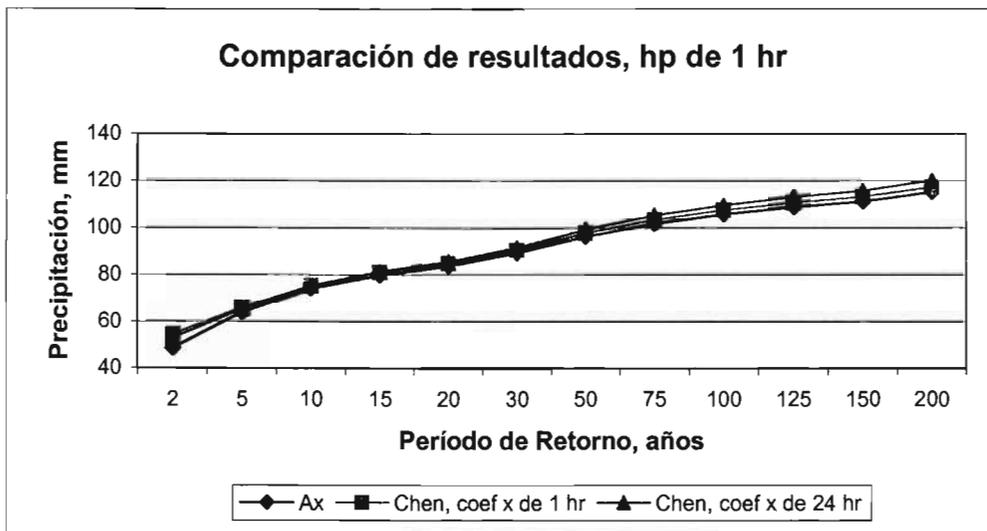
Coeficiente  $x = p_1^{100} / p_1^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
54.39	11.87	103.23	8.54
65.88	3.08	150.99	2.44
75.32	1.73	187.32	1.87
80.97	1.53	204.21	1.80
85.00	1.49	215.39	1.79
90.67	1.49	230.50	1.81
97.82	1.56	248.92	1.89
103.50	1.63	263.26	1.96
107.52	1.68	273.35	2.01
110.65	1.74	281.16	2.06
113.20	1.77	287.50	2.09
117.23	1.82	297.45	2.14

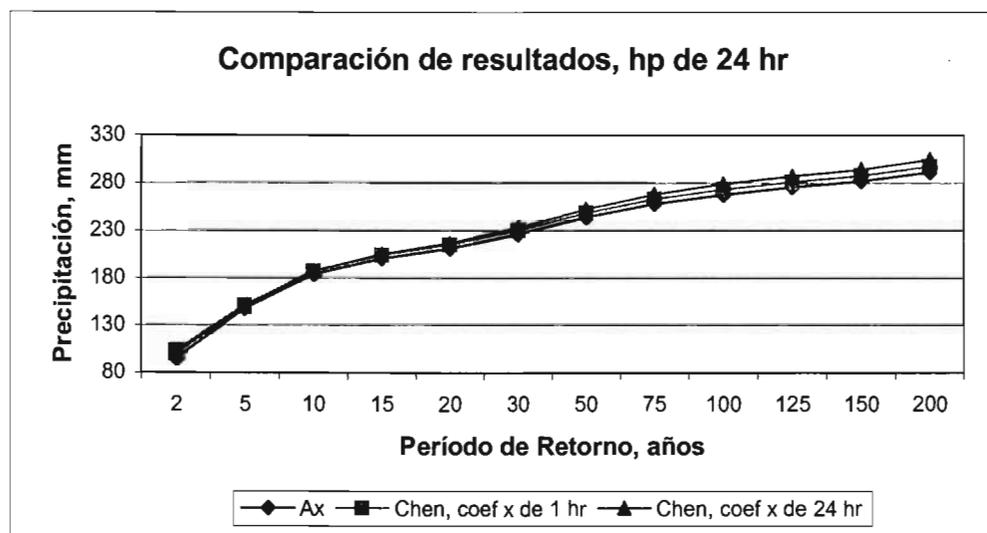
Coeficiente  $x = p_{24}^{100} / p_{24}^{10}$

hp <sub>1hr</sub>	Err %	hp <sub>24hr</sub>	Err %
52.81	8.62	100.23	5.38
65.22	2.05	149.47	1.41
75.32	1.73	187.32	1.87
81.36	2.02	205.32	2.35
85.66	2.28	217.06	2.58
91.72	2.66	233.16	2.99
99.35	3.15	252.82	3.48
105.41	3.51	268.14	3.85
109.72	3.76	278.92	4.09
113.05	3.94	287.27	4.28
115.78	4.09	294.04	4.41
120.08	4.30	304.68	4.62

**Comparación de resultados, hp de 1 hr**



**Comparación de resultados, hp de 24 hr**



De las tablas anteriores, se puede deducir fácilmente que, en general, para todas las estaciones mostradas, cuando se utilizó el método empírico propuesto por Chen (1983) con el coeficiente  $x$  (cociente de altura de lluvia-frecuencia  $P_1^{100}/P_1^{10}$ ) calculado a partir de la relación entre las lluvias máximas horarias, el porcentaje de error obtenido, al realizar, una comparación entre las precipitaciones de 1 y 24 horas que resultaron del análisis de frecuencias (considerando la distribución de probabilidad Gumbel o Doble Gumbel, según fue el caso) y las precipitaciones de 1 y 24 horas que fueron arrojadas por el método empírico propuesto por Chen (1983), es menor al 10 %, para los períodos de retorno comprendidos entre 5 y 200 años.

Además, también es necesario manifestar, que cuando se utilizó el método empírico propuesto por Chen (1983) con el coeficiente  $x$  (cociente de altura de lluvia-frecuencia  $P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$ ) calculado con la relación entre las lluvias máximas diarias, el porcentaje de error obtenido, al realizar, una comparación entre las precipitaciones de 1 y 24 horas que resultaron del análisis de frecuencias (considerando la distribución de probabilidad Gumbel o Doble Gumbel, según fue el caso) y las precipitaciones de 1 y 24 horas que fueron arrojadas por el método empírico propuesto por Chen (1983), es menor al 10 %, para las dos terceras partes de las estaciones presentadas; y, las 10 restantes, no pasan de un error promedio del 15 %, para los períodos de retorno comprendidos entre 5 y 200 años.

De esta forma, se puede decir que el método empírico propuesto, proporciona mejores resultados cuando se cuenta con datos de lluvias horarias, sin embargo, como se ha mencionado antes, en nuestro país, se tiene muy poca información de este tipo de lluvias; pero, si se dispone de una gran cantidad de información de lluvias diarias y, de acuerdo al estudio realizado, también puede decirse que del método empírico propuesto, se obtienen muy buenos resultados cuando se utiliza la relación que existe entre las lluvias diarias, lo cual, justifica la aplicación del modelo de precipitación.

Es por ello, que al considerar el método descrito, para generar las curvas de precipitación-duración-período de retorno, de una forma aceptable, en algún sitio de la República Mexicana, se necesita de una relación existente en las precipitaciones de 1 y 24 horas, para cualquier período de retorno, como se mostró en la tabla 9; y, de la precipitación de 24 horas con un período de retorno de 10 y 100 años. Si resulta que la información en el sitio es escasa, recurrimos a los valores de las relaciones que existen entre las lluvias que se han presentado en alguna estación o estaciones cercanas, se calcula el promedio de los coeficientes  $x$  y  $R$ , y con la precipitación de 24 horas para 10 años período de retorno, podemos generar dichas curvas.

En el caso de carecer de información de registros de lluvias, se puede obtener un poco de ayuda de dos trabajos previos a este, que fueron realizados por Jacqueline Lafragua Contreras (1996) y Manuel Mendoza Grande (2001); en los cuales, el primero de ellos presenta curvas de

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

intensidad-duración-período de retorno para la vertiente del Golfo de México; y, el segundo, los factores de regionalización de lluvias máximas en la República Mexicana.

Lafragua (1996), llevó a cabo su análisis con 32 estaciones, en la zona conformada por las cuencas de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva; y, después de haber elaborado un estudio con la distribución de probabilidad Gumbel, construyó isoyetas para duraciones de 1 hr y 24 hr con período de retorno de 10 años.

Por otra parte, Mendoza (2001), elaboró su estudio con 329 estaciones pluviográficas, distribuidas en todos los estados de la República Mexicana; y, a partir de los datos de las series de lluvias máximas anuales, tanto para duraciones de 1 hr como para 24 hr, generó curvas de igual valor  $R$  ( $R = P_1^5/P_{24}^5$ ). Es importante señalar que muchas de las estaciones utilizadas por el autor, no cuentan con registros históricos, en períodos simultáneos, de lluvias máximas con duración de 1 hr y 24 hr; es decir, los períodos de registro en las lluvias máximas con duración de 1 hr no necesariamente corresponden, a los mismos períodos de registro que se tienen en las lluvias máximas con duraciones de 24 hr. Además, en el caso de las lluvias máximas horarias, se tomaron en cuenta algunas estaciones que tienen como máximo 5 datos de registro. Sin embargo, a pesar de ello, esto puede ser de gran ayuda, como se mostrará en el siguiente capítulo, para las zonas que carecen de información.

Para tener una idea más general, del beneficio que se puede obtener de los trabajos realizados, se elaboraron dos dibujos de la República Mexicana, en los cuales, el primero de ellos representa los valores del cociente llamado  $R = P_1^5/P_{24}^5$  (precipitación de una hora entre la precipitación de 24 horas, ambas correspondientes a un período de retorno de 5 años) que se presentan en tabla 9 del capítulo 3, elaborados para este estudio con un total de 60 estaciones; y, el segundo de ellos simboliza los valores del cociente  $R = P_1^5/P_{24}^5$  que fueron obtenidos por Mendoza (2001), a través, de 329 estaciones, cuyos datos se muestran en la tabla 10. En realidad, en el contexto presentado, se calcularon los cocientes  $R$  para tres diferentes períodos de retorno, que fueron: 5, 10 y 100 años, como se muestra en la tabla 9; sin embargo, lo anterior se hizo con el objeto de mantener un formato similar al estudio que elaboró Mendoza, dado que en sus resultados presentó el período seleccionado; además de que, como se puede ver en la tabla 9 al parecer, el cociente  $R$ , no depende del período de retorno.

Las figuras, se proporcionan sólo como una herramienta de apreciación, para que si en un momento determinado, es necesario conocer la precipitación en algún sitio de la República Mexicana que no cuente con la suficiente información climatológica, puedan ser consultados y a partir de ello, obtener el valor del cociente  $R$ , en el caso, de que el sitio deseado se encuentre cercano a uno o más de los puntos que se muestran, en caso contrario, se pueda tomar de éstos una idea de la magnitud que pueden tener las lluvias en la zona o región deseada.

En el siguiente capítulo, se presentan algunos ejemplos de la forma en la que se puede utilizar la valiosa información que se proporciona en las figuras 4.2 y 4.3, que a continuación se muestran, para que, con ayuda del método empírico propuesto por Chen (1983) se pueda generar las curvas precipitación-duración-período de retorno ( $hp-d-Tr$ ) y la curvas intensidad-duración-período de retorno ( $i-d-Tr$ ).

No obstante, es necesario aclarar, que para comprobar el comportamiento de los datos de lluvias generadas, a través, de la ecuación de Chen, para una estación o zona en particular, se puede usar la información de las series de precipitaciones anuales deficitarias, siempre y cuando, se tengan registros. Por otra parte, también se pueden corroborar los resultados obtenidos en algunos sitios deseados, con mapas de  $i-d-Tr$  que han sido publicados por algunos sectores del gobierno, para una región geográficamente grande, como lo es la República Mexicana.

Figura 4.2 60 ESTACIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA (Zona de Estudio)



Figura 4.3 329 ESTACIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA (Mendoza, 2001)

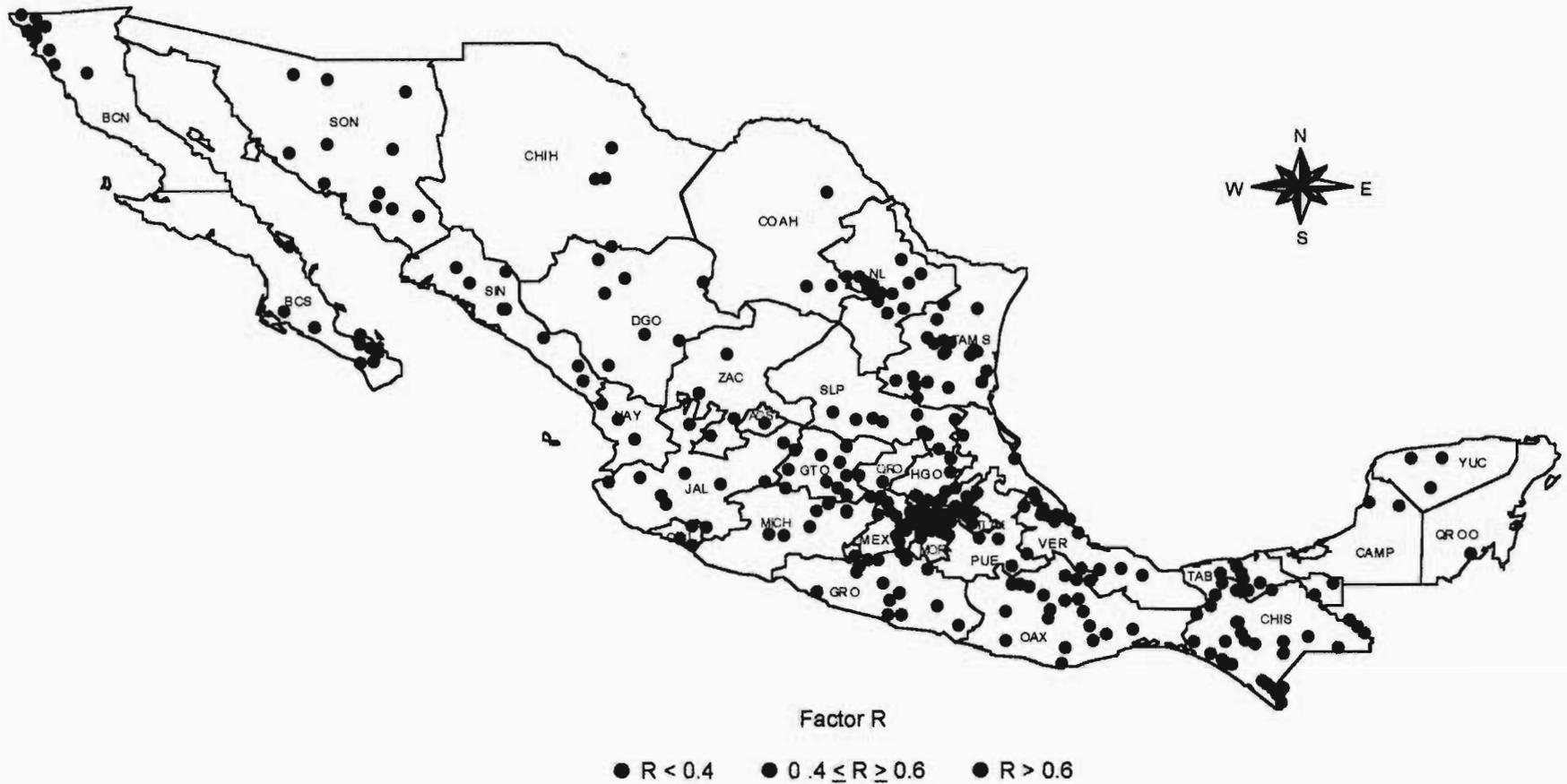


Tabla 10 Valores de los cocientes R, calculados por Mendoza (2001), para 329 estaciones de la República Mexicana

ESTACIÓN	ESTADO	LONGITUD	LATITUD	R
Aguascalientes	AGS	102° 18'	21° 53'	0.512
Agua Caliente	BCN	116° 27'	32° 07'	0.417
Boquilla de Santa Rosa	BCN	116° 45'	32° 03'	0.374
Ensenada	BCN	116° 38'	31° 53'	0.294
Olivares	BCN	116° 37'	32° 03'	0.277
Presa Rodríguez	BCN	116° 54'	32° 27'	0.426
Santa Cruz	BCN	115° 38'	30° 55'	0.350
Santo Tomás	BCN	116° 22'	31° 33'	0.343
San Vicente	BCN	116° 16'	31° 09'	0.306
Valle de Las Palmas	BCN	116° 37'	32° 22'	0.256
El Refugio	BCS	111° 43'	24° 46'	0.715
El Rosario (U.S.A)	BCS	111° 38'	26° 26'	0.502
La Paz	BCS	110° 15'	24° 10'	0.454
Penjamo	BCS	111° 07'	24° 23'	0.249
San Antonio	BCS	110° 02'	23° 48'	0.688
San Bartolo	BCS	109° 52'	23° 44'	0.318
San Pedro	BCS	110° 15'	23° 55'	0.564
Sierra de la Laguna	BCS	109° 59'	23° 29'	0.251
Todos Santos	BCS	110° 14'	23° 28'	0.296
Campeche	CAMP	90° 29'	19° 51'	0.738
Hopelchem	CAMP	89° 51'	19° 45'	0.502
Ciudad Delicias	CHIH	105° 27'	28° 13'	0.791
Presa el Granjero	CHIH	105° 17'	28° 59'	0.468
Francisco I. Madero	CHIH	105° 38'	28° 10'	0.488
Agua Azul	CHIS	90° 51'	16° 48'	0.333
Arco de Piedra	CHIS	92° 40'	16° 12'	0.707
Argelia	CHIS	92° 09'	15° 54'	0.580
Arriaga	CHIS	93° 54'	16° 14'	0.546
Cacahuatan	CHIS	92° 10'	14° 59'	0.429
Comitán	CHIS	92° 08'	16° 15'	0.654
Despoblado	CHIS	92° 33'	15° 12'	0.502
El Cedro	CHIS	90° 34'	16° 29'	0.484
Finca la Soledad	CHIS	91° 41'	16° 23'	0.389
Finca Santa Isabel	CHIS	92° 53'	16° 16'	0.651
Horcones	CHIS	93° 33'	15° 55'	0.715
Huehuetan	CHIS	92° 23'	15° 01'	0.605
Huixtla	CHIS	92° 28'	15° 08'	0.565
Ixcán	CHIS	91° 05'	16° 06'	0.375
Jesús	CHIS	93° 20'	15° 46'	0.593
La Escalera	CHIS	92° 57'	16° 28'	0.783
Las Peñitas	CHIS	93° 27'	17° 25'	0.448
Margaritas	CHIS	93° 08'	15° 37'	0.482
Nueva Esperanza	CHIS	90° 42'	16° 37'	0.450
Pijijiapan	CHIS	93° 13'	15° 41'	0.447
Presa Malpaso	CHIS	93° 35'	17° 10'	0.483
Puente Colgante	CHIS	93° 02'	16° 45'	0.639
Salto de Agua	CHIS	92° 21'	17° 34'	0.476
San Jerónimo	CHIS	92° 08'	15° 02'	0.570
San Joaquín	CHIS	93° 03'	17° 35'	0.392
Santa María	CHIS	93° 50'	16° 56'	0.528
Suchiate	CHIS	92° 10'	14° 41'	0.496
Tapachula	CHIS	92° 16'	14° 55'	0.604
Tuxtla Gutiérrez	CHIS	93° 01'	16° 45'	0.659
Villa Flores	CHIS	93° 16'	16° 14'	0.572
General Zepeda	COA	101° 29'	25° 23'	0.576
Sabinas	COA	101° 07'	27° 51'	0.465
Saltillo	COA	101° 00'	25° 26'	0.755
Armeria	COL	103° 58'	18° 56'	0.319
Cerro Ortega	COL	103° 44'	18° 45'	0.343
Colima	COL	103° 43'	19° 14'	0.352
Tanques Chalmitta	DF	99° 8' 33.09"	19° 33' 22.39"	0.672
O.T. Río Remedios	DF	99° 9' 16.11"	19° 30' 47.84"	0.679
P.B. Lindavista	DF	99° 7' 10.29"	19° 29' 12"	0.568
Coyol	DF	99° 5' 24.34"	19° 29' 3.89"	0.564
P. Generadora 101	DF	99° 5' 50.74"	19° 27' 21.08"	0.614
P.T. Rosario	DF	99° 11' 25.71"	19° 30' 33.41"	0.677

Mendoza (2001)

ESTACIÓN	ESTADO	LONGITUD	LATITUD	R
Presa Solís	GTO	100° 40'	20° 03'	0.625
Santa Rosa	GTO	101° 12'	21° 04'	0.526
Santa Rita	GTO	101° 05'	20° 22'	0.606
Salvatierra	GTO	100° 53'	20° 13'	0.530
Ciudad Sahugun (Irolo)	HGO	98° 34'	19° 46'	0.684
El Manantial	HGO	98° 56'	19° 51'	0.751
Jasso	HGO	99° 19'	19° 59'	0.474
Laguna de Apan	HGO	98° 26'	19° 42'	0.690
Pachuca	HGO	98° 44'	20° 08'	0.627
San Lorenzo Sayula	HGO	98° 20'	19° 58'	0.761
San Miguel de Allende	HGO	98° 34'	20° 14'	0.599
Singuilucan	HGO	98° 31'	19° 38'	0.495
Tezontepec	HGO	98° 49'	19° 53'	0.773
Tlanchinol	HGO	98° 40'	20° 58'	0.280
Tula	HGO	99° 21'	20° 03'	0.698
Zacualtipan	HGO	98° 38'	20° 38'	0.236
Bolaños	JAL	103° 46'	21° 49'	0.788
Cihuatlan	JAL	103° 26'	19° 13'	0.517
Corinchis	JAL	104° 46'	20° 29'	0.608
Chápala	JAL	103° 11'	20° 18'	0.528
El Grullo	JAL	104° 13'	19° 48'	0.693
El Tuito	JAL	105° 22'	20° 20'	0.575
La Vega	JAL	103° 51'	20° 35'	0.618
Lagos de Moreno	JAL	101° 56'	21° 22'	0.607
Tacotan	JAL	104° 19'	20° 01'	0.727
Amecameca	MEX	98° 46'	19° 08'	0.784
Atacomulco	MEX	99° 54'	19° 47'	0.590
Avila Camacho	MEX	98° 46'	19° 19'	0.398
Chapingo	MEX	98° 53'	19° 30'	0.666
El Tajo	MEX	99° 07'	19° 54'	0.656
El Tejocote	MEX	99° 54'	19° 51'	0.721
Enyegue	MEX	99° 51'	19° 37'	0.673
Hacienda Solís	MEX	100° 03'	19° 59'	0.626
Hacienda de la "Y"	MEX	99° 36'	19° 14'	0.555
Huehuetoca	MEX	99° 11'	19° 50'	0.863
Huixquilucan	MEX	99° 21'	19° 22'	0.628
Ixtapan de la Sal	MEX	99° 40'	18° 50'	0.619
Lago de Texcoco	MEX	99° 01'	19° 27'	0.700
Lerma	MEX	99° 30'	19° 17'	0.472
Palizada	MEX	100° 06'	19° 30'	0.553
Presa de Guadalupe	MEX	99° 15'	19° 38'	0.769
Presa Las Ruinas	MEX	99° 16'	19° 34'	0.572
Repetidora TV	MEX	98° 40'	19° 21'	0.724
San Bernabé	MEX	99° 43'	19° 28'	0.546
San Juan Totolapan	MEX	98° 43'	19° 31'	0.643
San Pedro Techualco	MEX	99° 31'	19° 06'	0.657
San Rafael	MEX	98° 45'	19° 12'	0.589
Sta. Ma. Magdalena C.	MEX	99° 25'	19° 38'	0.533
Santiago Tlazala	MEX	99° 26'	19° 35'	0.540
Temascalcingo	MEX	100° 01'	19° 55'	0.481
Tepexpan	MEX	98° 55'	19° 37'	0.682
Toma Tecomatepec	MEX	99° 43'	18° 57'	0.613
Agostitlan	MICH	100° 41'	19° 34'	0.586
Antunez	MICH	102° 12'	19° 00'	0.796
Bartolinas	MICH	101° 26'	19° 12'	0.661
Cointzio	MICH	101° 17'	19° 37'	0.644
Corrales	MICH	101° 52'	20° 12'	0.607
El Zapote	MICH	101° 55'	18° 57'	0.563
Planta de Bombeo	MICH	101° 04'	19° 49'	0.413
Pucuat	MICH	100° 41'	19° 37'	0.540
Tepuxtepec	MICH	100° 14'	20° 00'	0.711
Yurecuaro	MICH	102° 17'	20° 21'	0.671
Cuernavaca	MOR	99° 14'	18° 54'	0.692
Chapalangana	NAY	100° 29'	21° 57'	0.502
San Pedro	NAY	105° 09'	21° 57'	0.580
Tecuala	NAY	105° 28'	22° 24'	0.565

Mendoza (2001)

ESTACIÓN	ESTADO	LONGITUD	LATITUD	R
Imurís	SON	110° 53'	30° 46'	0.529
La Estrella	SON	109° 37'	28° 57'	0.642
Presa A. Rodríguez	SON	110° 55'	29° 05'	0.652
Presa Adolfo Ruiz C.	SON	109° 05'	27° 14'	0.667
Presa Alvaro Obregón	SON	109° 53'	27° 49'	0.697
Presa La Angostura	SON	109° 23'	30° 27'	0.280
San Isidro	SON	111° 39'	28° 50'	0.865
Boca de Cerro	TAB	91° 31'	17° 26'	0.438
Cárdenas	TAB	93° 22'	18° 01'	0.397
Dos Patrias	TAB	92° 50'	17° 36'	0.308
Jalpa de Méndez	TAB	93° 03'	18° 12'	0.398
Macuzpana	TAB	92° 36'	17° 45'	0.421
Paredón	TAB	93° 21'	17° 46'	0.463
Pueblo Nuevo	TAB	92° 54'	17° 50'	0.506
San Pedro Nolasco	TAB	91° 10'	17° 46'	0.353
Teapa	TAB	92° 58'	17° 33'	0.331
Villahermosa	TAB	92° 57'	17° 59'	0.420
Ahualulco	TAMS	99° 07'	22° 57'	0.382
Aldama	TAMS	98° 04'	22° 55'	0.338
Burgos	TAMS	98° 48'	24° 56'	0.412
Cañon del Diablo	TAMS	98° 18'	23° 38'	0.281
Ciudad Victoria	TAMS	98° 08'	23° 44'	0.358
El Barretal	TAMS	99° 07'	24° 05'	0.705
Juamave	TAMS	99° 23'	23° 04'	0.502
La Corona	TAMS	98° 57'	23° 56'	0.534
La Soñadora II	TAMS	98° 41'	23° 57'	0.475
Magiscatzin	TAMS	98° 42'	22° 48'	0.480
Ocampo	TAMS	99° 20'	22° 51'	0.438
Paso de Molina	TAMS	98° 44'	23° 43'	0.426
Padilla	TAMS	98° 46'	23° 59'	0.522
Presa República Española	TAMS	97° 58'	23° 13'	0.342
Presa vicente Guerrero	TAMS	98° 40'	23° 57'	0.492
San Carlos	TAMS	98° 56'	24° 34'	0.477
San Fernando	TAMS	98° 09'	24° 51'	0.290
San Gabriel	TAMS	98° 46'	23° 41'	0.511
Soto la Marina	TAMS	98° 12'	23° 46'	0.419
Tula	TAMS	99° 43'	22° 59'	0.492
Atlanga	TLAX	98° 11'	19° 33'	0.579
Cuamatzingo	TLAX	98° 15'	19° 33'	0.763
Hueyotlipan (San Cristóbal)	TLAX	98° 20'	19° 28'	0.770
San Cristóbal	TLAX	98° 29'	19° 34'	0.596
Tlaxcala	TLAX	98° 14'	19° 18'	0.625
Acayucan	VER	94° 54'	17° 56'	0.352
Actopan	VER	96° 35'	19° 30'	0.382
Altotonga	VER	97° 14'	19° 46'	0.299
Azueta	VER	95° 43'	18° 05'	0.373
Camizal	VER	96° 36'	19° 20'	0.455
Cuautotlapan	VER	95° 18'	18° 08'	0.487
El Tejar	VER	96° 09'	19° 04'	0.411
El Fortín	VER	96° 59'	19° 53'	0.482
José Cardel	VER	96° 20'	19° 24'	0.400
Las Animas	VER	96° 53'	19° 31'	0.419
Martínez de la Torre	VER	97° 02'	20° 04'	0.281
Miradores	VER	96° 46'	19° 28'	0.465
Naolinco	VER	96° 52'	19° 39'	0.365
Santa Rosa	VER	96° 28'	19° 28'	0.338
Tempoal	VER	98° 24'	21° 32'	0.490
Tuxpan	VER	97° 24'	20° 57'	0.369
Izamal	YUC	89° 01'	20° 56'	0.563
Mérida	YUC	89° 38'	20° 58'	0.668
Tekax	ZAC	89° 17'	20° 12'	0.431
Cazadero	ZAC	103° 03'	23° 41'	0.668
La Florida	ZAC	103° 36'	22° 41'	0.692
Presa El Achique	ZAC	102° 55'	22° 02'	0.513
Tecomate	ZAC	103° 22'	21° 33'	0.497

Mendoza (2001)

## CAPÍTULO 5 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

### 5.1 Ejercicio No. 1

Se desea determinar la lluvia correspondiente a una duración de 4 horas y 50 años período de retorno, para conocer los escurrimientos del arroyo Grande, en el municipio de Puruándiro Michoacán, para lo cual, sólo se dispone de lluvias diarias. Empleando el criterio de Chen, obtener el hietograma de la tormenta.

#### Solución.

De acuerdo a la información climatológica de la Comisión Nacional del Agua, el municipio cuenta con una estación de nombre Puruándiro, y se tienen registros continuos desde 1943 hasta 1987; de los cuales, se analizó y adquirió la serie de lluvias máximas anuales para representar el sitio. Se realizaron las pruebas de homogeneidad e independencia de los eventos y se elaboró un ajuste en los datos de la serie máxima anual a la función de distribución de probabilidad tipo Doble Gumbel. La función se analizó para 12 períodos de retorno: 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 y 200 años; en los que, los resultados estimados fueron:

Puruándiro

Tr (años)	hp, (mm)
2	47.29
5	69.42
10	87.81
15	96.31
20	101.88
30	109.35
50	118.38
75	125.37
100	130.28
125	134.06
150	137.14
200	141.98

Como el poblado carece de información de registros de lluvias horarias, para conocer el valor del cociente  $R = P_1^{Tr}/P_{24}^{Tr}$ , en los mapas de las figuras 4.2 y 4.3, se buscaron estaciones cercanas al sitio. En el mapa 4.3, estado de Michoacán se encontró una estación muy cerca de la zona, de nombre Planta de Bombeo; por lo que, de la tabla 10 se adquirió el valor  $R = 0.413$ . Una vez que se han completado los datos necesarios, se procede al cálculo de las variables que intervienen en la ecuación de Chen, las cuales, quedan de la siguiente forma:

$$R := 0.413$$

$$p1h_3 := (R \cdot p24h_3)$$

$i =$	$Tr_i =$	$p24h_i =$	$p1h_3 = 36.27$	$t_j =$
1	2	47.29		60
2	5	69.42		120
3	10	87.81	$x := \frac{p24h_9}{p24h_3}$	180
4	15	96.31		240
5	20	101.88		
6	30	109.35	$R_p := \frac{p1h_3}{p24h_3} \cdot 100$	
7	50	118.38		
8	75	125.37		
9	100	130.28	$a := e^{(1.28 + 0.046 \cdot R_p)}$	
10	125	134.06		
11	150	137.14	$b := -5.418 + 0.321 \cdot R_p$	
12	200	141.98	$c := -0.06 + 0.126 \cdot (R_p)^{0.5}$	

$$x = 1.484$$

$$R_p = 41.30$$

$$a = 24.042$$

$$b = 7.839$$

$$c = 0.75$$

Formula de Chen

$$P_{i,j} := \left[ (a \cdot p1h_3) \cdot \frac{\log[10^{2-x} \cdot (Tr_i)^{x-1}]}{60 \cdot (t_j + b)^c} \cdot t_j \right]$$

Finalmente, de la ecuación anterior se obtienen los valores de las curvas precipitación-duración-período de retorno; y, a partir de ellas, la precipitación para la duración requerida y el período de retorno deseado.

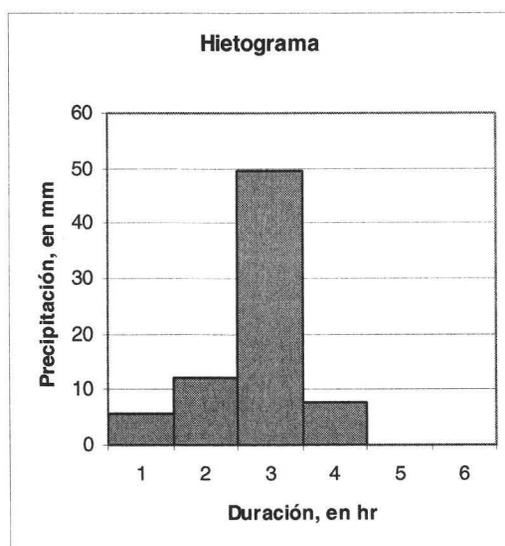
### Precipitación-duración-período de retorno

Altura de precipitación (mm)				
Tr (años)	Duración (min)			
	60	120	180	240
2	24.44	30.04	34.17	37.01
5	31.55	39.24	51.62	55.91
10	36.93	45.92	51.62	55.91
15	40.07	49.84	56.02	60.68
20	42.30	52.61	59.14	64.05
30	45.45	56.52	63.53	68.82
50	49.41	61.45	69.07	<b>74.82</b>
75	52.55	65.36	73.47	79.58
100	54.79	68.14	76.59	82.96
125	56.52	70.29	79.01	85.58
150	57.93	72.05	80.99	87.72
200	60.16	74.82	84.11	91.10

Y el hietograma de la tormenta:

Para Tr = 50 años

Duración, en hr	0	1	2	3	4
hp, en mm	0	49.41	61.45	69.07	74.82
incremento, mm	-	49.41	12.04	7.62	5.75
Distribución posible	-	5.75	12.04	49.41	7.62



## 5.2 Ejercicio No. 2

Se pretende calcular los índices de erosión en el municipio de San Miguel Quetzaltepec, Distrito Mixe de la Región Sierra Norte, en el estado de Oaxaca, por lo tanto, es necesario determinar la intensidad máxima en 30 minutos para 5, 10 y 50 años de período de retorno. Obtener el valor de la intensidad, con el método propuesto por Chen.

### Solución.

Al realizar un reconocimiento para encontrar las estaciones que pueden aportar información histórica de las lluvias en la zona, se detectó que existe una estación que lleva el nombre del municipio, por estar ubicada en el mismo, y en ella, se tienen registros continuos desde 1955 hasta 1970; de los cuales, se analizó y adquirió la serie de lluvias máximas anuales para representar el sitio. Se realizaron las pruebas de homogeneidad e independencia de los eventos y se elaboró un ajuste en los datos de la serie máxima anual a la función de distribución de probabilidad tipo Gumbel. La función se analizó para 12 períodos de retorno: 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 y 200 años; resultando:

San Miguel Quetzaltepec

Tr (años)	hp, (mm)
2	106.44
5	150.05
10	178.93
15	195.22
20	206.62
30	222.55
50	242.47
75	258.20
100	269.33
125	277.96
150	285.00
200	296.10

Con la información obtenida, se puede calcular el valor del coeficiente  $x$ , pero hace falta conocer el valor de  $R$ . Al analizar la figura 4.2, se encontró que existe una estación con el cociente  $R$  calculado, en el municipio vecino, por lo que, de ahí se tomará el valor representativo para el sitio. La estación vecina de nombre Villa Alta tiene un valor de la relación entre las precipitaciones de 1 y 24 horas igual a 0.32. Por lo tanto:

$$R := 0.32$$

$$p1h_3 := (R \cdot p24h_3)$$

$$t := 30$$

i =	Tr <sub>i</sub> =	p24h <sub>i</sub> =
1	2	106.44
2	5	150.05
3	10	178.93
4	15	195.22
5	20	206.62
6	30	222.55
7	50	242.47
8	75	258.20
9	100	269.33
10	125	277.96
11	150	285.00
12	200	296.10

$$p1h_3 = 57.26$$

$$x := \frac{p24h_9}{p24h_3}$$

$$x = 1.505$$

$$R_p := \frac{p1h_3}{p24h_3} \cdot 100$$

$$R_p = 32.00$$

$$a := e^{(1.28 + 0.046 \cdot R_p)}$$

$$a = 15.674$$

$$b := -5.418 + 0.321 \cdot R_p$$

$$b = 4.854$$

$$c := -0.06 + 0.126 \cdot (R_p)^{0.5}$$

$$c = 0.653$$

Formula de Chen

$$l1h_3 := p1h_3$$

$$I_i := \left[ (a \cdot l1h_3) \cdot \frac{\log \left[ 10^{2-x} \cdot (T_{r_i})^{x-1} \right]}{(t + b)^c} \right]$$

Duración de 30 minutos			
Tr, en años	5	10	50
Intensidad, en mm	74.93	88.37	119.57

### 5.3 Ejercicio No. 3

Se desea realizar un estudio hidrológico para delimitar la zona federal del arroyo La Culebra, afluente del arroyo Milpa Alta, a la altura del Fraccionamiento Puerta de Plata, municipio de Zapopan, Jalisco. Para ello, es necesario determinar las curvas de precipitación-duración-período de retorno (hp-d-Tr) y las curvas de intensidad-duración-período de retorno (i-d-Tr). Dado que, en el sitio indicado, sólo se dispone de registros de lluvias diarias de 24 horas, emplear el método empírico de Chen y obtener los resultados requeridos.

#### Solución.

Para el análisis de la precipitación en el espacio, se utilizó el método de polígonos de Thiessen, resultando para esta zona en particular, que pertenece a la cuenca Atemajac, intervienen las estaciones que se presentan a continuación, con sus correspondientes factores de aportación:

Factores de Thiessen

Guadalajara	0.4170
La experiencia	0.2314
Zapopan	0.3516
Suma	1.0000

Para el análisis de la precipitación, una vez elaboradas las pruebas de homogeneidad e independencia de los eventos, se hizo un ajuste en los datos de series máximas anuales de las tres estaciones anteriores, a la función de distribución de probabilidad tipo Gumbel, por los métodos de momentos y máxima verosimilitud. La función se analizó para 12 períodos de retorno: 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 y 200 años. Por lo que, los resultados en cada estación, quedaron de la siguiente forma:

Guadalajara		La experiencia		Zapopan	
Tr (años)	hp, (mm)	Tr (años)	hp, (mm)	Tr (años)	hp, (mm)
2	60.42	2	51.22	2	59.79
5	78.20	5	60.94	5	71.42
10	89.97	10	67.37	10	79.12
15	96.61	15	71.00	15	83.46
20	101.26	20	73.55	20	86.50
30	107.75	30	77.10	30	90.75
50	115.87	50	81.54	50	96.06
75	122.29	75	85.04	75	100.26
100	126.83	100	87.52	100	103.22
125	130.34	125	89.45	125	105.52
150	133.21	150	91.01	150	107.40
200	137.74	200	93.49	200	110.36

Si se multiplican los resultados de las tres estaciones anteriores, por su correspondiente factor de aportación, se logra un promedio ponderado de la precipitación en el área de interés de:

Tr (años)	hp, (mm)
2	57.93
5	71.64
10	80.72
15	85.84
20	89.43
30	94.43
50	100.69
75	105.64
100	109.14
125	111.85
150	114.06
200	117.56

Una vez que se han calculado las precipitaciones con duración de 24 horas, para el sitio en estudio, se procede a obtener el coeficiente  $x = P_{24}^{100}/P_{24}^{10}$ . Por lo que  $x = 1.35$ .

Para conocer el valor del cociente  $R = P_1^{Tr}/P_{24}^{Tr}$  se examinó la información de los mapas de las figuras 4.2 y 4.3. Dentro del mapa 4.3, en el estado de Jalisco se encuentran varias estaciones, de las cuales, se identificó a dos de ellas, muy cerca de la zona; por lo que, de la tabla 10, se adquirió el valor  $R = 0.528$  para la estación Chapala y el de  $R = 0.618$  en La Vega. De lo que, se consideró un promedio de cocientes  $R = 0.573$ . Finalmente, se calculan las curvas hp-d-Tr y las i-d-Tr.

$$R := 0.573$$

$$p1h_3 := (R \cdot p24h_3)$$

i =	Tr <sub>i</sub> =	p24h <sub>i</sub> =	p1h <sub>3</sub> = 40.16	x := $\frac{p24h_9}{p24h_3}$	x = 1.458	t <sub>j</sub> =
1	2	44.33				5
2	5	59.83				15
3	10	70.09				30
4	15	75.88				45
5	20	79.93				60
6	30	85.60	$R_p := \frac{p1h_3}{p24h_3} \cdot 100$		$R_p = 57.30$	90
7	50	92.67				120
8	75	98.26	$a := e^{(1.28 + 0.046 \cdot R_p)}$		$a = 50.189$	240
9	100	102.22				480
10	125	105.29	$b := -5.418 + 0.321 \cdot R_p$		$b = 12.975$	1440
11	150	107.79				
12	200	111.73	$c := -0.06 + 0.126 \cdot (R_p)^{0.5}$		$c = 0.894$	

#### Fórmula de Chen

$$P_{i,j} := \left[ (a \cdot p1h_3) \cdot \frac{\log \left[ 10^{2-x} \cdot (Tr_i)^{x-1} \right]}{60 \cdot (t_j + b)^c} \cdot t_j \right]$$

### Curvas precipitación-duración-período de retorno

Tr, en años	Duración, en min									
	5	15	30	45	60	90	120	240	480	1440
2	8.63	17.44	23.77	27.28	29.61	32.64	34.64	39.00	42.96	48.96
5	10.95	22.12	30.14	34.60	37.55	41.42	43.94	49.44	54.48	62.16
10	12.70	25.66	34.97	40.13	43.57	48.03	50.96	57.36	63.20	72.24
15	13.73	27.73	37.79	43.37	47.08	51.92	55.08	62.00	68.32	78.00
20	14.45	29.20	39.79	45.68	49.58	54.66	58.00	65.28	71.92	82.08
30	15.48	31.27	42.62	48.92	53.10	58.55	62.12	69.92	77.04	87.84
50	16.77	33.88	46.17	53.00	57.53	63.44	67.30	75.76	83.44	95.28
75	17.80	35.96	49.00	56.24	61.04	67.31	71.40	80.36	88.56	101.04
100	18.52	37.42	51.00	58.54	63.54	70.05	74.32	83.68	92.16	105.12
125	19.09	38.56	52.55	60.32	65.47	72.20	76.60	86.20	94.96	108.48
150	19.55	39.50	53.82	61.78	67.05	73.94	78.44	88.28	97.28	111.12
200	20.28	40.97	55.82	64.07	69.55	76.68	81.36	91.60	100.88	115.20

Si se toma en cuenta, el hecho de que existe un caso particular, para el que la magnitud de la intensidad es igual a la magnitud de la precipitación:

Formula de Chen

$$I1h_3 := p1h_3$$

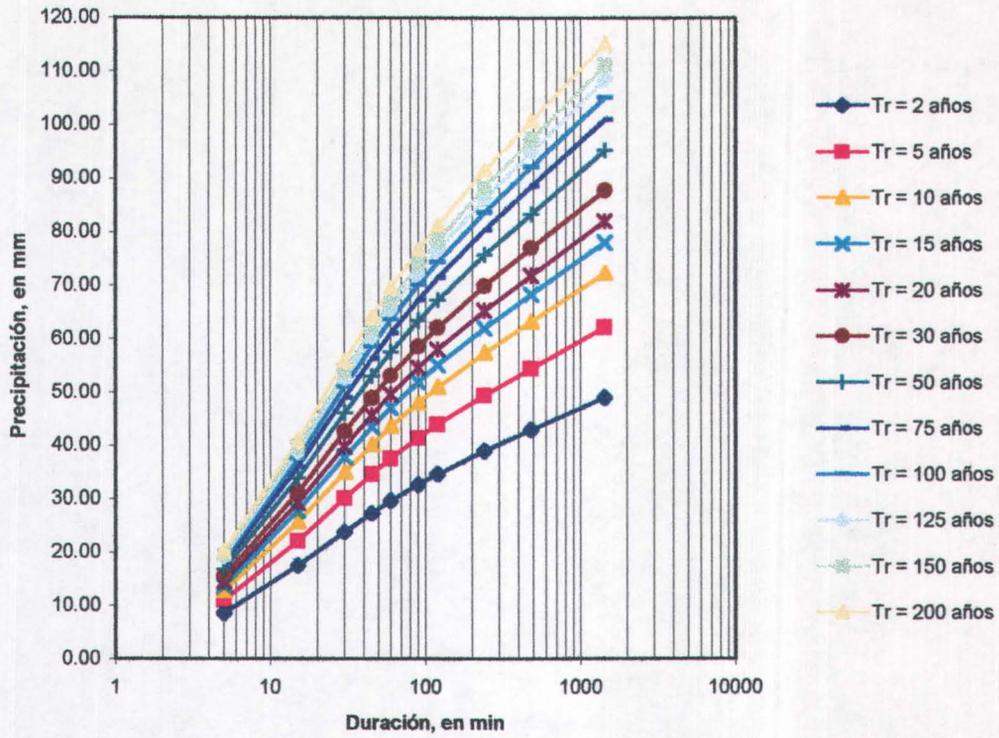
$$I_{i,j} := \left[ (a \cdot I1h_3) \cdot \frac{\log \left[ 10^{2-x} \cdot (T_i)^{x-1} \right]}{(t_j + b)^c} \right]$$

### Curvas intensidad-duración-período de retorno

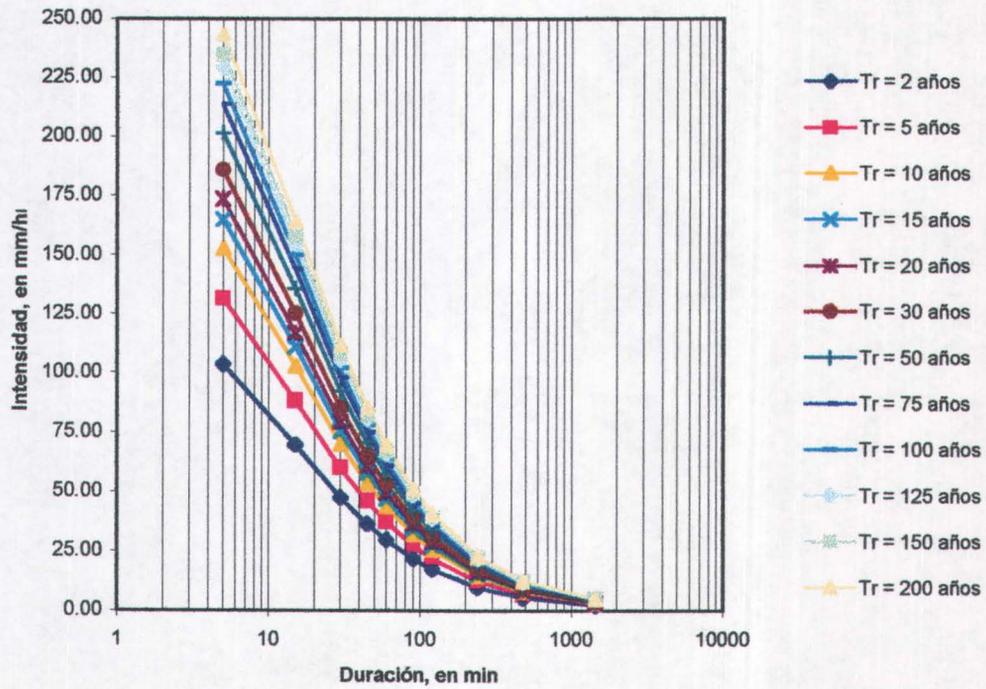
Tr, en años	Duración, en min									
	5	15	30	45	60	90	120	240	480	1440
2	103.58	69.75	47.53	36.37	29.61	21.76	17.32	9.75	5.37	2.04
5	131.38	88.48	60.28	46.13	37.55	27.61	21.97	12.36	6.81	2.59
10	152.41	102.64	69.93	53.51	43.57	32.02	25.48	14.34	7.90	3.01
15	164.71	110.93	75.58	57.83	47.08	34.61	27.54	15.50	8.54	3.25
20	173.44	116.81	79.58	60.90	49.58	36.44	29.00	16.32	8.99	3.42
30	185.75	125.09	85.23	65.22	53.10	39.03	31.06	17.48	9.63	3.66
50	201.25	135.53	92.34	70.66	57.53	42.29	33.65	18.94	10.43	3.97
75	213.55	143.82	97.99	74.98	61.04	44.87	35.70	20.09	11.07	4.21
100	222.28	149.69	101.99	78.05	63.54	46.70	37.16	20.92	11.52	4.38
125	229.05	154.25	105.10	80.42	65.47	48.13	38.30	21.55	11.87	4.52
150	234.58	157.98	107.64	82.37	67.05	49.29	39.22	22.07	12.16	4.63
200	243.31	163.86	111.64	85.43	69.55	51.12	40.68	22.90	12.61	4.80

Es necesario aclarar, que en el caso de que las áreas de influencia de las estaciones involucradas en un estudio particular, sean de magnitud considerable, se deberá realizar un ajuste por áreas de aportación al sitio en estudio.

Curvas hp-d-Tr



Curvas i-d-Tr



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método proporciona una solución que si bien no se puede llamar exacta, se considera aceptable y práctica, por lo que es útil en los análisis hidrológicos de estructuras proyectadas para el control de desagües e inundaciones.

Para comprobar y mejorar, el comportamiento de los datos de lluvias generadas a partir de la ecuación de Chen, para una zona en particular, se puede usar la información de las series de precipitaciones anuales deficitarias, siempre y cuando, se tengan registros.

La variación de la precipitación con la distancia y la altura son notables en las zonas orográficas altas, mientras que en las zonas más bajas, los cambios son menores. En general, la precipitación varía más con los cambios de altura que con los cambios de distancia (con excepción de algunos casos como los lados barlovento y sotavento de las montañas).

El cálculo de las alturas de lluvia con duraciones de 5 minutos a 24 horas para diferentes períodos de retorno, basados en los valores de la relación de las alturas de lluvias de 1 y 24 horas, requiere de un acercamiento consistente con el procedimiento utilizado.

Se ha confirmado que las relaciones altura-duración y altura-período de retorno, son independientes tanto del período de retorno como de la duración, respectivamente; es decir, se puede utilizar cualquier período de retorno para la primera y cualquier duración para la segunda. Sin embargo, se sugiere utilizar el período de retorno de 10 años para la relación de altura duración; y, en el caso de que exista pluviógrafo en el sitio de estudio, la relación altura-

período de retorno con registros de 1 hora, ya que, con estos valores se ha comprobado que disminuye la probabilidad de error en la estimación de los eventos.

Con las experiencias obtenidas, las diferentes clasificaciones señaladas, proporcionan la posibilidad de un pronóstico climático fundamentado en la interconexión con los fenómenos atmosféricos que se presentan en la República Mexicana.

Con ayuda de la ecuación generalizada de  $hp-d-Tr$ , las figuras 4.2 y 4.3; y, las tablas 9 y 10, es posible conocer el valor de  $R$  y conocida la precipitación  $P_1^{10}$ , puede obtenerse la precipitación asociada al período de retorno deseado para la duración que se requiera; siempre y cuando se respeten los límites para los que se ha comprobado que el método empírico propuesto arroja buenos resultados. Si el proceso se repite para varias duraciones, se obtienen las curvas de precipitación-duración-período de retorno ( $hp-d-Tr$ ); y, si lo que se necesita son las curvas de intensidad-duración-período de retorno ( $i-d-Tr$ ), sólo se debe dividir a las precipitaciones entre la duración correspondiente, o en su caso, utilizar la ecuación generalizada de  $i-d-Tr$ .

Finalmente, se espera que el presente trabajo aporte al conocimiento de una de las variables climáticas que intervienen en el desarrollo del país, factor regulador de los diferentes ecosistemas y fuente de vida que interviene en la planificación científica, el uso de suelo y la zonificación de los cultivos.

Para futuras investigaciones se deberá aprovechar que muchas de las series de tiempo seguramente se harán más largas y se podrá trabajar con una mayor cantidad de ellas, aportando así, información adicional que permita comprobar las suposiciones teóricas de ecuaciones establecidas inicialmente en el análisis.

## REFERENCIAS

- Aparicio Mijares Francisco J., **“Fundamentos de Hidrología de Superficie”**, Editorial Limusa, México 2001.
- Bell F. C., **“Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships”**, Journal of Hydraulic Div. ASCE, Vol. 95, No. HY1, 311-327, enero, 1969.
- B. Ferreri Giovanni, Ferro Vito, **“Short-Duration Rainfalls in Silicy”**, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 116, No.3, Marzo, 1990.
- Boughton C. Walter, **“A Model for Disaggregating Daily to Hourly Rainfalls for Design Flood Estimation”**, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Noviembre 2000.
- Campos Aranda Daniel F., **“Procesos del Ciclo Hidrológico”**, Universidad Nacional Autónoma de San Luis Potosí, Editorial Universitaria Potosina, México 1983.
- Chen C. L., **“Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas”**, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, No.12, 1603-1621, Diciembre, 1983.
- Chow Maidment Mays, **“Applied Hydrology”**, Editorial McGraw Hill, Nueva York, 1964.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), **“Programa Nacional Hidráulico 2001-2006”**, México 2001.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), **“Estadísticas del Agua en México, 2004”**, México 2004.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), **“Estudio para Caracterizar los Parámetros Hidrológicos de Diseño de Obras Hidráulicas”**, GRFS, México, 2003.
- Escalante Sandoval Carlos A., Reyes Chávez Lilia, **“Técnicas Estadísticas en Hidrología”**, UNAM, 2002.
- Froehlich David C., **“Long-duration-Rainfall Intensity Equations”**, Journal Irrig. and Drain. Engrg. ASCE, Vol. 121, No. 3, 248-252, Mayo/Junio, 1995.

Froehlich David C., "**Short-Duration-Rainfall Intensity Equations for Drainage Desing**", Journal Irrig. and Drain. Engrg. ASCE, Vol. 119, No. 5, 814-829, Sept/Oct, 1993.

Fuentes Mariles Oscar A., Víctor Franco, "**Estudio Hidrológico para Obras de Protección**", Cap. 3 del Manual de Ingeniería de Ríos, II UNAM, 1996

Guichard R. D R., "**Regionalización de Lluvias y Escurrimiento en la Cuenca del Alto Río Grijalva**", Tesis de maestría, DEPFI, UNAM, 1998.

Hersfield D. M., "**Extreme Rainfall Relationships**", Journal of Hydraulics Div. ASCE, Vol. 88, No. HY6, 73-92, Noviembre de 1962.

Lafragua C. J., "**Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno para la Vertiente del Golfo de México**", Tesis de maestría, DEPFI, UNAM, 1996.

Mendoza G. M., "**Factores de Regionalización de Lluvias Máximas en la República Mexicana**", Tesis de maestría, DEPFI, UNAM, 2001.

Organización Meteorológica Mundial, "**¿Hay Suficiente Agua en el Mundo?**", OMM-N° 857, Ginebra (Suiza), 1997.

Organización Meteorológica Mundial, "**Nuestro Clima Futuro**", OMM-N° 952, Ginebra (Suiza), 2003.

S. A. R. H., Secretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de irrigación y Drenaje, "**Estudio de Análisis Regional de Precipitaciones en la República Mexicana**", 1986

Silva Medina Gustavo A., "**Hidrología en Cuencas Pequeñas con Escasa Información**", gsm/Internet/Pagina/hidrocu.htm, Bogotá (Colombia), 2003.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

## **APÉNDICE A**

Información de las estaciones con los datos de lluvia utilizados, para duraciones de 1 hr y 24 hr

ESTADO	AGS		BCS		CHIS					
	Aguascalientes		San Pedro		Cacahuatan		Huixtla		Jesús	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944						200.0				
1945						170.0				
1946						157.0				
1947						158.0				
1948		40.5		67.0		122.0				
1949		48.9		221.0		227.0				
1950		28.3		36.0		160.0				
1951		38.4		59.0		122.5				
1952		27.6		37.5		165.0				
1953		39.3		26.0		285.6				
1954		45.1		32.0	47.5	160.8				
1955		26.0		45.0	100.4	136.8		155.0		
1956		30.2		75.0	64.0	123.7		170.0		
1957		51.0		145.0	68.0	122.9		130.0		
1958		91.3		131.0	73.5	120.9		148.8		
1959		65.0		201.0	97.4	225.8		136.3		
1960		26.0		55.0	75.5	149.4		118.5		
1961		33.0		52.0	72.6	190.0		146.4		
1962		36.0	13.7	32.0	78.5	142.5		139.4		
1963		48.0	67.3	77.0	85.0	230.0	76.5	187.4		
1964		45.2	44.2	47.0	95.0	265.0	58.0	103.6		96.0
1965		51.5	58.4	60.0	70.0	141.0	69.2	113.7	47.8	81.3
1966		78.7	41.3	62.0	80.0	118.0	116.9	149.5	65.0	105.2
1967		82.5	28.1	60.0	66.3	141.0	65.3	139.7	52.3	93.3
1968	20.2	42.0	22.7	28.5	59.9	138.0	85.2	139.7	67.0	112.0
1969	17.2	30.3	39.4	46.0	80.0	183.0	73.0	158.0	66.5	92.4
1970	31.6	73.0	41.8	45.0	73.6	126.0	93.5	124.1	71.0	102.8
1971	24.4	45.0	49.8	109.0	61.2	164.5	65.5	108.0	64.4	119.0
1972	11.2	45.8	61.5	66.0		160.8	68.6	102.7	73.8	135.5
1973	34.5	53.0	39.1	102.5		180.0	83.7	136.3	58.3	128.6
1974	16.7	68.0	17.2	60.0		200.0	77.9	200.0	131.5	166.9
1975	14.3	38.3	13.1	40.0		158.5	87.4	109.7	76.6	120.0
1976	20.0	67.0	48.6	56.5		157.0	77.0	106.4	67.3	97.8
1977	27.3	52.5		65.0		160.0	78.5	140.7	58.5	126.0
1978	21.6	49.0		118.5		124.0	71.0	157.0	85.0	165.0
1979	22.4	47.3		23.4		222.0	81.0	163.3	80.0	131.5
1980	10.9	71.0		28.0		84.1	92.9	124.5	89.0	214.5
1981	13.4	65.0		60.0		142.8	86.7	115.9	125.8	129.1
1982	31.8	32.0		169.6		180.4	70.9	122.5	48.7	90.6
1983	41.5	42.0		78.4				151.2	55.5	73.3
1984		41.5		60.0				108.5		
1985		23.7		64.8				123.6		
1986		63.0		83.9				141.1		
1987		44.0		38.6				178.8		
1988		43.0		61.5				135.1		
1989		58.5		66.8				236.9		
1990		42.0		54.9				134.7		
1991		57.0		114.1				139.7		
1992		50.3		72.8				120.0		
1993		20.0		51.7				133.7		
1994		53.8		68.1				135.1		
1995		61.0		58.1				141.1		
1996		31.0		55.5						
1997		20.5		50.4						
1998				77.0						
1999										

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	CHIS									
	Nueva Esperanza		Pijijiapan		Presa Malpaso		San Joaquín		Tapachula	
ESTACIÓN	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948										
1949										
1950										
1951										
1952										83.6
1953									72.5	91.3
1954									82.3	83.9
1955									71.4	97.8
1956									65.2	75.6
1957									66.0	82.9
1958									69.1	99.8
1959				80.0	37.5				39.7	90.6
1960		114.0		95.0	70.9				69.8	97
1961		53.0		124.0	74.5	234.0			48.9	85.7
1962		81.0		200.5	41.2	149.2	59.2	118.2	51.8	112.7
1963		34.0		193.1	54.0	217.0	46.9	155.6	78.3	138.8
1964	72.0	119.5	90.0	208.0	43.9	169.0	73.8	227.0	78.1	97.2
1965	85.0	128.3	66.7	99.0	62.8	160.0	73.0	141.7	69.9	95
1966	83.9	166.6	83.6	117.6	52.6	100.0	95.0	167.0	55.7	96
1967	63.4	95.2	56.7	74.3	39.3	108.4	75.2	293.6	111.1	125.6
1968	50.0	71.6	65.1	86.0	65.1	128.2	104.4	222.2	95.5	129.8
1969	65.9	92.9	79.5	99.5	48.7	221.0	75.0	130.0	79.6	158.9
1970	66.7	90.8	48.8	124.6	100.0	113.0	67.8	163.0	68.5	112.7
1971	41.5	102.8	59.0	126.3	30.0	141.7	62.3	173.6	77.0	112.7
1972	74.4	100.0	76.7	114.3	68.2	141.6	87.5	188.2	111.3	143.9
1973	77.5	100.2	73.9	102.1	58.5	110.0	52.0	205.7	73.9	104.2
1974	64.7	72.5	111.7	239.1	58.0	207.5	107.7	230.3	52.5	101.2
1975	55.2	84.9	62.8	130.8	36.0	105.5	75.6	119.2	75.2	113.3
1976	35.9	130.0	54.3	95.8	45.0	94.3	56.2	127.7	48.3	79.5
1977	40.0	97.6	52.0	103.2	55.0	100.0	57.2	180.2	61.8	82.3
1978	99.5	107.5	80.0	187.8		141.3	69.1	213.6	61.0	193.6
1979	60.0	121.1	65.7	126.2		134.2	85.5	189.5	53.1	108.5
1980	40.0	66.9		155.0		89.6		248.5	63.2	118.9
1981	80.0	143.0		126.5		112.0		151.6	52.5	94.5
1982	22.5	60.3		68.5		135.6		213.4	66.0	146
1983		107.5		67.3		105.0		94.5		127.9
1984		107.6		56.1		132.5		114.6		143.5
1985		62.5		120.0		88.0		97.0		66
1986		156.4		124.0		126.0				172.7
1987		154.3		108.4		103.5				101.1
1988		106.3		210.0		161.5				207.9
1989		194.2		113.5		123.5				87.1
1990		89.4		92.3		153.0				119.2
1991		65.7		136.2		120.0				83.8
1992		70.7		95.3		180.5				131.6
1993		148.0		78.5		191.5				123.8
1994				95.8		154.0				77.7
1995				143.0		146.5				154.4
1996				125.9		132.0				88.9
1997				125.9		147.5				113.4
1998				274.0		201.5				145.5
1999				117.5		147.0				

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	DGO				GRO				HGO	
ESTACIÓN	El Palmito		Narciso Mendoza		Pueblo Nuevo		Ciudad Altamirano		Ciudad Sahugun	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940		42.0								
1941	20.3	29.0								
1942	25.5	40.0								
1943	15.6	32.8								
1944	24.3	84.6								
1945	12.7	21.6								
1946	20.0	48.0								
1947	21.0	44.8								
1948	18.0	48.9								
1949	28.1	40.0								
1950	14.1	25.5								
1951	17.7	44.0								
1952	14.8	29.0								
1953	28.2	64.8								
1954	19.0	31.2								
1955	43.0	73.0								
1956	18.7	40.7						120.0		
1957	11.1	31.0						20.0		
1958	57.6	78.0						40.5		
1959	39.6	43.4						70.0		
1960	26.0	32.0						48.5		
1961	34.7	46.0						123.0		37.0
1962	20.0	29.9					56.8	70.5	14.0	20.0
1963	11.5	36.8					56.1	78.0	17.1	25.5
1964	25.1	31.5		37.5			46.4	65.0	11.7	43.0
1965	27.8	42.6		48.5		127.0	47.0	66.0	21.6	25.0
1966	25.0	33.0		39.0		98.8	98.5	115.0	26.2	53.0
1967	50.0	64.0	9.5	43.3	38.1	77.0	61.6	97.0	13.0	33.0
1968	43.3	48.5	17.6	34.0	43.3	95.5	60.0	61.5	23.9	48.0
1969	18.8	30.5	17.0	27.5	42.0	195.0	50.0	87.0	18.3	36.8
1970	15.0	46.4	25.2	74.8	44.7	90.4	48.0	66.5	22.6	24.9
1971	18.7	29.3	21.2	24.5	37.0	58.0	32.6	40.0	32.9	36.8
1972	25.0	38.0	26.0	48.2	52.9	350.0	45.9	72.0	28.5	28.5
1973	35.0	62.5	42.8	68.2	29.1	120.0	38.5	49.5	72.0	103.0
1974	25.7	35.0	17.6	34.0	33.2	154.0	47.8	72.3	32.2	37.5
1975	51.9	57.0	54.2	60.5	68.2	174.0	47.5	77.5	32.9	40.0
1976	16.8	32.0	15.3	38.0	56.6	93.5	23.3	78.0	31.3	47.0
1977	23.5	40.0	10.0	37.3	42.4	59.0	66.0	74.0	20.4	27.5
1978	40.5	60.3	30.0	52.3	10.0	92.7	47.8	65.5	21.3	24.0
1979	25.7	43.0	14.0	22.5	61.2	206.0	83.5	87.1	20.3	46.0
1980	30.5	47.0	15.4	38.5	16.2	57.0	50.8	87.2	42.3	47.9
1981	16.4	32.5	20.5	39.5	48.6	69.0		64.3	27.6	38.4
1982	25.0	34.5	37.0	58.5		81.5		69.5	18.1	38.9
1983		36.0		52.0		110.0		43.6	20.0	37.6
1984		42.5		36.0		150.0		58.5		23.4
1985		41.0		40.5		200.0		74.7		19.3
1986		40.0		59.5				70.4		29.1
1987		50.8		46.5				43.2		33.3
1988		20.0		29.0				55.5		39.5
1989		41.5		43.0				70.8		50.0
1990		51.0		32.5				78.5		19.7
1991		55.5		38.0				72.5		38.4
1992		36.0		33.0				94.8		25.0
1993		60.0		45.0				72.7		
1994		23.0		35.0				63.2		
1995		32.0		24.5				52.2		
1996		33.5		35.0				72.5		
1997		71.5		40.0				52.0		
1998								105.0		
1999										

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	HGO				MEX					
ESTACIÓN	San Miguel Allende		Singuilucan		Chapingo		Ixtapan de la Sal		Presa de Guadalupe	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948										
1949										
1950										
1951										
1952										
1953										
1954										
1955										
1956										
1957										
1958										
1959					11.5				24.0	
1960					34.8				31.8	
1961		52.3		29.0	23.8	35.0			25.2	43.1
1962		35.1		46.0	30.3	30.9			33.0	43.0
1963		40.5		31.0	24.2	31.0		58.0	34.8	55.6
1964		57.2		41.0	21.2	27.5		46.0	24.6	32.1
1965		55.5	17.6	24.5	24.5	29.2		51.0	23.4	30.8
1966		54.2	17.4	32.0	48.3	52.7		45.2	26.4	40.9
1967	38.4	41.8	24.5	39.5	29.5	52.0		92.5	31.8	71.5
1968	24.1	30.4	13.5	26.0	34.0	39.5	22.2	80.5	19.8	43.5
1969	17.7	40.5	20.6	48.0	27.3	40.7	40.9	56.1	30.6	67.0
1970	21.7	24.8	18.4	32.0	35.2	37.7	20.0	60.9	30.9	54.0
1971	24.6	44.5	15.2	41.0	18.5	25.1	38.3	51.9	17.1	50.0
1972	20.5	29.5	14.6	28.0	22.4	23.3	40.0	48.5	23.0	60.7
1973	25.8	38.0	19.8	44.0	17.8	25.0	33.0	47.2	15.0	75.0
1974	35.3	60.0	16.0	111.0	40.3	50.5	42.0	59.8	42.3	48.0
1975	29.8	39.5	19.3	55.0	20.7	27.3	34.8	50.5	21.9	36.0
1976	23.7	55.5	18.2	51.0	21.7	34.0	36.9	62.4	28.0	32.5
1977	19.0	38.0	14.0	16.6	24.1	34.0	23.4	47.6	32.0	33.0
1978	16.5	54.5	44.2	55.5	28.3	21.2	20.0	54.0	23.0	43.0
1979	22.4	39.0	25.9	64.0	36.7	56.5	43.0	44.3	30.9	47.0
1980	31.6	48.0	40.7	57.0	19.3	26.7	31.5	64.0	21.0	40.5
1981	28.7	55.0	25.0	38.0	43.0	44.3	24.3	61.2	27.6	44.1
1982	23.0	45.0	12.1	44.0	10.0	18.2	35.3	51.0	52.8	62.1
1983	43.1	50.0		32.0	18.0	25.1	17.2	73.0	30.0	39.8
1984		43.5		37.0	12.4	29.6		45.0	27.3	33.2
1985		38.0		34.5	40.0	37.0		49.0	16.3	29.6
1986		46.0		27.0	20.0	26.4		58.5	43.4	78.9
1987				22.0	28.4	30.1			25.3	36.8
1988					40.0	60.4			30.9	60.5
1989					31.4				25.9	
1990					30.7				42.0	
1991					24.4				41.9	
1992					32.1				53.3	
1993					12.4				41.0	
1994					30.7				40.9	
1995					20.5				54.3	
1996										
1997										
1998										
1999										

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	MICH						NAY		OAX	
ESTACIÓN	Corrales		Tepuxtepec		Yurecuaro		San Pedro		Jacatepec	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940						29.0				
1941						48.0				
1942		54.4				46.0				
1943		45.3				39.1				
1944		450.0				43.0				
1945		39.5				60.0				
1946		50.5				36.0		92.0		
1947		95.0		43.7		48.5		68.5		
1948		50.8		84.5		51.5		126.5		
1949		51.5		80.0		42.4		114.2		
1950		40.2		61.8		39.5		200.0		
1951		42.0		48.7		49.1		84.0		
1952		67.5		63.3		42.0		118.0		
1953		41.0		36.9		44.4		70.9		172.0
1954		40.0		52.5		35.0		126.8		228.0
1955		46.0		72.5		50.8		136.0		193.5
1956		34.5		57.8		47.0		114.2		161.0
1957		39.0		39.2		36.0		111.4		127.0
1958		56.0		57.5		51.1		132.4		282.0
1959		72.5		84.2		70.3		90.9	67.6	233.0
1960		49.3		48.7		37.2		86.3	69.5	150.3
1961		36.8		67.3		43.3		126.3	76.2	166.7
1962		46.5	21.4	32.9	22.5	55.7	93.8	138.8	76.4	235.7
1963		46.2	42.0	55.4	33.3	48.9	91.6	129.8	65.6	150.2
1964		69.0	22.9	38.7	56.5	66.4	74.0	100.6	87.6	198.2
1965	35.8	61.1	22.1	39.2	24.6	52.5	58.4	85.0	85.3	189.5
1966	24.1	38.7	35.3	66.0	40.8	43.2	33.9	119.2	59.0	136.2
1967	22.2	54.1	39.1	46.8	30.2	51.7	80.0	234.6	106.0	251.4
1968	33.7	56.0	21.8	50.0	32.8	55.4	77.4	114.5	67.7	197.5
1969	17.4	83.4	38.4	44.2	29.1	33.1	102.3	172.0	91.8	250.0
1970	41.9	64.4	28.3	52.1	30.0	53.1	81.6	120.7	79.4	131.8
1971	14.2	43.1	41.5	43.8	23.0	77.5	70.0	101.9	101.0	163.3
1972	27.9	70.8	50.2	58.0	34.5	50.3	79.8	155.0	69.0	96.7
1973	23.6	52.5	49.5	65.3	55.3	96.4	92.0	121.5	65.0	324.5
1974	23.8	75.3	57.2	72.8	35.0	42.2	59.3	142.0	70.7	206.2
1975	10.5	39.1	47.0	55.6	41.7	50.8	77.3	118.2	53.5	148.0
1976	26.5	84.8	47.0	41.7	28.5	65.3	115.0	162.7	80.6	227.5
1977	14.0	49.0	31.9	49.4	18.0	48.6	66.0	72.7	81.0	138.9
1978	41.5	39.9	37.7	49.0	35.3	37.2	60.7	126.6		174.8
1979	34.7	49.4	21.3	49.9	22.4	51.7	70.4	20.0		176.6
1980	17.4	38.4	21.5	64.9	25.3	68.2	45.9	103.3		194.1
1981	41.1	40.6		46.2	40.0	48.6	45.0	122.4		216.2
1982		42.0		34.0		44.4	67.0	122.4		213.1
1983		47.1		85.9		92.9		242.5		221.8
1984		41.0		54.6		47.5		151.0		173.5
1985		46.2		51.3		92.2		76.0		145.3
1986		40.0				58.8		120.0		151.6
1987						60.0		113.5		146.3
1988								161.0		258.4
1989								176.4		142.3
1990								83.5		279.1
1991										182.6
1992										313.4
1993										238.6
1994										179.6
1995										170.0
1996										200.5
1997										152.0
1998										184.0
1999										152.0

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	OAX									
ESTACIÓN	Jayacatlán		La Estrella		Monte Rosa		Papaloapan		San Pedro Nolasco	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948							53.4			
1949							75.0	115.7		
1950							31.4	176.6		
1951							60.0	131.9		
1952							64.7	123.7		
1953				184.8			53.5	109.0		
1954				201.6			43.7	101.6		
1955		42.0		216.4		143.4	73.6	138.2		
1956		45.0		245.2	46.0	79.0	74.7	130.0		
1957	22.6	43.0	85.7	142.5	42.6	91.5	57.8	127.0		
1958	20.0	48.0	129.0	372.2	70.0	160.3	54.0	141.6	19.6	
1959	42.4	50.0	93.3	341.2	61.6	137.2	53.5	170.6	23.6	
1960	12.0	35.6	88.0	187.3	44.0	152.0	63.5	139.9	21.2	
1961	8.7	27.0	66.5	188.2	66.4	134.0	62.5	109.0	20.0	63.9
1962	12.2	38.5	91.4	224.3	41.8	100.0	56.8	137.3	17.0	49.0
1963	16.0	46.0	77.1	197.0	62.3	110.4	56.5	102.7	21.0	46.2
1964	27.0	40.0	77.6	348.7	57.2	96.3	68.9	118.1	15.2	45.0
1965	12.6	28.5	63.9	268.8	78.0	156.5	70.6	106.9	14.0	29.2
1966	33.0	85.5	68.8	212.2	63.4	132.1	107.0	136.3	42.9	73.0
1967	31.2	70.0	96.0	178.8	55.5	133.1	53.7	89.0	27.0	92.5
1968	28.8	40.0	58.0	194.5	108.0	229.0	58.0	129.2	25.2	57.0
1969	34.9	65.0	84.0	233.3	64.0	150.9	107.5	178.6	25.3	76.0
1970	36.8	46.0	50.5	310.0	70.0	110.3	55.2	172.0	5.1	50.0
1971	55.7	65.3	76.5	225.6	22.4	123.8	69.5	127.2	9.0	53.5
1972	31.0	34.5	38.2	180.0	89.5	112.5	57.5	103.6	9.3	40.0
1973	25.1	100.0	57.4	353.5	26.6	150.7	63.0	191.2	8.1	57.0
1974	29.7	103.0	57.4	231.8		174.0	29.0	118.8	7.0	153.0
1975	33.0	66.0	80.4	253.0		112.6	12.5	156.4	12.0	57.7
1976	31.6	49.0	87.0	216.5		156.6	23.7	147.3	10.9	47.5
1977	30.0	79.0	70.0	149.8		104.4	27.1	126.6	8.9	47.5
1978		40.0		174.4		170.5		139.4		105.0
1979		40.0		217.5		109.0		94.3		67.4
1980		30.0		165.1		227.0				
1981				243.2		160.0				
1982				158.8		99.2				
1983				212.5		140.3				
1984				180.6		102.5				
1985						95.2				
1986						123.6				
1987						152.0				
1988						112.0				
1989										
1990										
1991										
1992										
1993										
1994										
1995										
1996										
1997										
1998										
1999										

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	OAX		PUE				SLP			
ESTACIÓN	Villa Alta		Balcón del Diablo		Caltepec		Damián Carmona		Las Adjuntas	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948										
1949				34.0						
1950		250.0		43.3						
1951		80.0		73.3						
1952		140.0		56.0						
1953		108.0		37.8						
1954		73.0		49.9						
1955		91.0		54.9		65.3				
1956		65.0		43.4		40.2				
1957	20.0	82.0		49.8	25.0	27.0				
1958	41.6	156.0		40.4	15.0	56.0				
1959	28.5	65.5		31.2	28.2	37.0				
1960	22.0	96.0		39.5	23.0	55.0				
1961	20.6	80.0		42.8	11.9	29.1	65.4	112.0		57.4
1962	31.2	55.2	32.5	43.8	11.0	41.0	50.4	117.0	68.8	75.0
1963	31.8	60.0	46.0	51.5	22.3	31.2	78.2	112.0	51.3	42.0
1964	18.0	82.0	30.0	56.8	46.7	70.9	64.1	102.5	37.0	65.5
1965	25.6	55.0	40.0	57.2	19.3	44.8	62.9	93.0	50.0	72.2
1966	34.4	110.0	40.3	66.2	23.4	45.7	48.5	141.0	38.2	63.2
1967	35.9	111.0	23.3	57.0	29.9	37.5	42.2	182.0	58.0	131.5
1968	21.5	90.0	36.0	77.5	21.5	32.7	51.7	137.0	36.8	70.9
1969	27.2	72.5	35.6	59.9	23.2	48.5	59.0	126.0	37.6	100.3
1970	47.0	62.8	37.8	47.6	15.2	49.8	66.2	112.0	67.8	141.5
1971	17.4	64.0	26.9	49.8	18.3	30.0	48.5	143.0	52.0	58.1
1972	24.5	82.8	42.0	62.8	21.6	55.4	54.1	87.0	47.4	74.7
1973	34.5	146.0	40.0	73.3	32.3	55.6	83.0	121.5	60.3	87.0
1974	34.5	80.0	30.0	36.2	39.3	45.0	55.0	160.0	52.5	134.0
1975	28.4	83.5	22.5	37.5	17.3	27.8	53.2	100.0	40.3	78.4
1976	16.6	49.5	27.0	33.2	15.2	38.7	65.6	234.0	79.5	237.5
1977	35.8	40.0	34.0	47.7	9.2	46.2	40.0	165.0	60.7	80.0
1978		213.5	30.0	50.0		31.8	70.5	121.0	58.5	59.2
1979		78.3	30.4	53.2		45.9	56.8	103.5	27.2	93.0
1980		88.0	34.0	42.8		45.4		87.0		72.2
1981		74.5	36.0	43.2		81.2		76.0		85.0
1982		57.8	25.0	37.8		38.7		95.0		68.0
1983		95.0	18.7	35.8		38.4		130.0		86.4
1984		60.0		50.5		52.6		116.0		66.7
1985		57.3		27.5				130.0		80.5
1986				34.5				82.0		93.2
1987				38.0				99.0		100.0
1988				60.2				120.0		133.5
1989				46.8				82.0		38.0
1990				49.8				186.0		182.5
1991				61.3				208.0		134.7
1992				36.7				90.0		69.4
1993				43.7				266.0		118.2
1994				34.7				120.0		111.4
1995				47.4				127.5		92.3
1996				45.7				318.0		86.0
1997								113.0		108.7
1998										
1999										

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	SLP				TAB					
ESTACIÓN	Nogal Oscuro		Tierra Blanca		Cárdenas		Jalpa de Méndez		Pueblo Nuevo	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948										109.0
1949										129.5
1950										81.0
1951									59.1	89.5
1952									55.2	124.0
1953									70.9	103.3
1954									37.5	80.7
1955						275.0			60.0	200.8
1956						280.0			46.5	75.8
1957						175.0			110.0	185.8
1958						185.0		103.0	61.1	124.8
1959					32.3	131.0		291.0	80.0	133.4
1960					46.5	101.9		93.5	92.7	137.8
1961				117.5	41.3	97.5		145.0	37.6	99.5
1962			60.0	80.0	66.0	106.5	39.7	85.0	47.1	71.2
1963			91.3	120.4	61.5	125.3	47.7	184.3	54.4	89.0
1964			46.0	149.1	62.8	185.0	39.5	118.0	68.7	114.6
1965			75.0	111.0	49.5	82.7	28.2	134.6	48.2	81.8
1966		118.2	98.7	181.7	55.4	115.4	39.0	84.6	49.1	75.0
1967		64.3	99.8	208.5	58.6	130.1	38.6	114.9	72.7	128.3
1968	54.3	118.9	84.0	160.5	58.4	106.0	59.4	130.0	120.0	179.1
1969	18.4	44.2	54.7	82.0	43.8	97.9	73.0	102.3	79.0	210.3
1970	38.3	52.4	63.0	154.0	92.4	236.7	58.0	203.0	40.0	77.1
1971	44.0	65.0	79.2	186.0	54.9	76.6	36.8	95.5	87.5	79.3
1972	36.5	31.0	71.8	127.3	54.1	168.0	43.0	161.5	87.5	208.5
1973	35.2	51.5	39.5	121.4	67.8	148.0	53.0	110.0	55.5	125.9
1974	40.9	52.3	74.1	265.0	86.0	161.1	47.7	97.5	76.5	156.5
1975	21.0	54.4	70.0	182.6	53.1	165.5	55.4	149.0	60.0	102.3
1976	38.6	120.4	62.9	118.0	74.0	327.6	107.1	341.6	67.0	136.8
1977	70.2	72.4	64.5	91.9	59.2	149.0	80.0	170.0	70.0	110.9
1978	30.0	70.4	102.6	284.5	56.9	85.5		80.8	52.8	103.2
1979	32.9	69.6	49.1	90.8	42.6	192.0		137.0	72.7	142.5
1980	21.6	36.0		136.3	37.5	188.2		70.7		306.4
1981	24.1	76.6		164.0	80.2	106.4		100.0		126.8
1982	26.3	45.0		63.5	36.9	120.5		110.0		151.8
1983	51.4	77.0		162.5	32.0	90.8		103.0		100.8
1984		49.0		223.0		158.3		96.0		100.8
1985		82.6		104.5		42.0		63.2		100.4
1986		63.7		78.5		79.8		137.0		82.4
1987		37.0		105.4		122.0		137.0		71.2
1988		69.5		126.5		106.0		165.0		184.0
1989		43.2		153.5		111.5		127.0		126.5
1990		75.0		371.2		93.5		86.0		127.5
1991		87.5		136.5		220.0		100.0		151.4
1992		38.0		193.7		170.5		173.0		220.8
1993		128.5		348.5		100.5		112.0		111.0
1994		60.2		133.8		115.5		126.0		147.2
1995		44.5		121.2		155.0		252.0		103.1
1996		88.7		94.5		82.0		144.0		93.5
1997		91.8		65.5		160.5		137.0		88.6
1998						143.5		138.0		107.8
1999						203.0		244.0		

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	TAB				TAMS					
ESTACIÓN	Teapa		Villahermosa		Ahualulco		El Barretal		La Corona	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948			48.8	164.8						
1949			50.8	111.5						
1950			37.5	59.3						
1951			37.6	124.7	58.0					
1952			30.0	111.5	61.8					
1953			34.0	98.2	71.5					
1954			76.7	90.0	66.0					
1955			79.5	224.5	49.6					
1956			45.0	94.2	57.5					
1957			75.0	200.0	104.0					
1958			55.1	92.4	63.4				62.5	
1959			65.0	187.0	47.5				46.0	
1960		187.8	101.2	135.0	71.6				74.1	
1961		202.8	66.1	80.0	90.0	126.0		83.2	30.8	65.0
1962	64.0	151.2	60.0	65.2	61.8	226.4		84.2	65.2	80.5
1963	65.0	196.0	76.7	121.6	62.0	70.5		69.5	66.4	92.5
1964	58.0	265.1	61.7	128.5	62.0	119.5		135.2	49.4	68.0
1965	74.3	154.8	90.0	133.5	56.4	88.0		60.2	67.5	84.0
1966	90.0	163.9	64.3	101.3	50.0	174.0		99.4	44.5	92.0
1967	67.3	262.0	40.0	174.5	56.4	153.2		110.2	40.6	126.5
1968	64.5	224.1	60.0	111.0	63.9	200.3	51.3	63.4	61.2	87.3
1969	54.4	160.0	60.0	92.1	65.9	173.5	94.1	102.3	48.5	71.4
1970	65.0	184.8	50.0	118.2	45.0	198.8	72.1	70.0	86.7	77.8
1971	58.0	179.9	47.0	67.8	56.5	158.4	39.6	58.3	24.7	124.6
1972	60.6	187.8	66.7	227.0	93.3	367.7	68.0	90.3	63.9	124.0
1973	90.2	176.6	36.7	113.2	58.4	113.5	41.5	106.0	46.9	95.0
1974	72.1	224.3	63.7	89.7	75.2	106.5	22.5	95.5	38.7	126.5
1975	58.6	144.1	51.2	85.3	49.4	140.2	43.7	92.0	63.5	97.0
1976	71.0	227.1	70.0	228.0	76.2	222.0	29.8	80.0	57.0	120.0
1977	60.0	160.2	40.0	98.5	54.5	152.5	32.8	67.8	31.5	129.0
1978	50.4	171.3	89.0	90.5	35.5	134.2	44.2	80.5	47.2	92.0
1979	50.0	150.1	63.5	125.6	31.3	141.8	28.0	100.0	47.8	89.3
1980	42.6	115.1	56.7	340.0	60.4	115.4	26.7	54.0	33.6	66.0
1981	61.5	209.0	43.3	132.5	63.3	95.4	63.3	100.0	43.1	74.0
1982	50.1	155.4	85.0	115.7	57.2	130.0	85.5	83.0	46.3	81.0
1983	54.4	111.8	74.7	109.5	63.1	130.8	35.4	96.2	50.0	116.0
1984		140.6	52.4	158.8		159.0		106.0		80.0
1985		235.2		106.6		143.5		109.0		53.0
1986		149.5		56.9		136.7		73.0		83.1
1987		189.8		124.1		220.0		48.5		60.5
1988		158.3		254.4		81.5		99.1		88.5
1989		158.9		137.2		151.2		83.4		88.4
1990		157.1		133.5		63.9		70.0		78.0
1991		147.1		174.5		124.5		67.0		66.0
1992		301.2		170.5		154.0		101.5		80.5
1993		220.6		107.5		210.6		138.5		83.3
1994		177.8		94.3		195.0		72.0		68.0
1995		135.6		191.0		101.0		69.5		119.9
1996		149.8		81.0		136.3		40.0		82.5
1997		149.9		180.0		241.7		59.0		61.0
1998						111.2		65.2		
1999						187.0		72.2		
2000								81.5		

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	TAMS									
	La Soñadora II		Magitscatzin		Ocampo		Padilla		San Carlos	
ESTACIÓN	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946							20.9			
1947							23.4			
1948							70.0			
1949							54.2			
1950							75.3			
1951							45.6			
1952							29.7			
1953							63.1			
1954							29.6			
1955							51.7			
1956							27.4			
1957							37.3			
1958							87.9			
1959							30.0			
1960							48.0			
1961		46.0			28.3	78.0	43.7	55.0		62.0
1962	34.9	55.0	35.2		45.7	130.5	31.5	122.5		66.0
1963	37.0	95.0	37.5		81.0	130.0	45.2	61.5		75.0
1964	59.4	74.1	50.5	83.0	62.8	122.0	73.6	82.3		90.0
1965	62.8	72.8	42.6	68.0	61.9	160.0	45.6	45.7	27.6	47.0
1966	47.8	233.0	57.5	21.0	117.0	168.0	46.3	158.1	32.6	120.0
1967	53.8	139.8	49.7	91.0	42.6	92.0	40.8	114.9	52.9	185.5
1968	29.8	60.4	41.6	51.0	81.5	254.0	46.5	65.3	42.0	60.0
1969	58.8	60.4	55.1	77.5	90.5	142.0	61.7	65.7	39.0	77.0
1970	27.1	39.2	47.1	86.5	74.0	167.0	40.4	72.0	40.0	99.0
1971	43.6	72.0	23.7	58.5	93.0	243.5	37.1	90.0	56.7	104.5
1972	79.9	93.2	50.4	93.0	71.9	102.0	74.8	97.2	50.4	89.0
1973	50.0	151.5	60.4	100.0	79.5	162.0	37.3	112.0	55.3	77.0
1974	55.5	85.2	47.0	131.0	61.5	112.0	11.5	105.0	34.5	48.5
1975	48.5	122.8	71.3	102.0	63.5	139.0	42.1	68.3	55.8	88.5
1976	38.4	59.3	54.2	54.0	92.9	367.0	19.0	100.0	32.7	52.0
1977	64.4	100.0	82.0	80.0	77.3	144.5	54.6	58.5	33.0	106.0
1978	40.1	70.4	39.1	103.0	70.8	115.5	43.7	72.1	43.9	109.0
1979	85.5	130.5	54.0	102.0		270.3	43.7	90.0	37.4	86.0
1980	15.3	94.3	38.0	117.0		75.9	22.3	58.2	50.1	55.0
1981	61.0	147.2	43.7	74.0		69.3	37.6	93.8	62.8	144.0
1982	37.6	114.0	44.5	101.5		151.5	25.5	74.7	43.2	81.5
1983	35.2	43.5	37.4	48.0		173.0	42.1	127.0	30.9	56.5
1984		58.7		40.0				63.1		40.0
1985		62.4		128.5				120.0		78.0
1986		65.3		60.0				55.5		56.0
1987		82.6		110.0				55.2		87.0
1988		182.5		128.0				122.2		172.0
1989		78.5		68.0				64.5		42.0
1990		56.1						57.0		71.0
1991		65.4						63.0		62.0
1992		85.0						35.0		56.0
1993		70.5						81.4		45.0
1994		80.0						46.3		54.0
1995		156.5						80.0		128.0
1996		121.5						116.2		111.5
1997		50.9						57.4		40.5
1998		78.5						52.2		190.5
1999										

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	TAMS				VER					
ESTACIÓN	San Fernando		Tula		Acayucan		Altotonga		Cuaautotolapan	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939	35.5									
1940	57.0									
1941	69.1									
1942	21.4									
1943	36.0									
1944	44.0									
1945	43.5									
1946	39.4									
1947	60.0									
1948	41.5				22.5				30.0	
1949	23.3				39.0				36.4	
1950	48.8				34.0				48.9	
1951	36.3				26.2				39.7	
1952	43.7				57.8				60.5	
1953	46.1				28.6				29.0	
1954	57.5				71.3				41.0	
1955	26.8				28.6				61.4	
1956	27.6				40.9				32.7	
1957	44.0				40.0				71.0	
1958	44.0				53.3				53.5	
1959	59.4				59.5				70.3	
1960	28.0				63.0				56.2	
1961	49.0	117.0		55.0	58.4	109.9		110.0	20.1	85.0
1962	44.0	54.0		31.0	29.8	57.5		45.0	77.0	120.0
1963	44.0	163.6		39.0	36.5	112.7		65.0	32.0	106.1
1964	28.3	43.0		43.0	41.5	166.5		67.5	36.8	83.5
1965	57.3	60.0	22.5	30.0	39.2	86.5	30.7	65.0	29.5	98.0
1966	40.7	80.0	26.8	90.0	43.5	123.3	17.1	110.0	33.8	82.3
1967	43.9	126.5	20.0	32.1	54.5	125.0	29.8	95.0	46.8	101.2
1968	33.8	40.0	23.5	76.0	33.7	168.0	35.9	75.0	36.0	73.4
1969	69.1	93.5	13.7	21.5	24.3	109.9	29.6	66.0	63.8	77.0
1970	59.2	89.0	38.4	54.0	19.3	75.0	19.6	60.0	47.0	94.8
1971	34.0	155.0	20.0	23.0	54.7	115.7	26.6	98.0	10.0	94.0
1972	46.7	68.5	36.3	63.5	44.8	89.0	24.4	71.0	49.5	52.3
1973	21.4	93.5	15.8	31.8	49.6	121.4	27.7	64.0	60.6	139.6
1974	23.7	35.5	33.0	37.3	61.0	154.0	29.0	240.0	29.3	214.9
1975	47.2	119.0	19.7	46.3	47.3	67.5	32.8	130.0	10.4	56.7
1976	63.8	100.0	31.8	56.8	18.4	107.3	30.4	106.0	22.9	52.0
1977	63.8	105.0	36.7	82.6	19.6	161.0	24.7	54.0	32.2	320.0
1978	26.3	159.0	34.0	37.8		86.0	30.7	164.0		63.5
1979	35.2	72.0	15.0	68.0		86.0	32.4	137.5		74.7
1980	65.0	65.0	10.0	54.0		174.0	45.1	110.5		199.5
1981	53.4	85.0	23.4	51.6			41.3	106.0		90.9
1982	54.4	87.5	19.0	20.0			50.0	120.0		52.5
1983		65.5	12.3	39.5				80.1		81.8
1984		79.5		27.6				110.0		91.0
1985		100.0		16.6				89.5		47.0
1986		106.0		19.6				58.0		130.0
1987		87.5		43.0				50.0		72.0
1988		137.5		85.0				48.0		87.2
1989		78.0		45.0				60.0		86.5
1990		60.5						70.0		56.5
1991		85.0						50.0		81.5
1992		70.5								54.9
1993		53.5								58.5
1994		83.0								66.5
1995		71.0								60.5
1996		67.5								135.2
1997		71.0								85.0
1998										
1999										

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA

ESTADO	VER								ZAC	
ESTACIÓN	El Tejar		José Cardel		Santa Rosa		Tempoal		Cazadero	
AÑO	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)	1 hr (mm)	24 hr (mm)
1939										
1940										
1941										
1942										
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948										
1949										
1950										
1951										
1952										
1953										
1954										
1955										
1956										
1957										
1958										
1959					22.3					
1960			43.2		35.2					
1961		129.5	44.1	221.5	44.5	167.0		118.5		
1962	66.9	121.5	53.1	108.6	24.8	49.0	41.9	54.8		
1963	85.5	103.0	55.8	115.4	57.3	105.5	35.0	100.0	24.8	40.0
1964	60.0	150.5	38.8	65.3	42.1	102.5	53.1	132.0	28.4	28.5
1965	53.9	103.2	81.5	105.5	28.6	60.0	69.6	86.0	25.7	40.4
1966	46.2	135.0	58.8	190.0	47.0	178.0	61.6	140.5	36.0	34.0
1967	41.8	89.0	58.1	131.5	32.6	120.5	56.2	123.5	15.9	27.0
1968	41.5	91.8	38.2	55.0	41.4	71.0	33.6	80.0	38.6	43.0
1969	53.0	132.5	37.4	121.5	34.2	125.1	53.2	64.4	29.4	35.5
1970	51.8	110.0	78.6	130.0	24.3	179.0	64.8	118.0	41.4	53.0
1971	35.8	206.0	56.7	152.0	11.3	103.0	40.2	65.0	22.4	47.4
1972	69.8	198.5	24.2	131.0	21.4	139.9	32.4	54.0	24.3	41.0
1973	49.4	100.0	48.5	169.3	24.5	125.3	27.7	89.0	20.1	39.8
1974	99.3	178.0	55.8	138.0	32.6	185.3	102.4	136.3	23.7	28.1
1975	66.1	111.5	52.1	131.0	26.4	97.3	47.0	190.0	15.7	42.3
1976	54.5	94.2	33.3	107.0	29.0	98.5	57.8	100.5	40.2	82.8
1977	64.6	151.0	39.1	187.5	32.0	60.0	50.0	180.0	25.5	35.0
1978	54.0	118.0	34.4	134.5	36.1	84.7	55.1	110.0	25.5	35.8
1979	45.1	122.5	44.0	170.0	35.9	204.0	44.7	66.5	10.0	23.7
1980	52.7	136.0	41.9	63.6	40.0	68.0		88.0	15.6	19.7
1981	46.9	151.5	10.0	146.5	27.3	105.4		106.5	15.3	58.0
1982	68.7	94.2	19.0	76.2	32.8	69.3		77.0	26.9	17.0
1983	50.0	118.0	37.2	73.0	32.0	107.5		59.5	59.6	66.2
1984		180.0		86.8		127.7		243.5		32.4
1985		211.5		164.0		113.5				40.2
1986		83.0		104.0		111.5				
1987		123.0		96.5		53.5				
1988		122.0		89.0		56.5				
1989		120.0		95.4		100.0				
1990		130.5		118.8		110.8				
1991		142.0		113.5		80.0				
1992		201.0		125.0		131.0				
1993		61.0		126.0		126.8				
1994		132.0		88.0		75.0				
1995		134.0		98.0		64.5				
1996		129.0		102.5		90.0				
1997		113.0		65.0		96.6				
1998						110.8				
1999						157.0				

\* Mendoza, 2001; CLICOM, CNA